



# Научные исследования и технологический задел в области БАС в СПбГЭТУ "ЛЭТИ"

**М.С.Куприянов, руководитель научного и образовательного направлений**  
**Комлев Андрей Евгеньевич, доцент**  
**Виксин Илья Игоревич, доцент**

# Исследования и потенциал

## Ключевые задачи

Конструктивные решения: корпус, электродвигатели, движитель  
Программно-аппаратная доверенная платформа  
Взаимодействие в группе и с наземным оборудованием: коллективное поведение, каналы связи  
Комплексная безопасность

## Направления исследований

- **Разработка элементов управления беспилотными объектами на основе фотонных и монолитных интегральных схем (траспондер);**
  - **Конструирование элементов ФИС, создание библиотеки ключевых элементов**
  - Разработка методов
    - **обеспечения информационной и функциональной безопасности группы;**
- помехоустойчивые коды (защита канала связи и хранимых данных от умышленной или случайной модификации)**  
**стеганография (маскирование потоков данных – управляющих или информационных)**  
атаки по сторонним каналам (извлечение конфиденциальных данных с
  - организации коммуникации БПЛА на основе беспроводной связи;
  - взаимодействия группы БПЛА с оператором.- методы анализа окружающей обстановки
- методы функционирования БПЛА при сбоях/отказах

## Проекты

Выполнено 6 проектов по созданию систем управления БПЛА, компьютерному зрению, проектированию двигателя и др.  
Определены три направления проектов по БПЛА с СТЦ  
Согласована программа исследований с ООО «Финка»

## Технологический задел

Технология проектирования синхронных бесколлекторных двигателей  
Методы и алгоритмы обеспечения безопасности автономного БПЛА  
Модели и методы построения коллектива БПЛА с самоорганизацией и самообучением  
Технология изготовления и производства ФИС  
Технология изготовления моторов

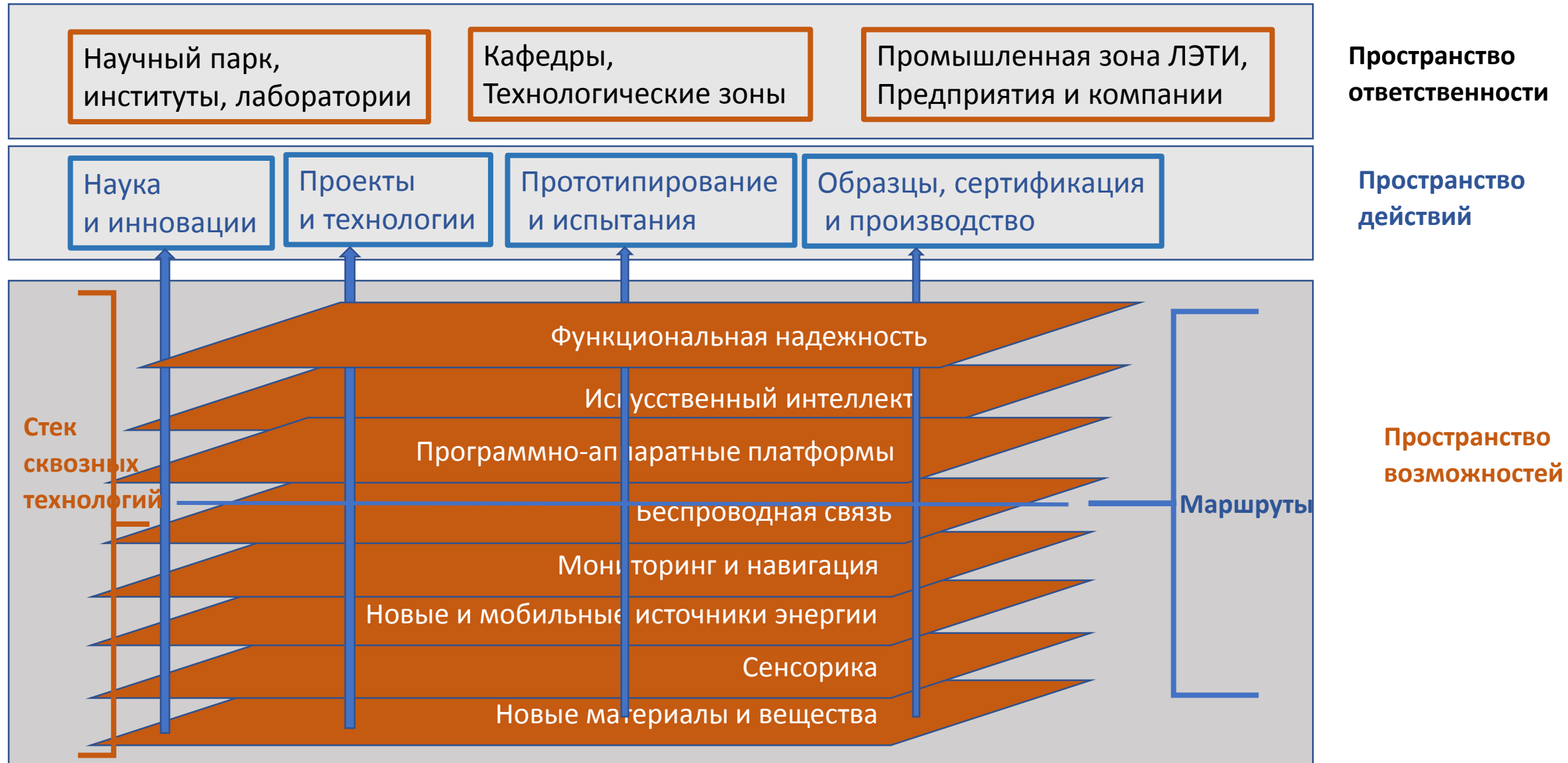
## Инфраструктура

- **Междисциплинарная лаборатория «СТЦ-ЛЭТИ»**
- **Международная лаборатория по магнетике, резервуарным компьютерам и нейронным сетям на их основе**
- **Центр нанотехнологий**
- Стенд для испытаний микроэлектроприводов и верификации параметров тяговых электроприводов мультироторных БПЛА;
- Стенд для испытаний систем стабилизации БПЛА
- Лаборатория захвата движений
- **Центр навигации и управления движением**
- Полигоны для испытания совместного взаимодействия БПЛА и наземных автономных подвижных агентов
- Инновационная лаборатория
- Лаборатория фундаментальных основ интеллектуальных систем
- Лаборатория мобильных интеллектуальных агентов
- Студенческое конструкторское бюро «Беспилотные транспортные средства»

## Кадровое обеспечение

СКБ по БАС – 16 чел., проектная мастерская для школьников  
Две молодежных лаборатории – 24 чел., Математический кружок совместно с Геоскан – 25 чел., Инновационная лаборатория – 10-20 чел.  
Лаборатория «СТЦ-ЛЭТИ» – 36 чел.

# Функциональная модель деятельности корпоративного проектно-технологического института «БАС» в университете



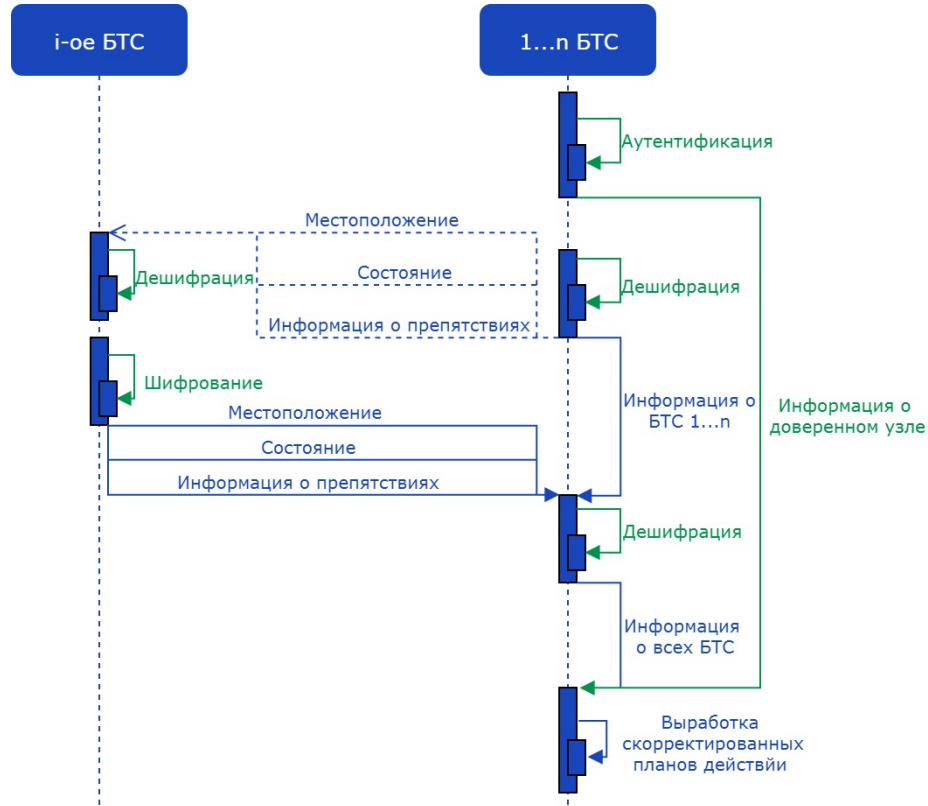
# Риски функциональной безопасности

Угроза	Потеря сигнала ГНСС	Отложенное обслуживание	Сбои в системе машинного зрения
Потенциальный ущерб	Ущерб/потеря БПЛА/ущерб окружающей среде	Ущерб БПЛА/ущерб окружающей среде	Ошибочная интерпретация данных
Возможные меры	Навигация на основе машинного зрения	Непрерывный статистический анализ	Поведенческий анализ

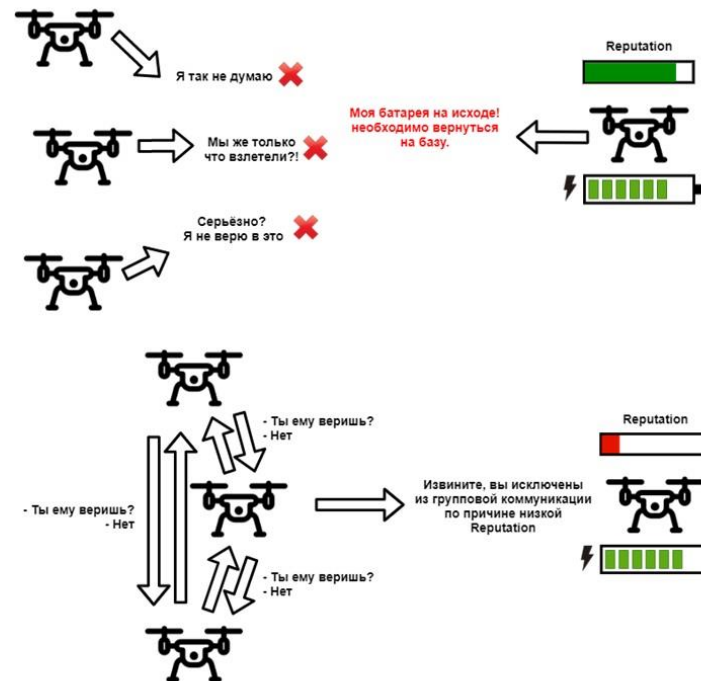
# Управление доверием и репутацией

Переход от механизмов защиты на основе регулирования доступа на основе статуса объекта в системе, к «поведенческим» моделям, например, моделям вычисления доверия и репутации объекта в системе.

Построение системы взаимного анализа поведения БПЛА на основе имеющейся информации об окружающей среде и получаемой информации.



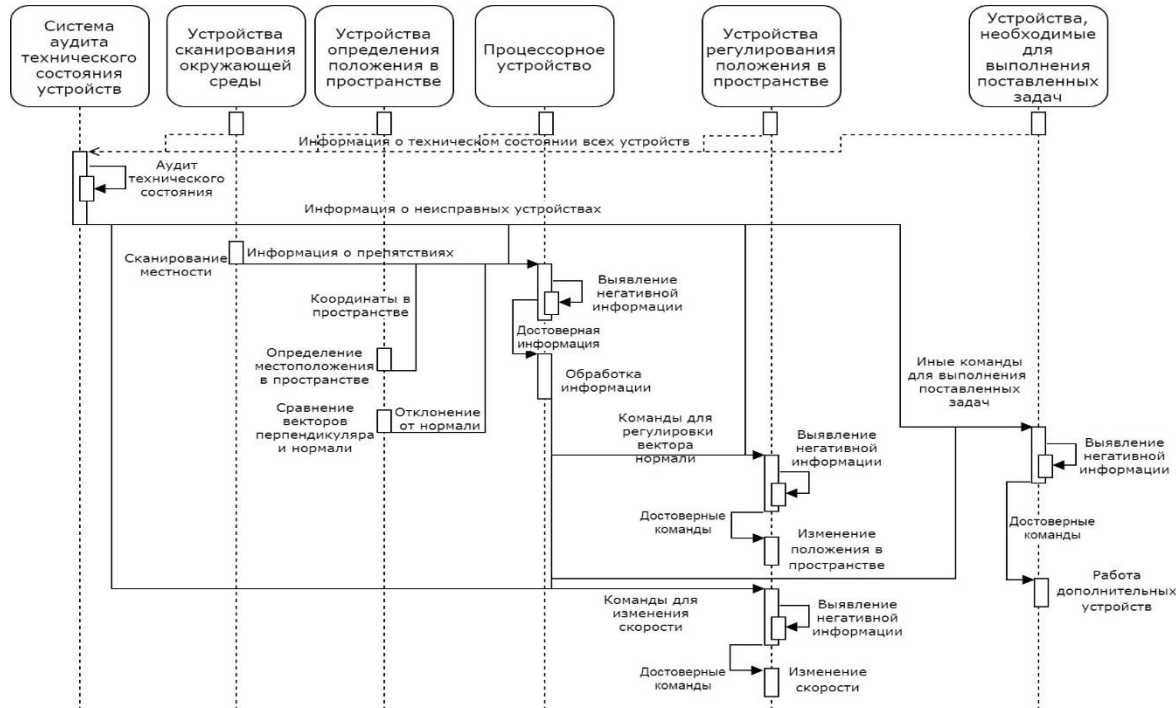
Данная схема позволяет реализовать базовые принципы обеспечения информационной безопасности. Не рассматриваются вопросы содержания передаваемой информации.



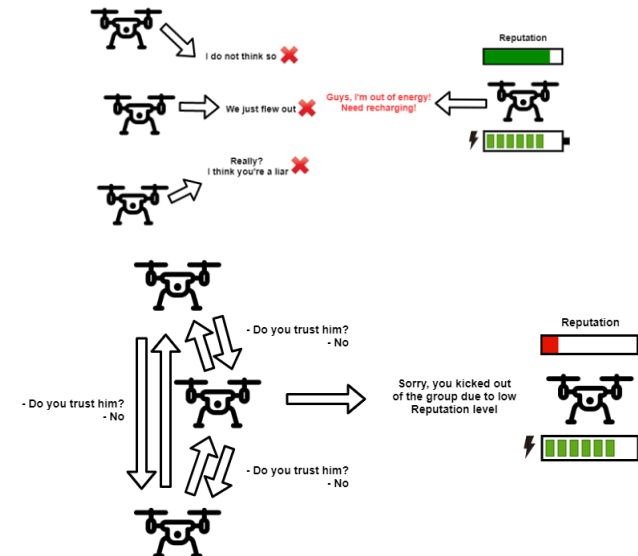
# Управление группой БПЛА

## Основные результаты:

- модели автономного принятия решений группой БТС;
- методы обеспечения информационной и функциональной безопасности группы;
- методы организации коммуникации БТС на основе беспроводной связи;
- методы взаимодействия группы БТС с оператором.



## Пример реализации роя БПЛА



Математическая модель

Имитационная модель

Физическая модель

Имплементация

# Система связи с беспилотными летательными аппаратами

$f = (5170 - 5825 \text{ МГц})$



2 типа приемо-передающих блоков БПЛА

$f = (2400 - 2483 \text{ МГц})$



наземная станция



Скорость приема передачи данных до 30 Мбит/сек при дальности полетов до 160км ! Испытания проводились на БПЛА и на самолете "Diamond-42"

на испытаниях



Установка ППМ и антенн на "Diamond-42"

БПЛА с установленным ППМ



# Комплект высокоскоростного цифрового канала связи с БПЛА

Комплект обеспечивает приём и передачу данных с БПЛА на наземную станцию (НС) на дальности до 160 км.

В состав комплекта входит:

- Приёмо-передающий модуль ППМ.
- Антенна НС с опорно-поворотным устройством.
- Антенна БПЛА

ППМ позволяет организовать защищенное соединение, предоставляя возможность подключения полезной нагрузки.

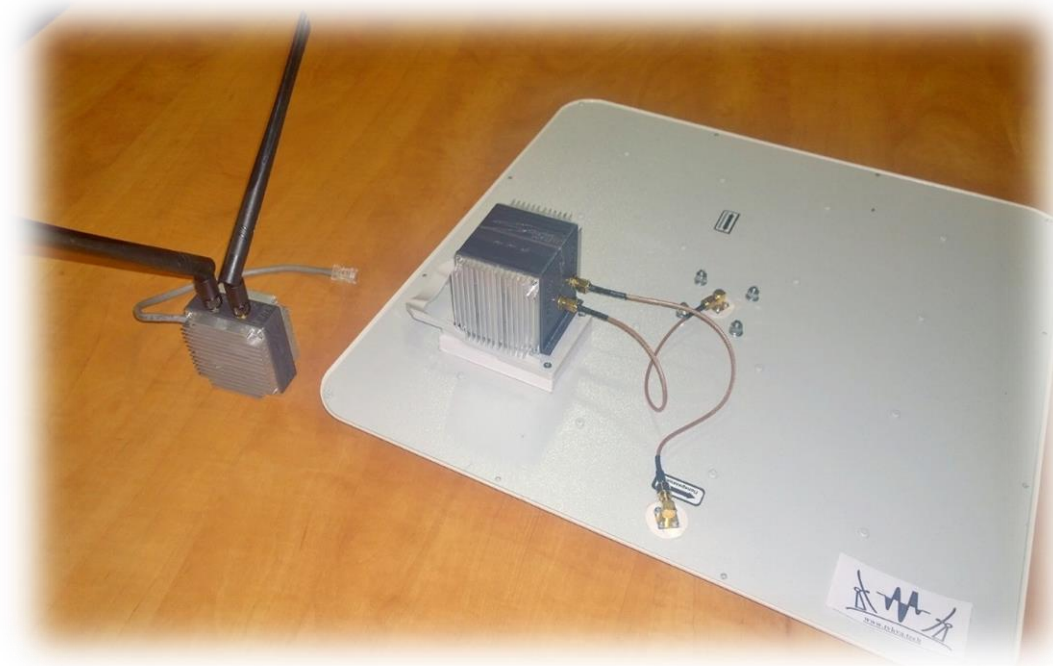
## **Особенности разработанного ППМ:**

- Повышение скрытности передачи данных за счет расширения спектра методом прямой последовательности
- Возможность передачи с псевдослучайной перестройкой рабочей частоты

Ширина канала\ тип модуляции и кодирования	BPSK 1/2	QPSK 1/2	QPSK 3/4
<b>8 МГц</b>	Скорость передачи 1,9 Мбит/с Дальность более 160 км	Скорость передачи 3,9 Мбит/с Дальность более 160 км	Скорость передачи 5,8 Мбит/с Дальность более 160 км
<b>40 МГц</b>	Скорость передачи 10 Мбит/с Дальность 130 км	Скорость передачи 20,25 Мбит/с Дальность 110 км	Скорость передачи 30,3 Мбит/с Дальность 100 км



# Разработка малогабаритного комплекта канала связи для малоразмерных БПЛА



- Размеры бортового ППМ (Без учета антенны) 40x30x10 мм
- Вес бортового ППМ менее 50 г
- Дальность действия до 15 км

# Применение солнечных батарей



# Лаборатория захвата движения

- Моделирование БПЛА

- Эргономика

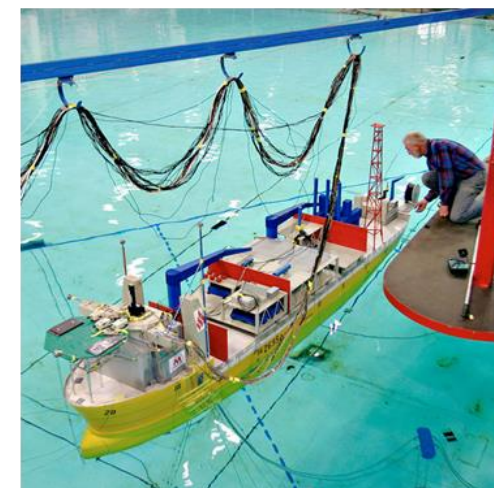
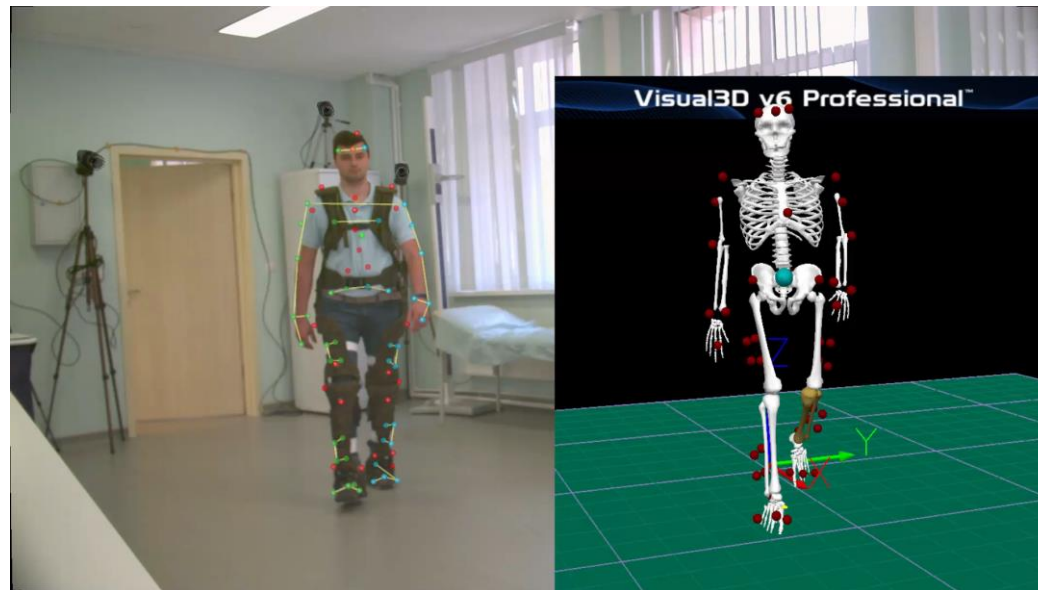
- Машиностроение

- Виртуальная

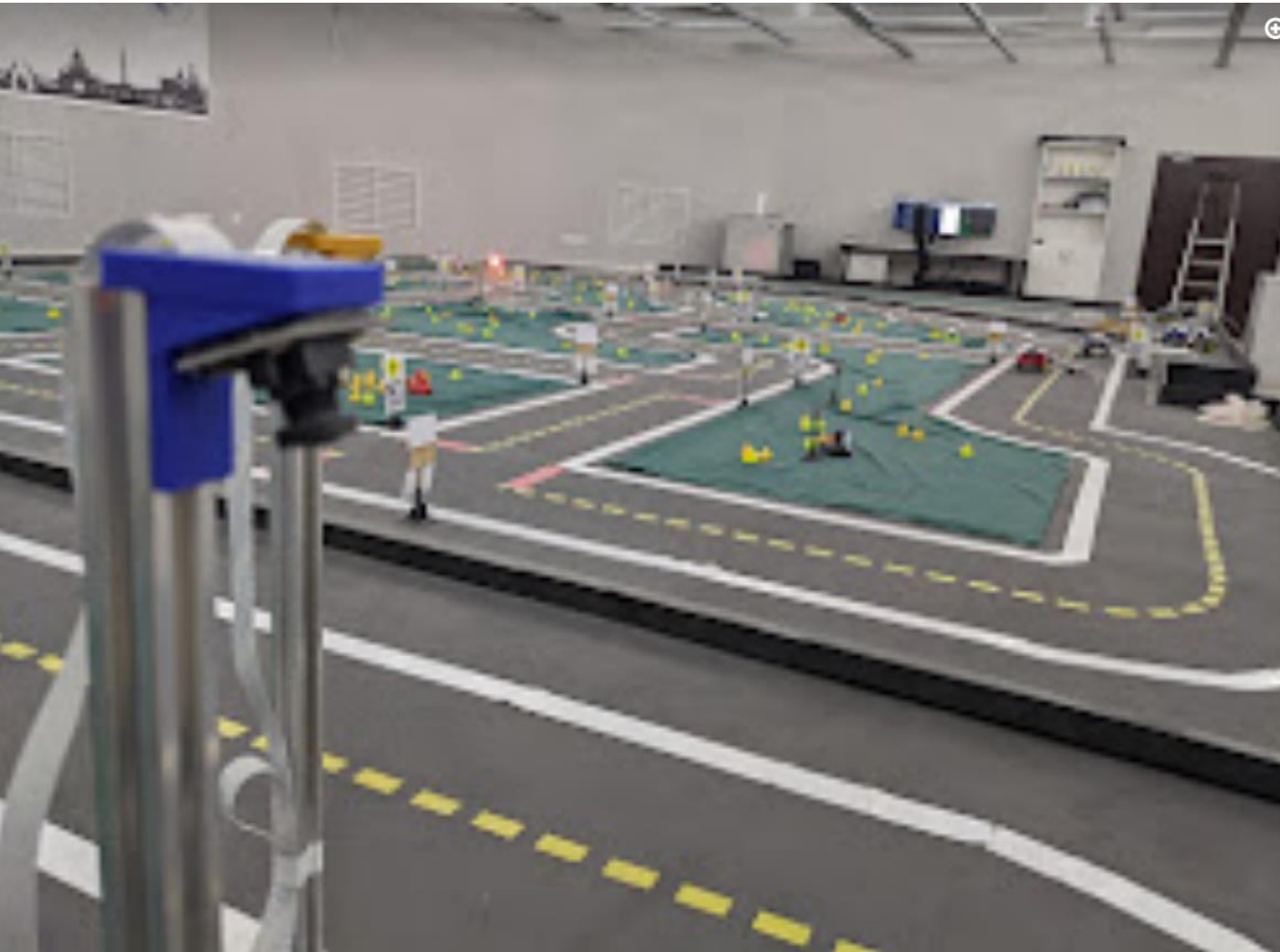
- реальность

- Экзоскелеты

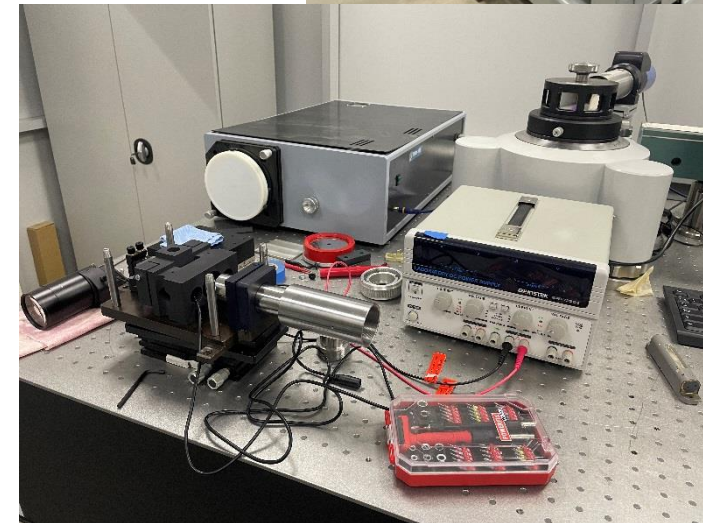
- Экипировка



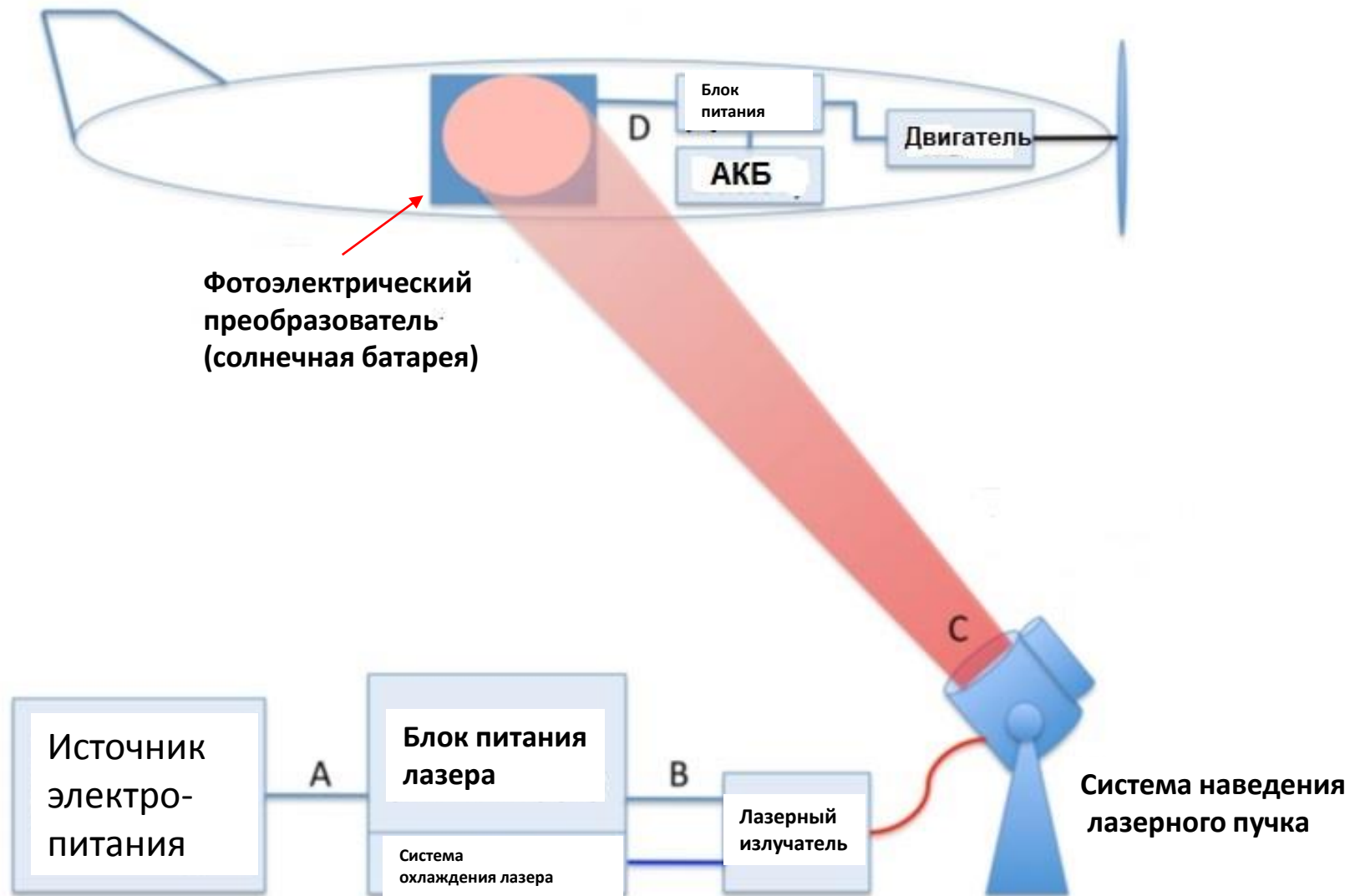
**Полигон для комплексных испытаний**

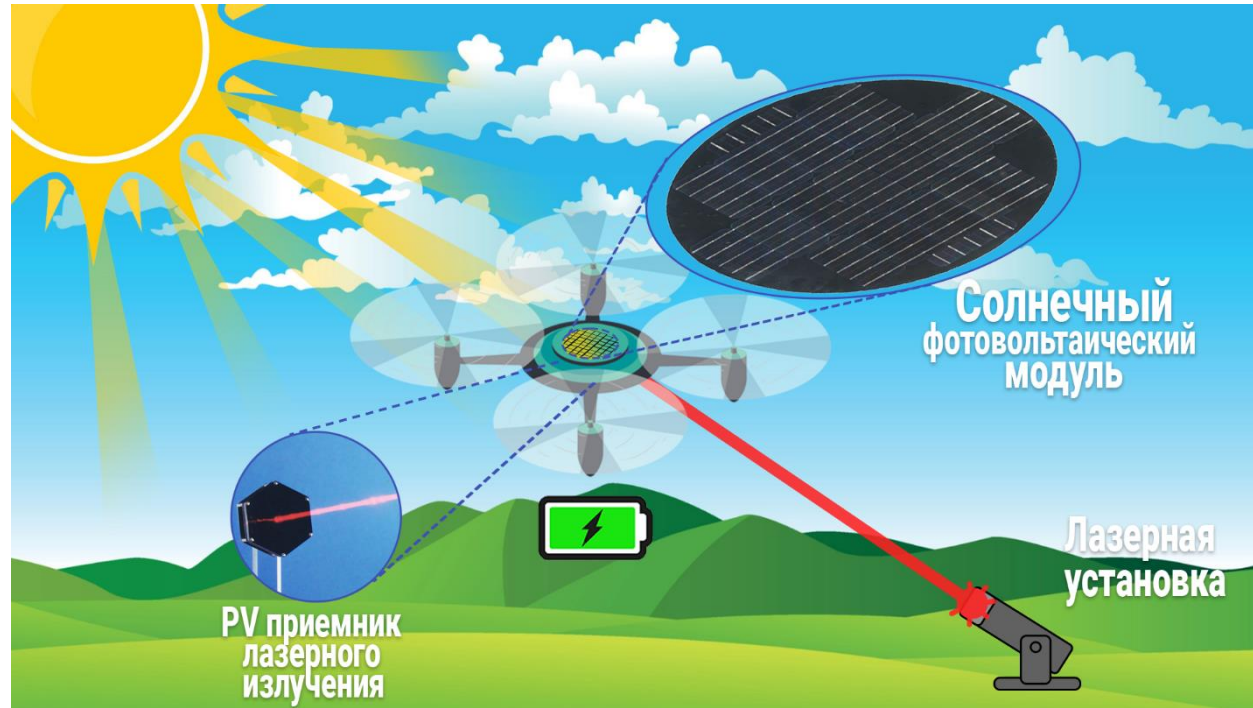


**Оборудование для калибровки инерциальных систем навигации**



# Лазерная система подзарядки аккумуляторной батареи БПЛА





При помощи лазерной установки можно произвести беспроводную зарядку летательного аппарата

Благодаря комбинированному использованию **солнечных модулей** возможно значительно повысить автономность летательных аппаратов.

- **Верхний солнечный модуль** использует солнечную энергию;
- **Нижний «лазерный» приемный модуль** способен улавливать и преобразовывать лазерное излучение;
- Лазерное излучение от наземного источника позволяет реализовать **бесконтактную круглосуточную подзарядку БПЛА.**

# Высокоэффективные кремниевые солнечные элементы для космических применений

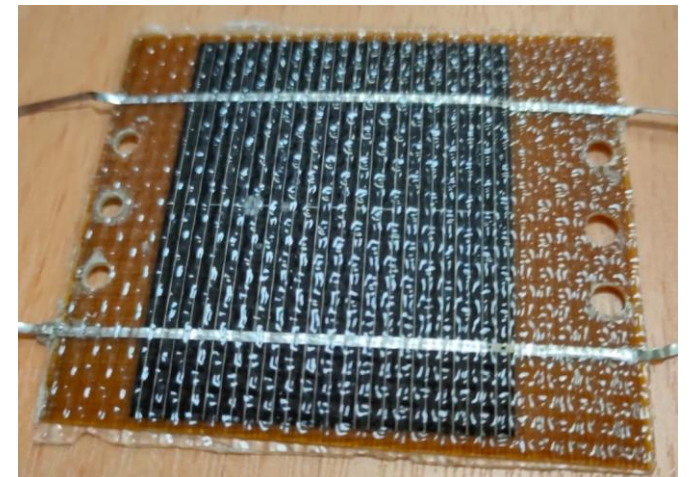
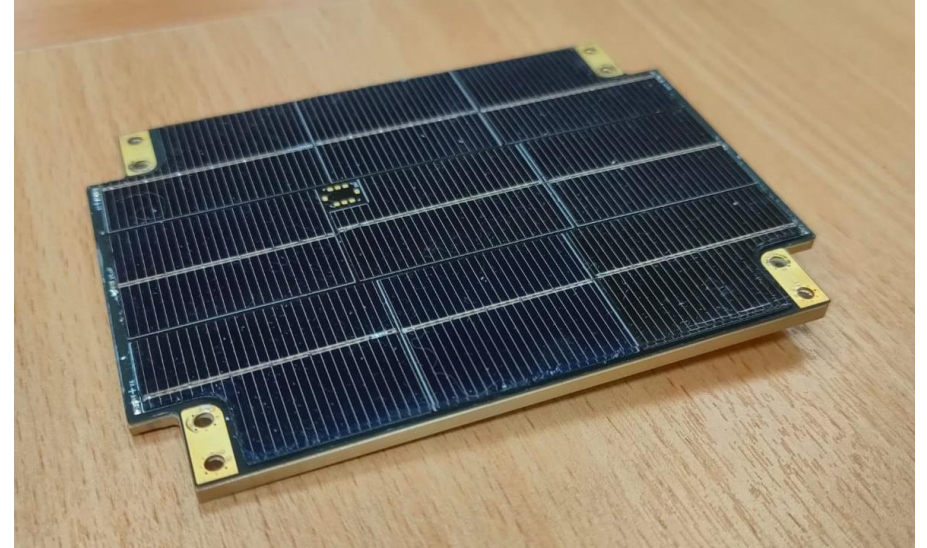
## Разработка СПбГЭТУ «ЛЭТИ» и НТЦ ТПТ

Легкий полугибкий солнечный элемент на утоненной силиконовой, полимерной или текстолитовой основе, подходящий для малых космических аппаратов и БПЛА

### Технические характеристики:

- Базовый размер модуля - 100x100 мм
- Вес модуля:
  - при толщине 1 мм – 37 грамм;
  - при толщине 0.5 мм – 27 грамм.
- Ток короткого замыкания:  $I_{sc} = 349$  мА;
- Напряжение холостого хода:  $V_{oc} = 5.74$  В;
- Ток в рабочей точке:  $I_{mpp} = 317$  мА;
- Напряжение в рабочей точке:  $V_{mpp} = 4.64$  В;
- Мощность в рабочей точке:  $P_{mpp} = 1.47$  Вт;
- Коэффициент заполнения:  $FF = 73.5$  %.

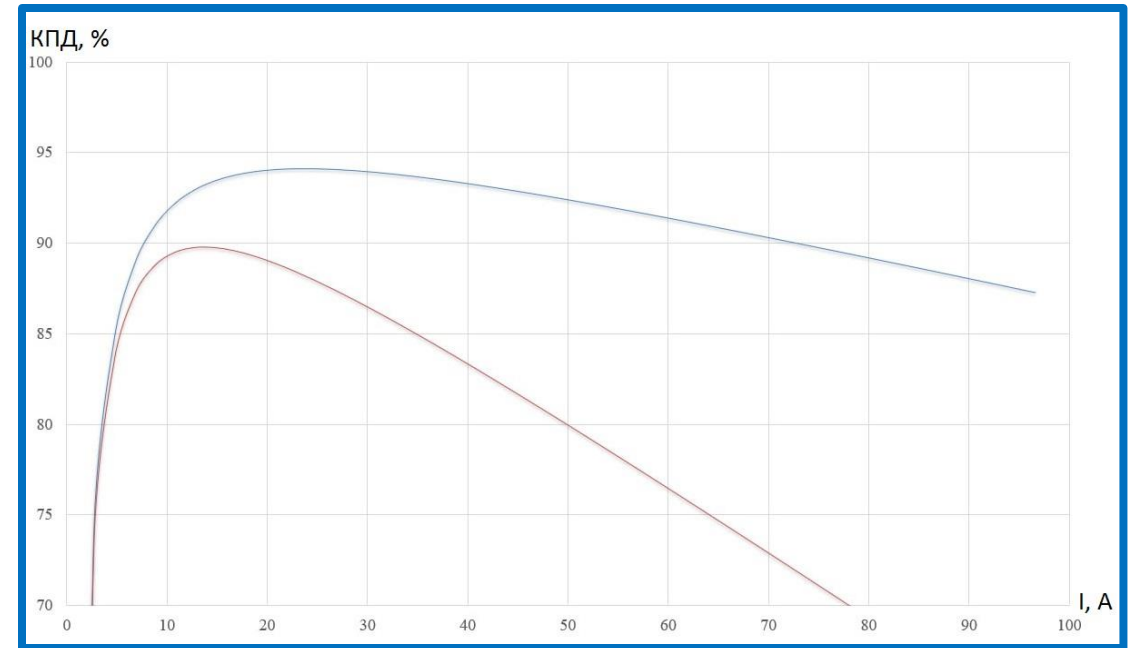
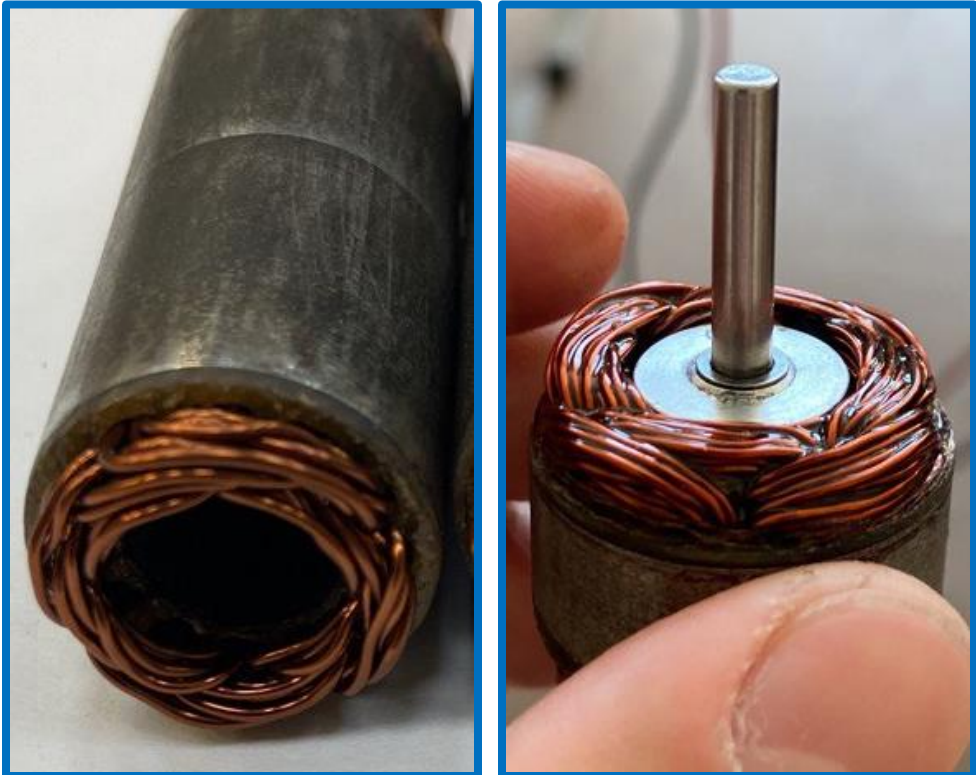
Параметры элемента по техническим характеристикам, габаритам, массе, продолжительности функционирования и радиационной стойкости соответствуют требованиям к элементам питания малых космических аппаратов



## Повышение КПД бесколлекторных электромоторов

Отработана технология изготовления бесколлекторных электромоторов с повышенным КПД и удельной мощностью.

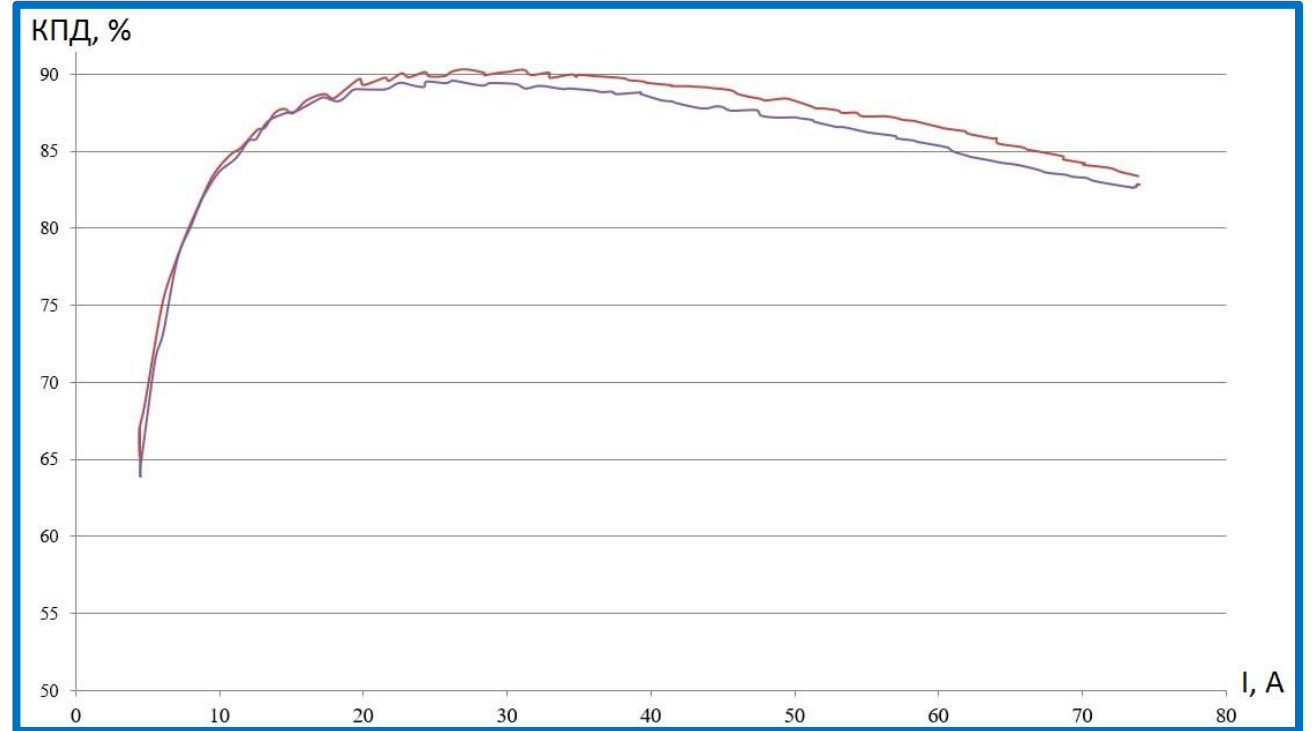
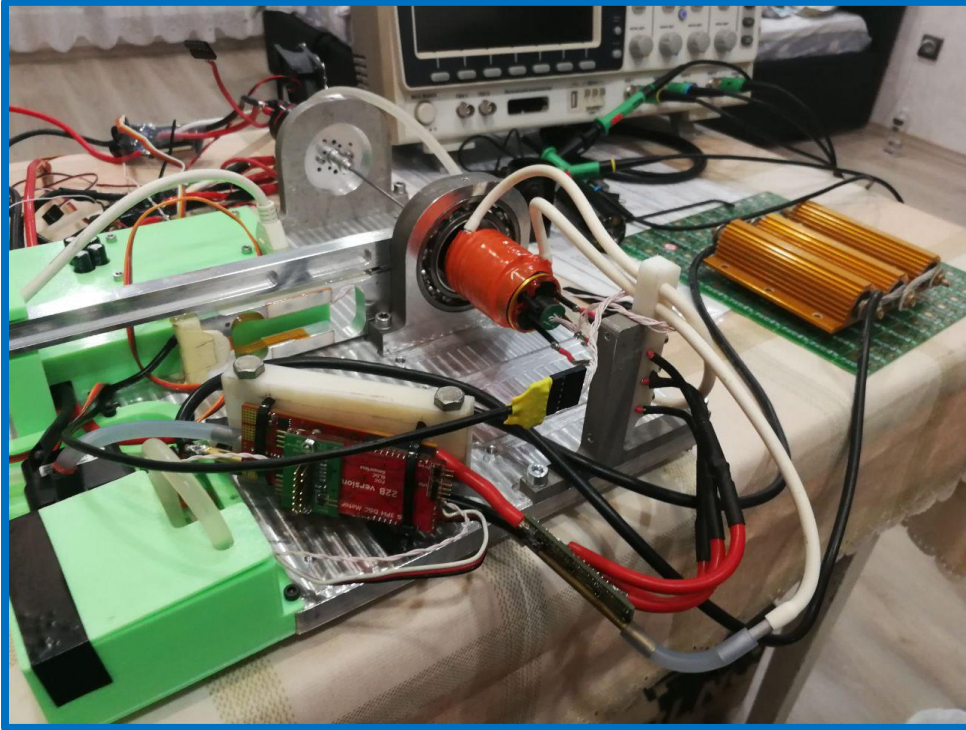
$$P_{\text{уд}} = \frac{P_{\text{мех}}}{m} = \frac{P_{\text{эл}} \eta}{m}$$



Для рабочих токов квадрокоптера ~ 40 А КПД модифицированного и штатного мотора отличается на ~ 10%. Это равносильно тому, что емкость аккумулятора повышается на 10 %, а соответственно и время работы БПЛА также увеличивается на 10 %.



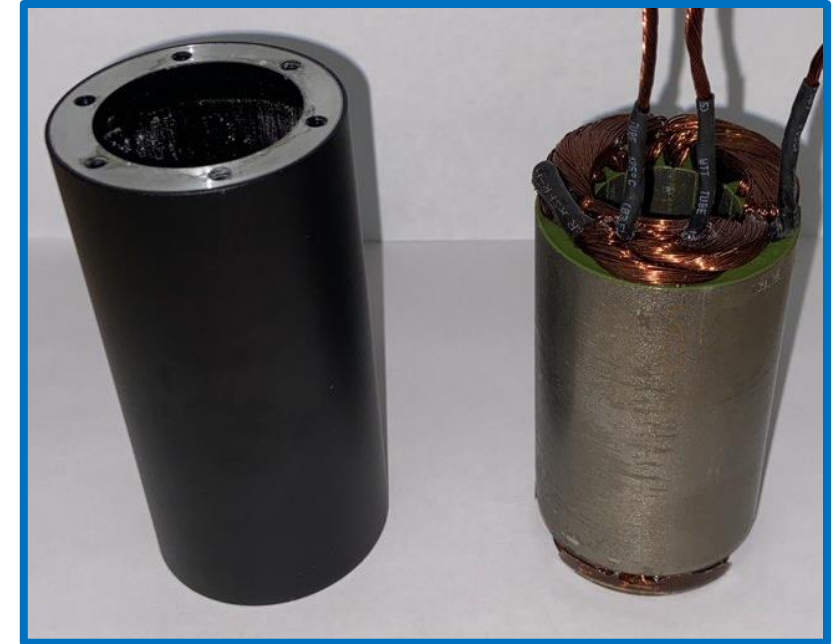
# Стенд для измерения КПД бесколлекторных электродвигателей



Также разработана феноменологическая модель, описывающая КПД бесколлекторных электродвигателей. В сравнении теоретических кривых КПД с экспериментальными данными наблюдается практически полное соответствие, что говорит об адекватности разработанной модели

# Опытные образцы

Разработана методика модернизации штатных электродвигателей, в результате чего их показатели удельной мощности и КПД могут быть значительно повышены.



Разработан электродвигатель отечественного производства для реализации проекта водного беспилотного аппарата. В данный момент данный проект проходит стадию испытаний, демонстрируя отличные результаты бесперебойной работы и энергоэффективности.



**Спасибо за внимание**