



ИНСТИТУТ ТЕПЛОФИЗИКИ
СО РАН



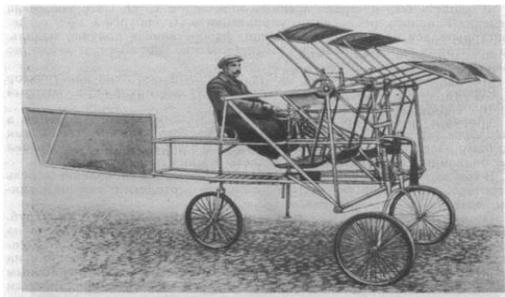
АВАКС

Повышение маневренности дирижабля за счёт применения циклических двигателей

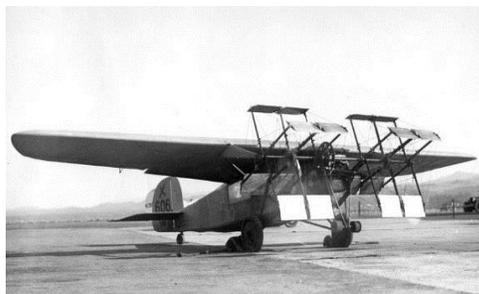
Дектерев Д.А., Ким И.С., Дектерев А.А., Зверков И.Д.
к.ф.-м.н., н.с. ИТ СО РАН

Летательные аппараты с циклическими двигателями

Циклолет Сверцова, Россия, 1909



Cyclogyro, США, 1930



Северо-западный политехнический университет, Китай, 2011



D-Dalus, Австрия, 2015



Сеульский Университет, Южная Корея, 2015



- Идея крыльчатого двигателя развивалась с 1910-х годов – первый в мире циклолет российской разработки инженера Евгения Павловича Сверцова.
- Реально летающие прототипы начали появляться лишь в последнее десятилетие в исследовательских центрах Южной Кореи, Австрии, США и КНР.
- На данный момент это легкие беспилотные летательные аппараты массой до 100 кг со значением удельной тяги 5-6 кг/кВт на уровне вертолетной техники.

Университет Мэрилэнда, США, 2019

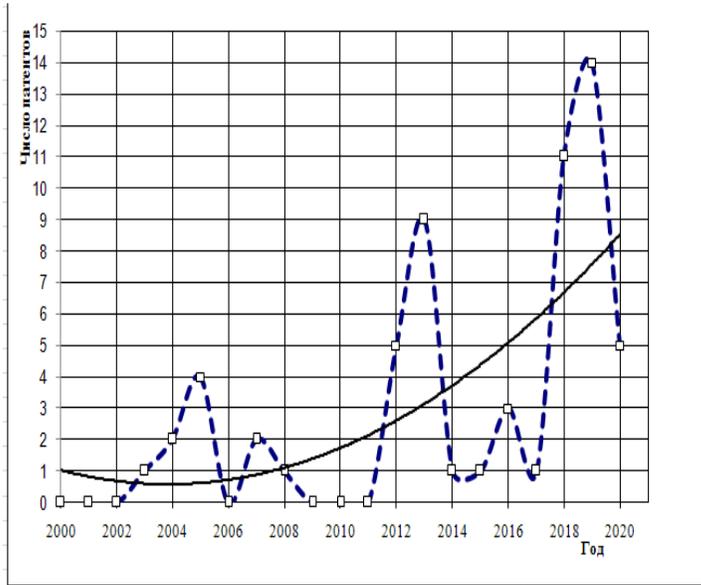


CycloTech, Австрия, 2020

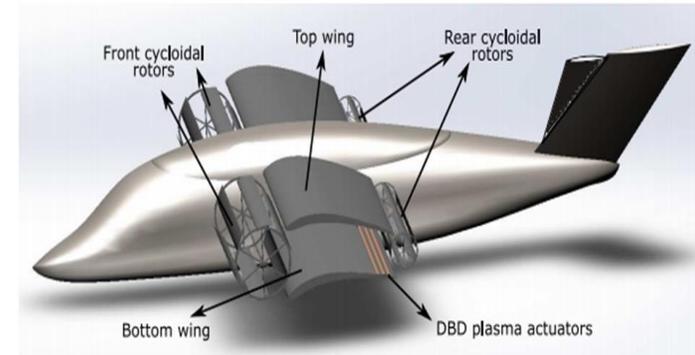


Летательные аппараты с циклическими двигателями

Динамика патентования в области циклических двигателей



ЛА самолетного типа

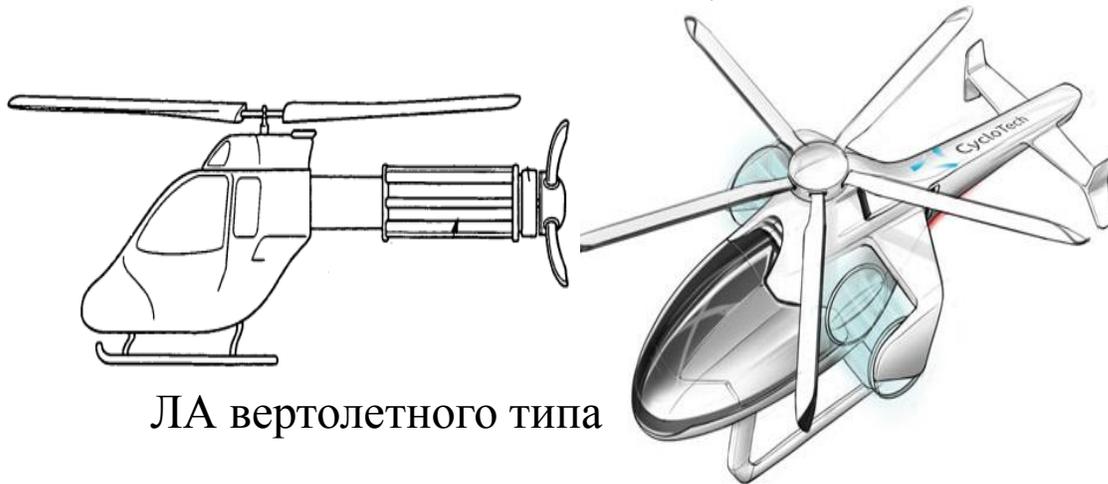


IAT-21 D-DALUS two-seater



Nanjing University of Aeronautics and Astronautics (Китай) – 14 патентов с 2018 года

BELL HELICOPTER TEXTRON INC (США) – 9 патентов за 2018 - 2020 гг.

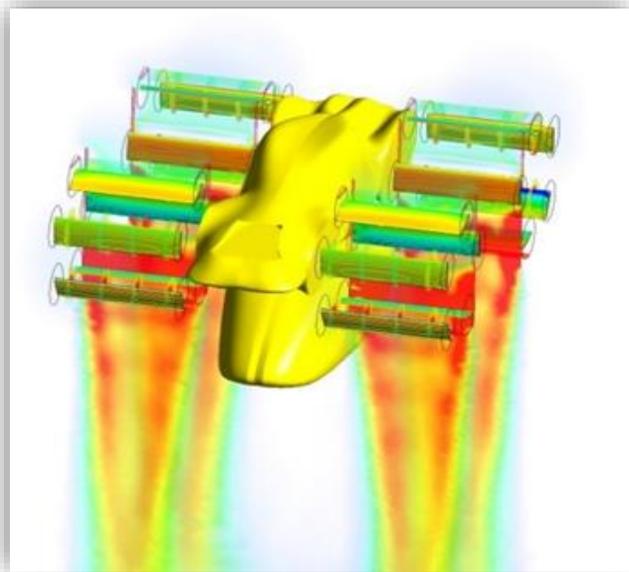
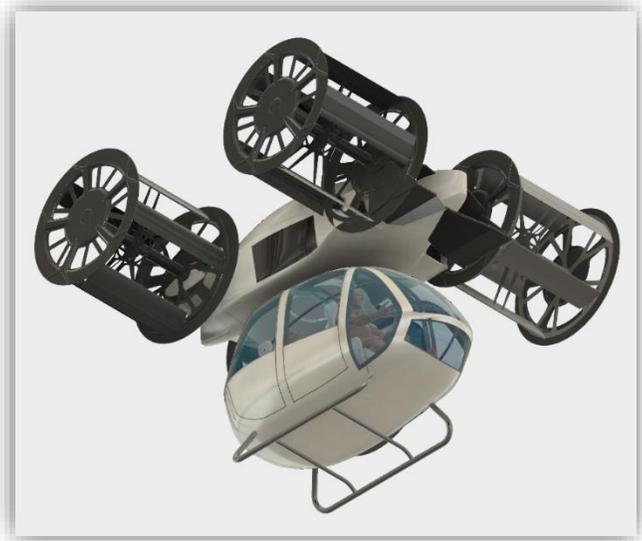


ЛА вертолетного типа



2023 год

ПРЕДПОСЫЛКИ К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧИ



- **Вычислительные методы** механики и газодинамики, **системы лазерной диагностики потоков и поверхностей** – позволяют оптимизировать конструкцию циклического двигателя и ЛА в целом
- **Новые материалы** позволяют снизить вес и улучшить прочностные свойства
- **САУ** – позволяет обеспечить устойчивость и управляемость полетом
- **Гибридные силовые установки** – использование электрического контура позволяет технически просто реализовать распределение мощности по циклическим двигателям; использование ДВС обеспечивает достаточный запас энергии для выполнения транспортных операций.

Коллектив

Идеология

Группа «Арей»

Мельников В.П. и др.

Дектерев А.А.

Дектерев Д.А.

Дектерев Ар.А.

Аванпроект

ООО «Флэш-М»

Цибин В.И.

Смирнов П.Н.

Осипов А.В.

Куликов А.А.

Потоловский А.В.

Макаренков Д.А.

Сыроежко С.Ю.

и др.



Чибисов Я.Н.

Макеич Г.С.

ФОНД
ПЕРСПЕКТИВНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Чибисов Я.Н.
Макеич Г.С.



ИТ СО РАН

Проект «Циклон»



АВАКС

ООО «Феникс-24»

ООО «Градиент-24»

ИП Асеев И.А.

Грош Л.П.

Необъявляющий П.А.

Дектерев А.А.

Вавилов Д.В.

Сентябов А.С.

Филимонов С.А.

Дектерев Ар.А.

Лобасов А.С.

Коновалов М.Л.

Дектерев Д.А.

Финников К.А.

Рыжов А.П.

Шестаков М.В.

Дубровин П.Н. и др.

Крылов Е.Д.

Кретинин В.В.

Каржаев А.С.

Батищев И.К.

Гавриленко И.И.

Солодилов И.П.

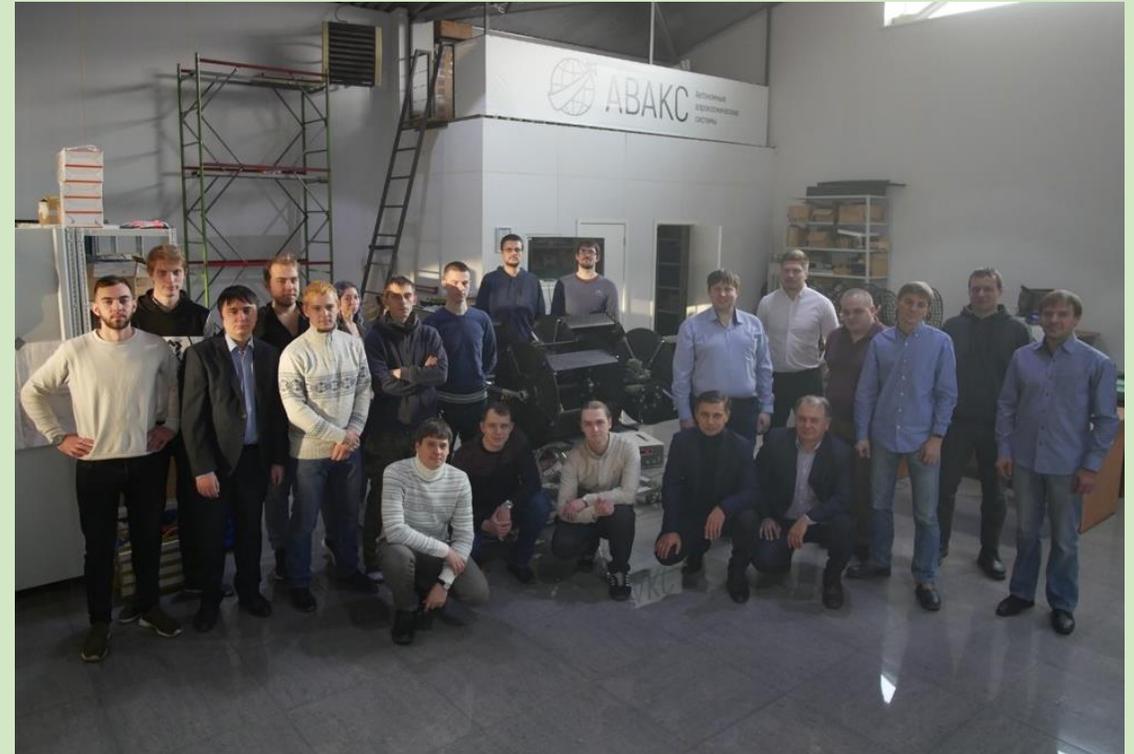
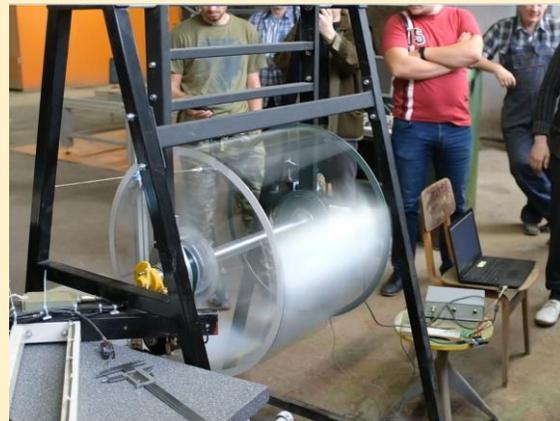
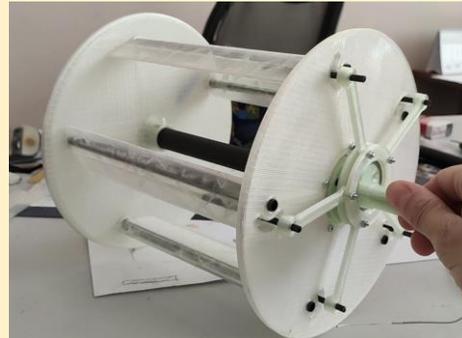
Лобастов В.И.

Сушков А.Н.

Асташков Н.Н.

Попков А.А.

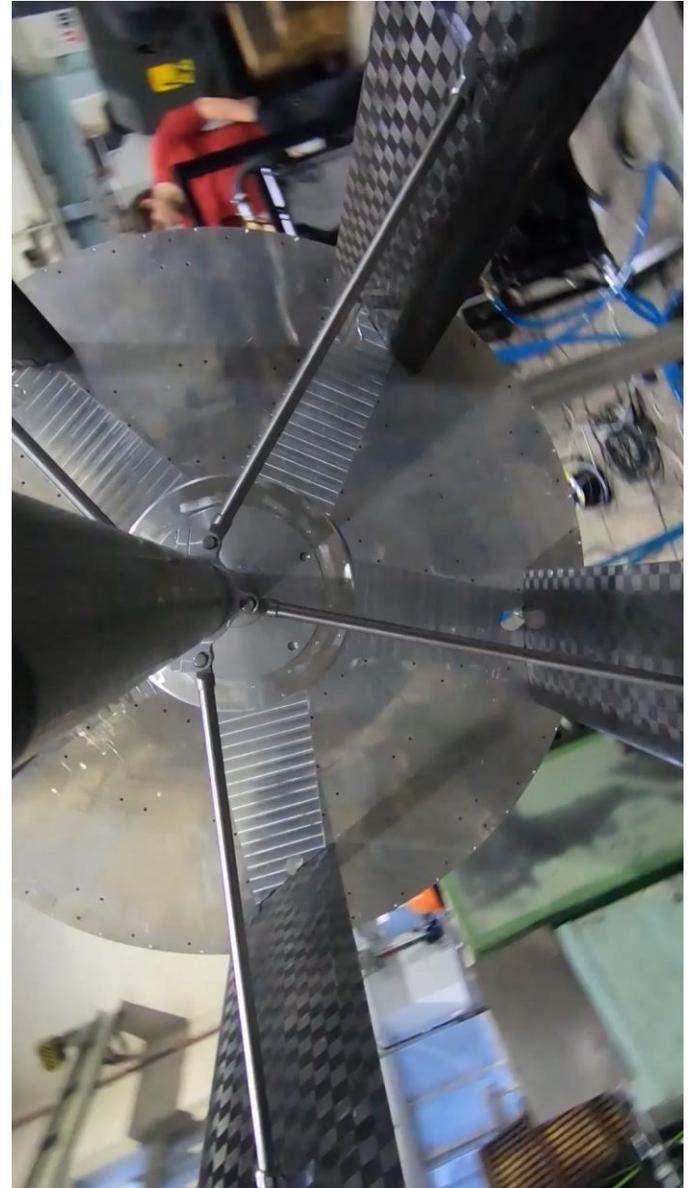
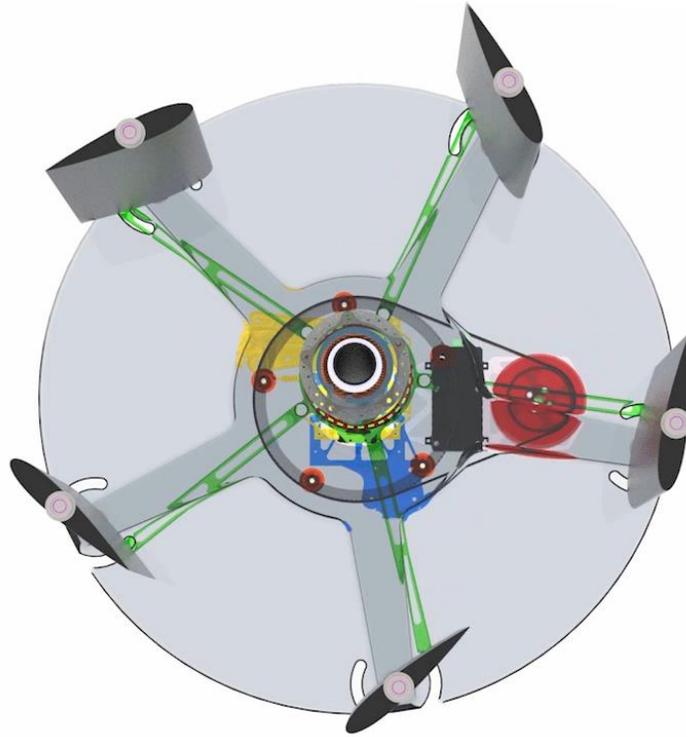
и др.



Циклический движитель

(циклоидальный ротор, циклоидальный пропеллер)

Тяга движителя создается изменением угла установки лопастей по закону, приводящему к созданию лопастями аэродинамической силы в процессе его оборота, такому, что векторная сумма аэродинамической силы за весь оборот не равна нулю.



Стенд для исследования характеристик Циклического двигателя

Система автоматического управления двигателем

- частота вращения
- установка общего угла
- установка фазового угла

Система измерения

- платформа Стюарта для измерения тяги и моментов
- датчик измерения частоты вращения
- датчик измерения потребляемой мощности
- датчик момента
- система измерения звукового шума
- термоанемометр с координатным устройством
- средства контактного и бесконтактного измерения температуры

Система визуализации

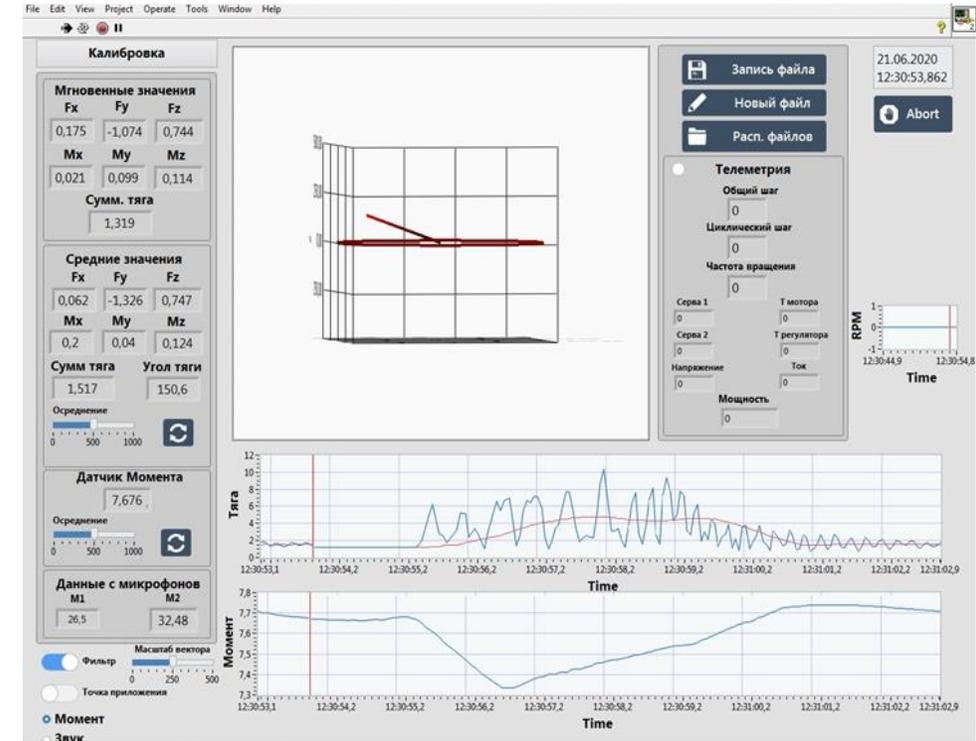
- лазерный нож
- генератор дыма

Средства фото-видео фиксации

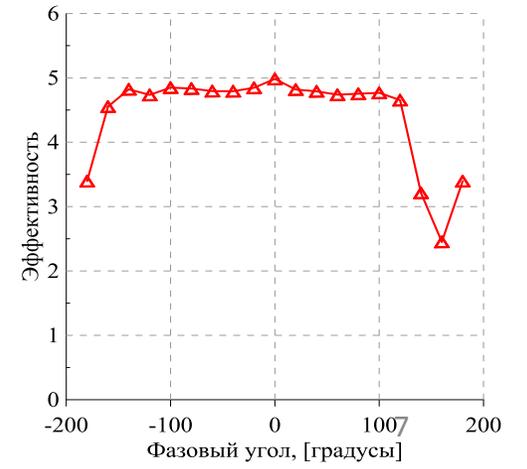
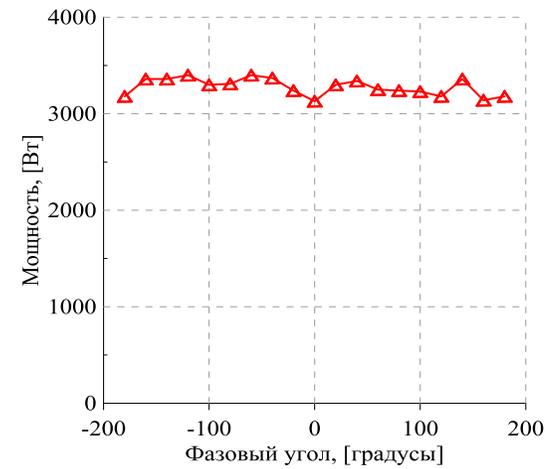
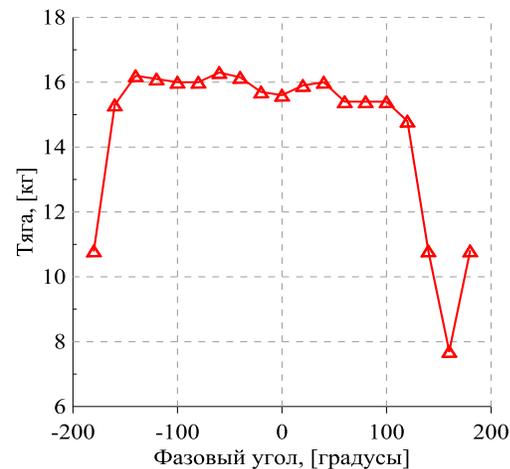
Система электропитания стенда (стационарная и мобильная)

Специальное программное обеспечение

Система пассивной и активной защиты

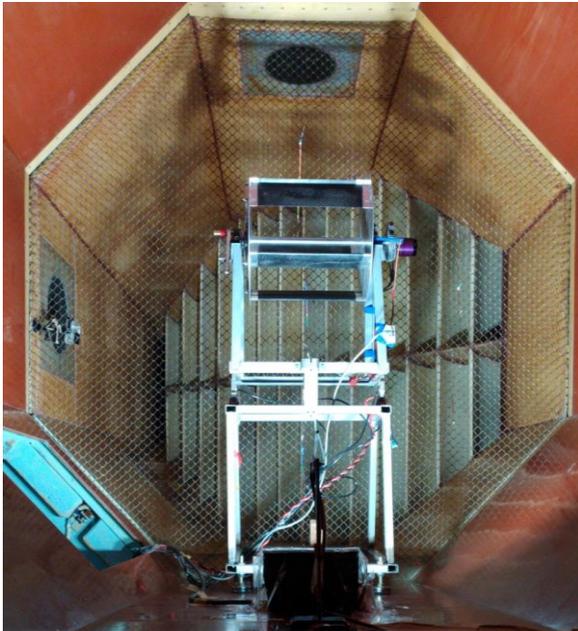


Двигатель на тензоплатформе

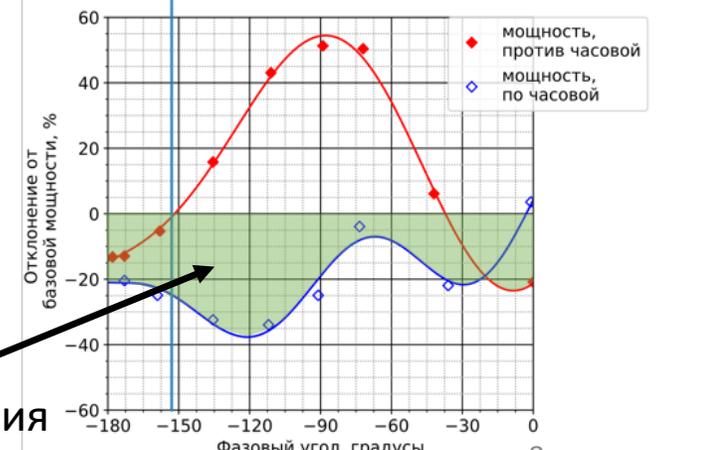
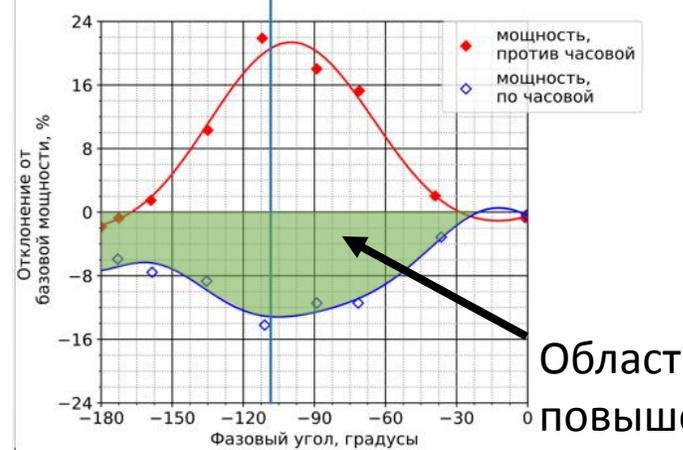
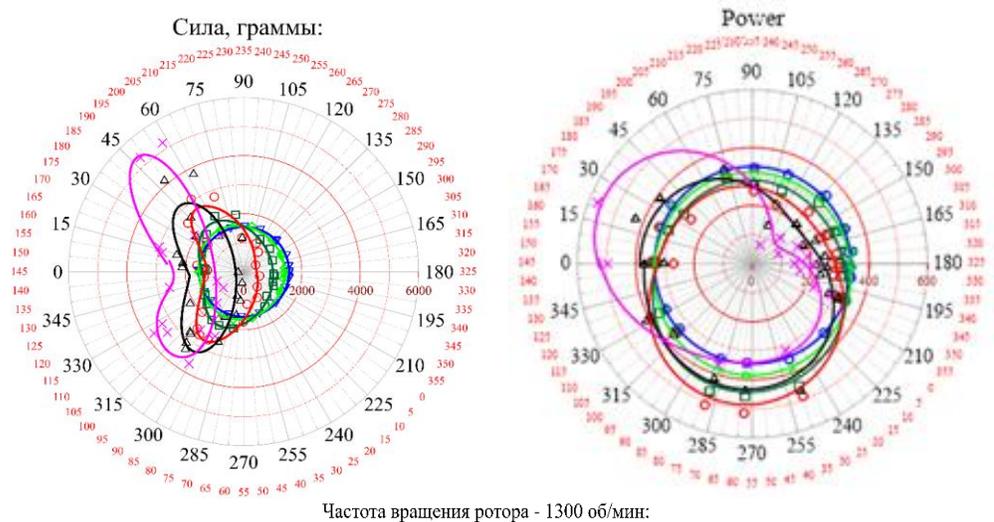
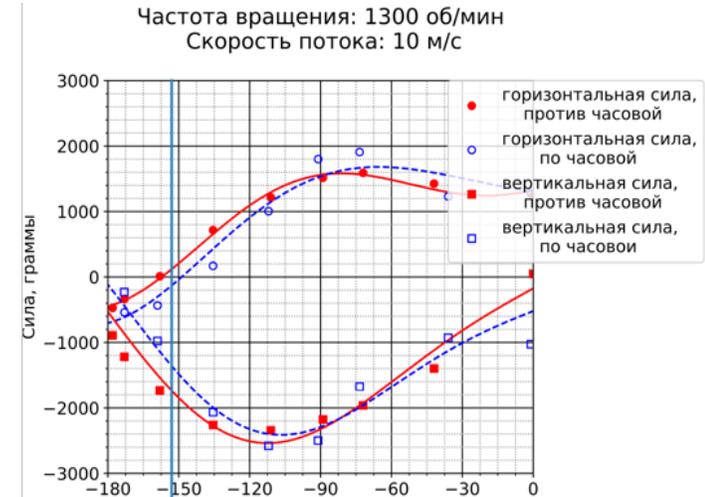
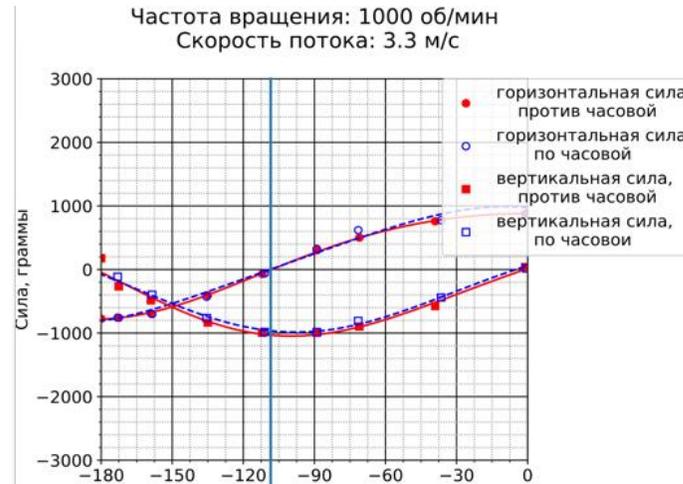


Испытания циклического двигателя 330*300 мм

Малотурбулентная труба Т-324 ИТПМ *Зверков И.Д. и др.*



Зависимость тягово-энергетических характеристик двигателя от направления вращения относительно набегающего потока



Область повышения эффективности

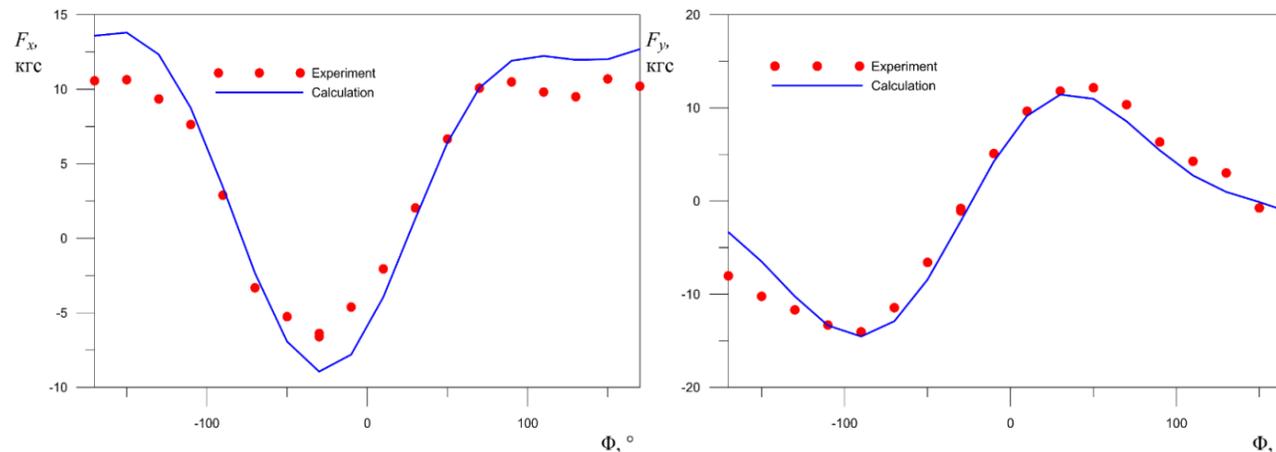
- | | | | |
|------------------------|-----------------------|-------------------------|------------------------|
| ▽ 0 м/с, эксперимент | ○ 10 м/с, эксперимент | — 0 м/с, интерполяция | — 10 м/с, интерполяция |
| ◇ 3.3 м/с, эксперимент | △ 14 м/с, эксперимент | — 3.3 м/с, интерполяция | — 14 м/с, интерполяция |
| □ 6 м/с, эксперимент | × 18 м/с, эксперимент | — 6 м/с, интерполяция | — 18 м/с, интерполяция |

Испытания в трубе Т-203 СибНИА

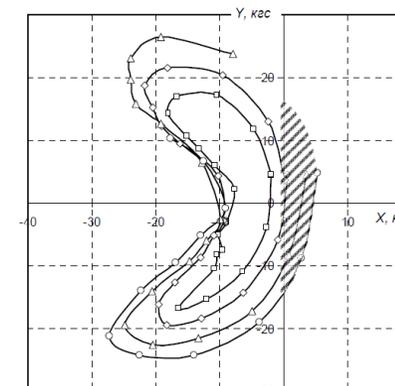
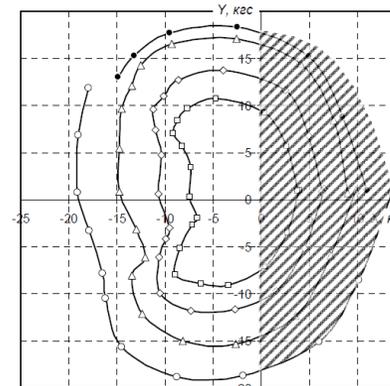
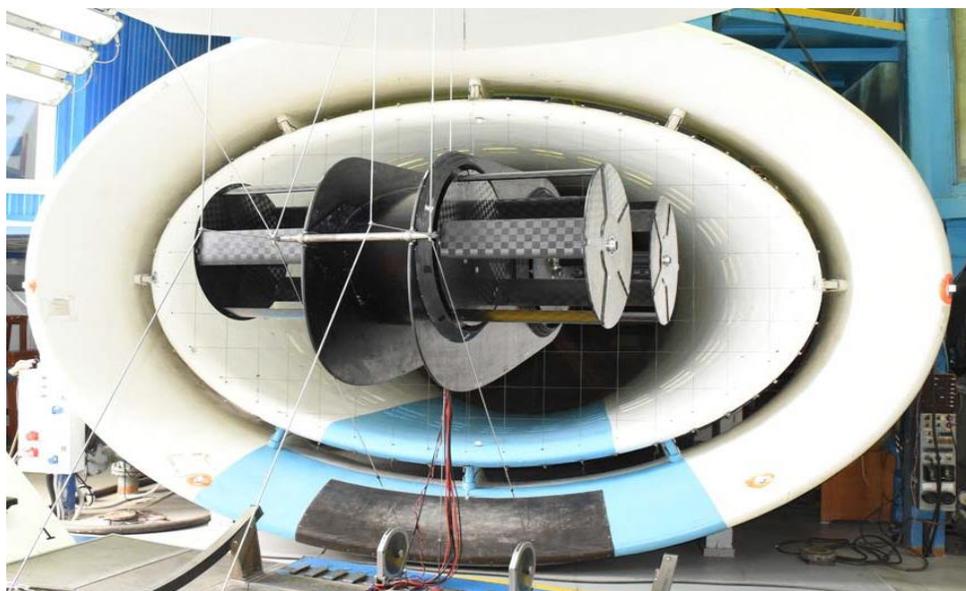
Коллектив НИО-1

Писчасов В.М., Сохи Н.П. и др.

Размер ротора 0.5 x 0.6 м



Силы, действующие на ротор при скорости вращения 1000 об/мин и скорости набегающего потока 10 м/с



Диаграммы сил в плоскости XOY скоростной системы

координат

- 1200
- 1300
- △ 1150
- ◇ 1000
- 850

- 1250
- △ 1150
- ◇ 1000
- 850

а) $\phi = 100\%$, $V = 10$ м/с

б) $\phi = 100\%$, $V = 20$ м/с

Испытания двигателя в аэродинамической трубе Т-104 ЦАГИ

Коллектив НИО-1

Размер ротора 1.5 x 1.6 м

Мощность двигателя до 200 кВт



Варьируемые параметры двигателя при проведении эксперимента:

Циклический шаг $-10^\circ \div 190^\circ$

Общий шаг $0 - 100\%$ (углы установки лопасти $-19^\circ \div 39^\circ$)

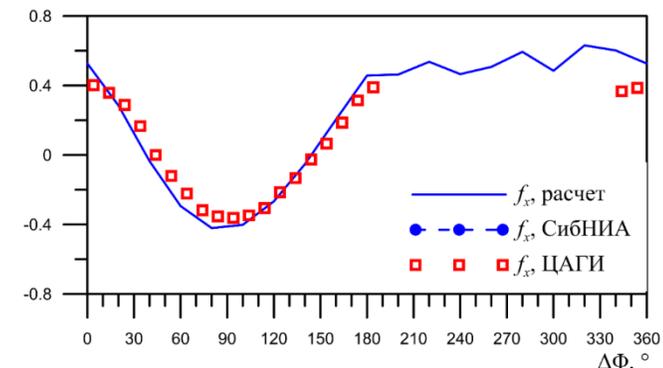
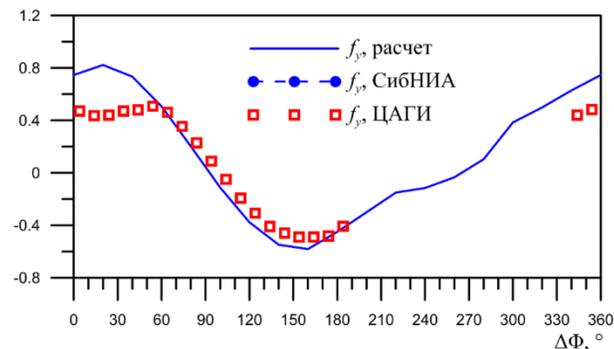
Обороты ротора $450 \div 650$ об/мин

Скорость набегающего потока $0 \div 20$ м/с

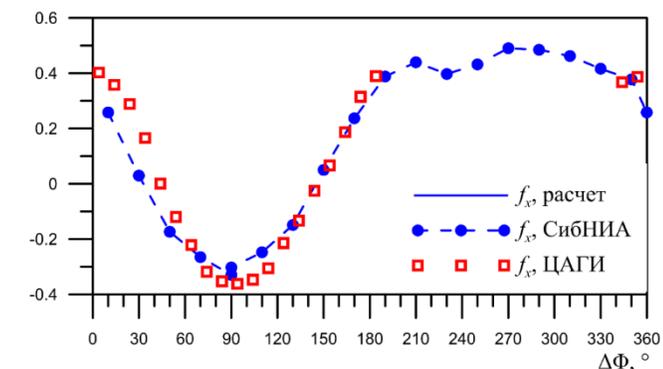
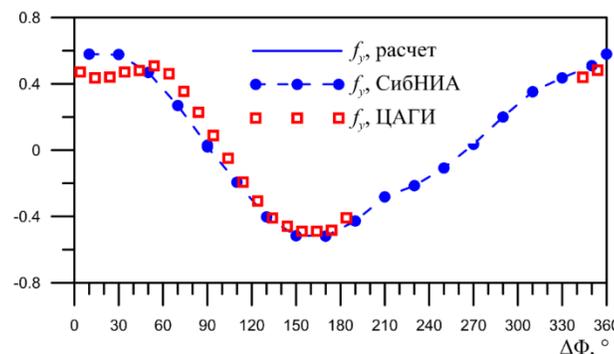
Угол скольжения $0^\circ \div 20^\circ$

Целями разработки и изготовления Демонстратора двигателя являлись:

- Подтверждение масштабируемости технологии циклических двигателей
- Верификация математических моделей и результатов численных экспериментов

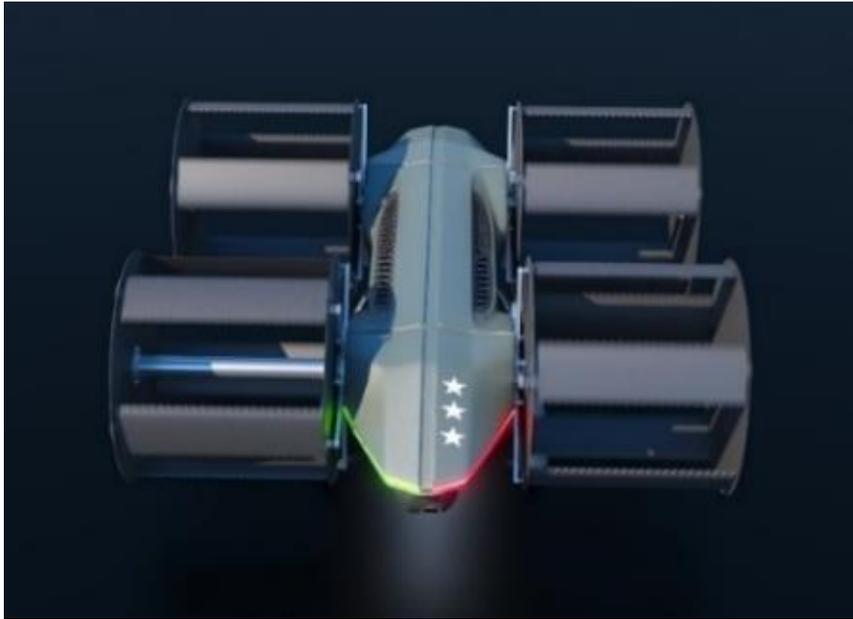


Зависимость компонент сил от угла поворота вектора тяги при скорости набегающего потока $V/(\omega R) = 0.255$

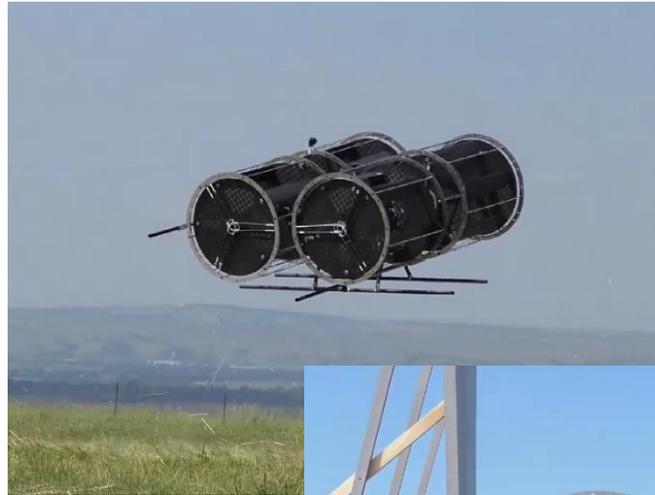


Зависимость компоненты сил от угла поворота вектора тяги при скорости набегающего потока $V/(\omega R) = 0.283$

БПЛА с циклическими двигателями



Взлетная масса, кг	60
Мощность макс., кВт	15
Грузоподъемность, кг	20
Дальность полета, км	40/100
Макс. скорость, км/ч	100
Тип СУ	Электрическая СУ/ Гибридная СУ
Габаритные размеры, м	1,7 × 2



- автоматический полет
- причаливание к вертикальной стене
- посадка на наклонную поверхность



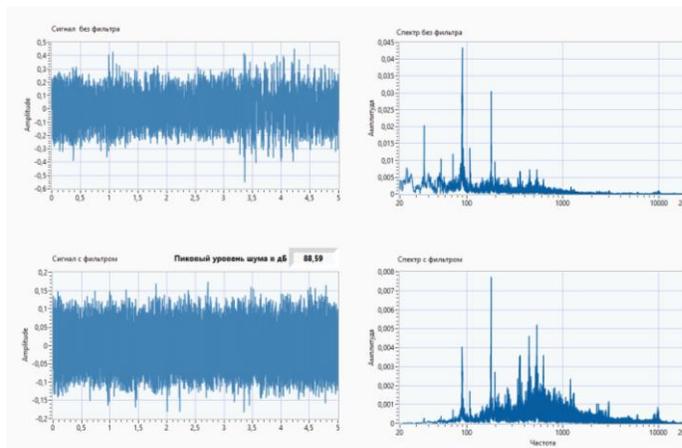
Под руководством специалистов ИТ СО РАН разработан, спроектирован, изготовлен и испытан БПЛА с циклическими двигателями

Измерения уровня шума

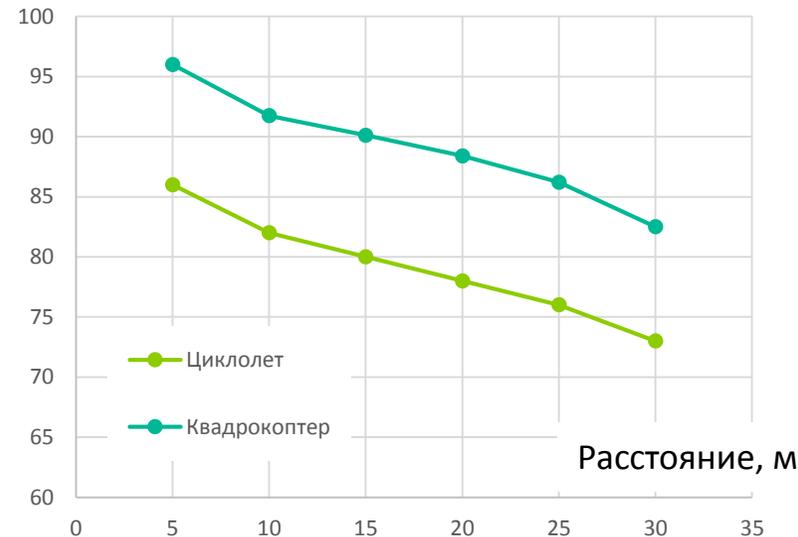


Циклодрон
Габаритный размер ротора 500 мм
Тяга 4 роторов 65 кг

Сигнал и спектр на расстоянии 5 м спереди

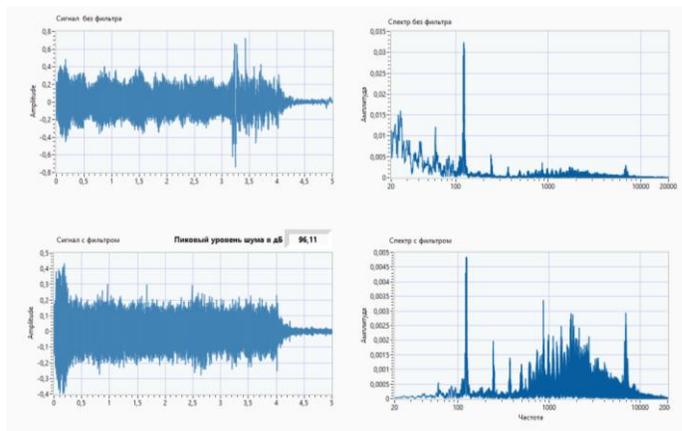


Уровень шума, дБ



Квадрокоптер
Диаметр винта 710 мм
Тяга 4 винтов 65 кг

Сигнал и спектр на расстоянии 5 м спереди

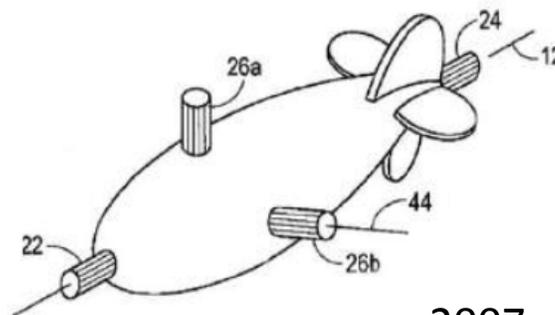
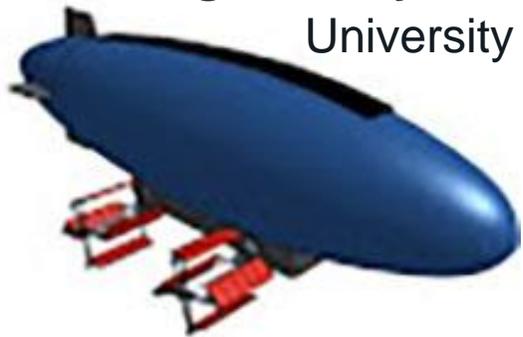


В соответствии с нормами ICAO уровень шума от летательного аппарата вертолетного типа, летящего в горизонтальном полете на высоте 150 м над точкой замера шума должен составлять **не более 86,6 дБ** (для ЛА массой 2 000 кг)

Сторонние разработки

Solar Rechargeable Cyclocopter Blimp

University of Maryland



2007

Legend: Cycloidal propulsive units (22, 24 & 26), longitudinal axis (12), transverse horizontal axis (44), Transverse vertical axis not shown.

Bosch Aerospace cycloidal propeller airship concept. Source: Adapted from Patent US 7264202 B2 Fig 1



Research and Development on Cycloidal Propellers for Airships

Hirohito Nozaki¹, Yuya Sekiguchi² and Kazuo Matsuuchi³

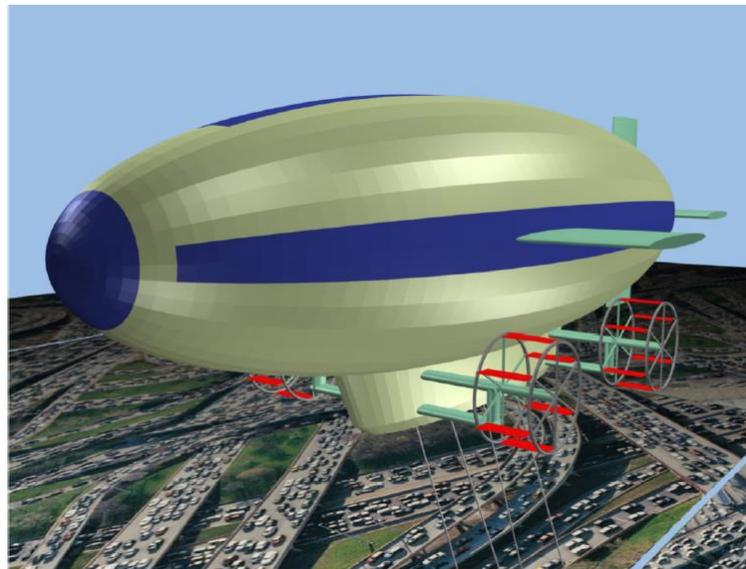
Graduate School of Engineering Mechanics and Systems, University of Tsukuba, Tsukuba, Ibaraki, 305-8577, Japan

and

2009

Masahiko Onda⁴, Yutaka Murakami⁵, Masaaki Sano⁶, Wakoto Akinaga⁷ and Kazuhiro Fujita⁸

National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST), Tsukuba, Ibaraki, 305-8564, Japan



Blimp - Cycloidal Rotor Hybrid

A Cycloidal Rotor and Airship System for On-Demand Hypercommuting

2016

Dhwanil Shukla, Nandeesh Hiremath, and Narayanan Komerath
Georgia Institute of Technology

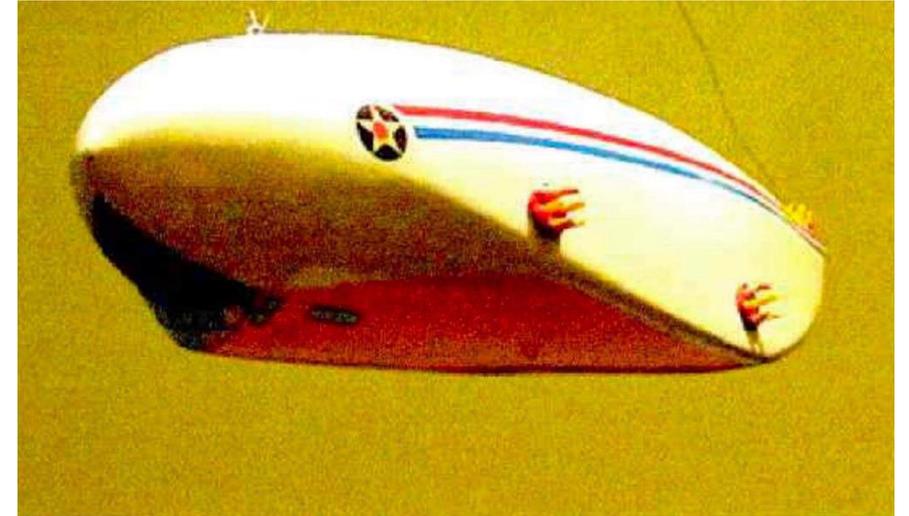


2018

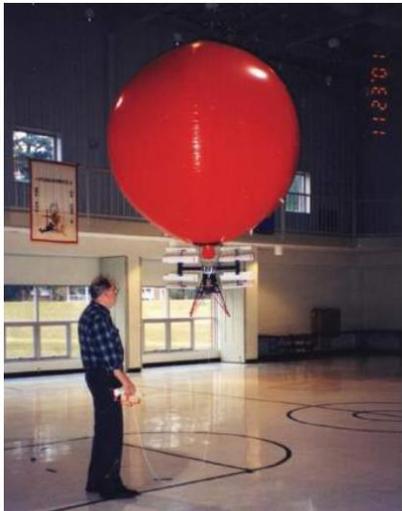
Разработки Roy P. Gibbens



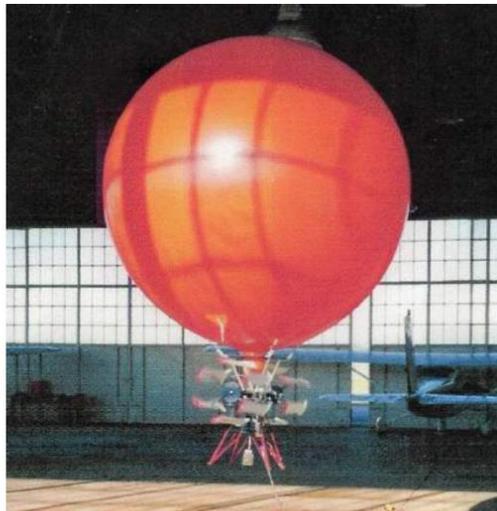
*AirLifter 2.
Source: Roy P.
Gibbens (1991)*



*AirLifter 2 model, bow quarter view showing the two flank cycloidal propellers.
Source: Roy P. Gibbens (2011)*



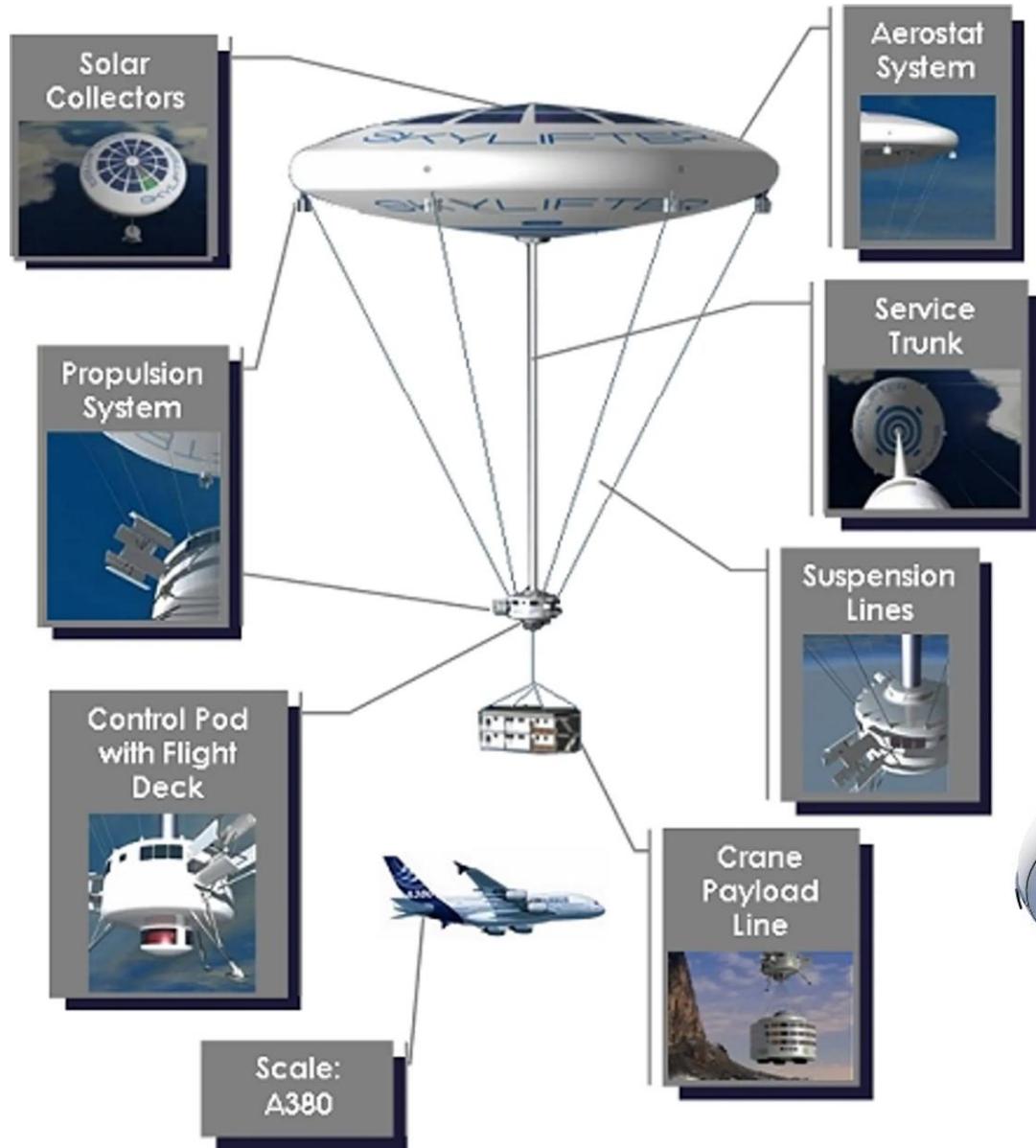
Flight unit under 7 ft (2.1 m) balloon. Source: Gibbens (23 November 2001)



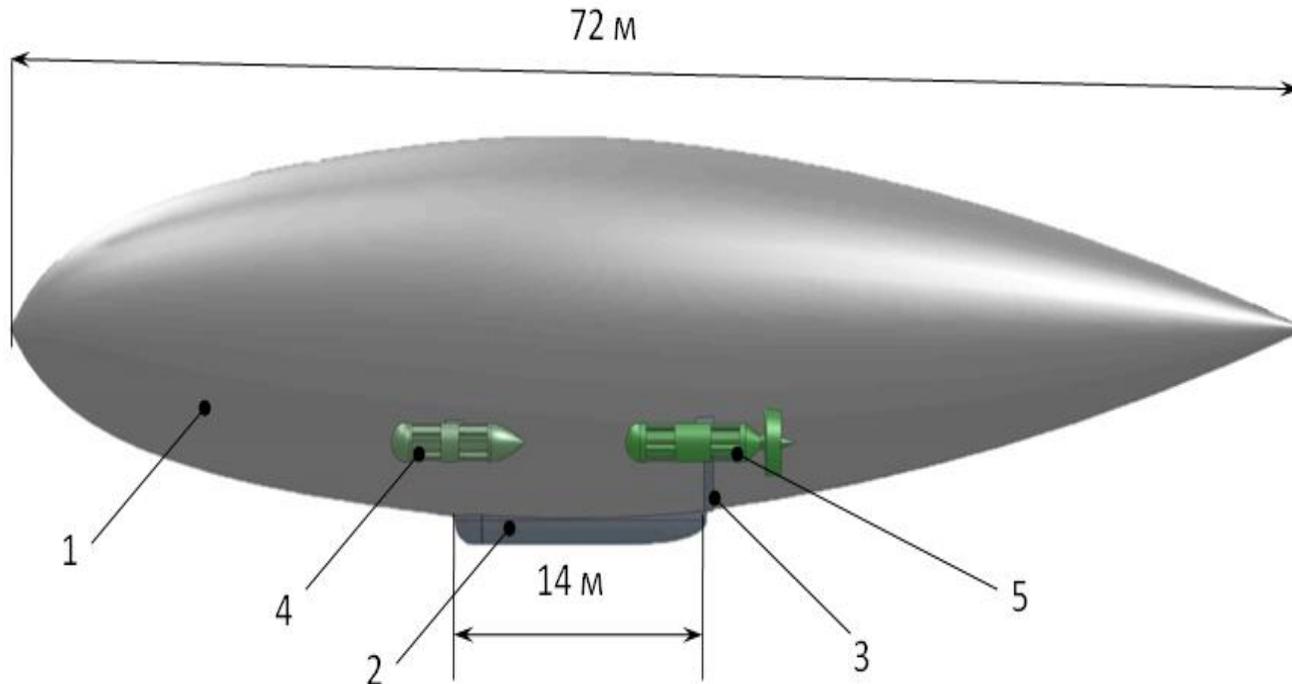
A 7 m (23 ft) Airspeed Airships blimp, likely an AS-300, adapted for testing cycloidal propellers. Source: Roy Gibbens (2011)



SkyLifter



Дирижабль с циклическими двигателями

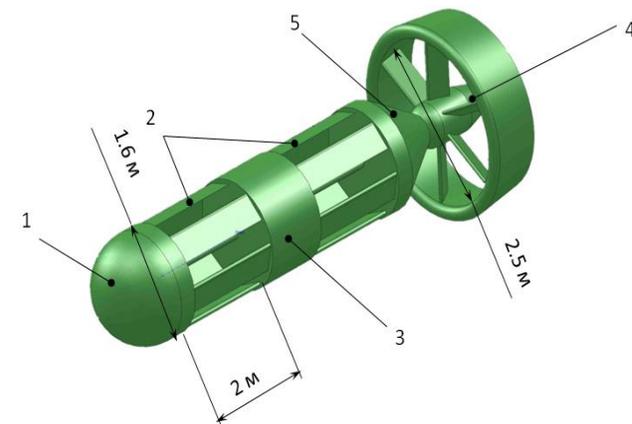


**ИТПМ СО РАН:
Зверков И.Д.**

1. мягкая оболочка
2. грузовая кабина
3. балки крепления обшивки и силовых установок
4. четырехвекторная пропульсивная установка
5. шестивекторная пропульсивная установка

Преимущества дирижабля с циклическими двигателями

- высокая маневренность в 3D (вертикальный подъем/спуск, разворот на месте, тангаж – 90°, обратная тяга и т.д.)
- компенсация ветровых возмущений
- безмачтовое швартование
- динамическая компенсация массы груза
- дублирование двигательной системы



1-носовой обтекатель. 2- циклический двигатель.3- блок гибридной силовой установки 100 и 100 квт. 4-реверсивный воздушный винт. 5 –хвостовой обтекатель.

Циклоидальные роторы на дирижабле

*МГТУ им. Н.Э. Баумана:
Дидковский А.А. и др.*

*Эллинг «Киржач-Д»:
Смирнов В.М. и др.*

*ИТПМ СО РАН:
Зверков И.Д.*

*ИТ СО РАН
Дектерев А.А.
Ким И.С.*

*Дектерев Ар.А.
Дектерев Д.А
Необъявляющий П.А.
Кретинин В.В.
Вавилов Д.В.
Смирнов П.Н.*



