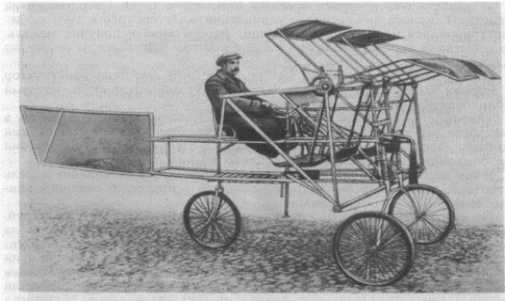


БПЛА с циклическими двигателями

Дектерев Д.А., к.ф.-м.н., н.с. ИТ СО РАН
Дектерев А.А., к.т.н., с.н.с. ИТ СО РАН

Летательные аппараты с циклическими двигателями

Циклолет Сверчкова, Россия, 1909



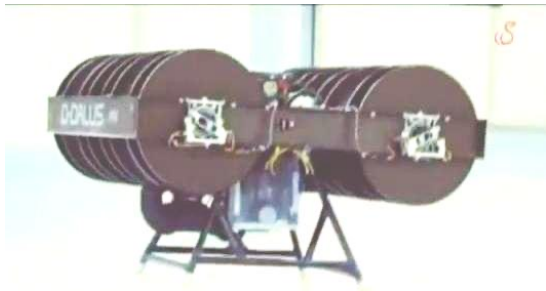
Cyclogyro, США, 1930



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 Сверчкова.
- 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

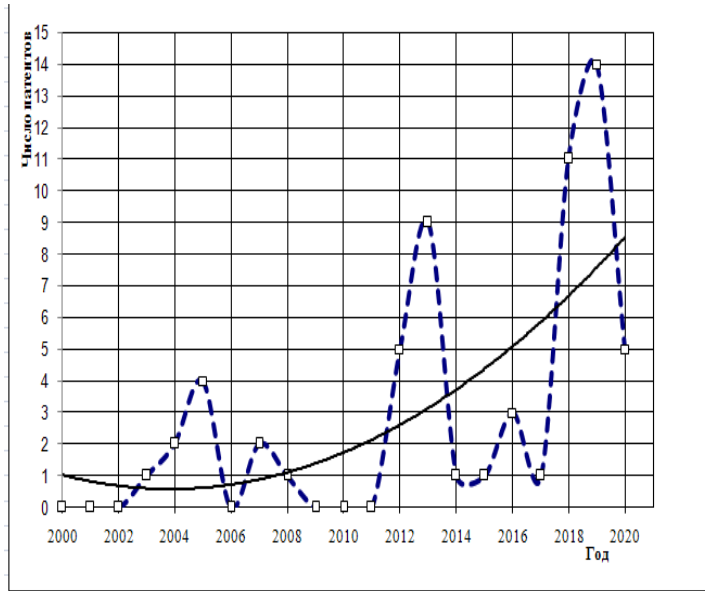


CycloTech, Австрия, 2020



Летательные аппараты с циклическими двигателями

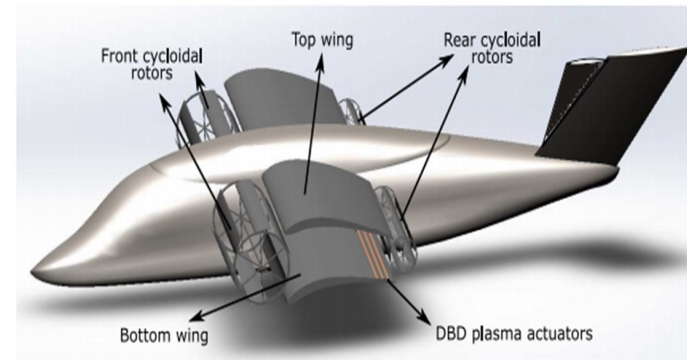
Динамика патентования в области циклических двигателей



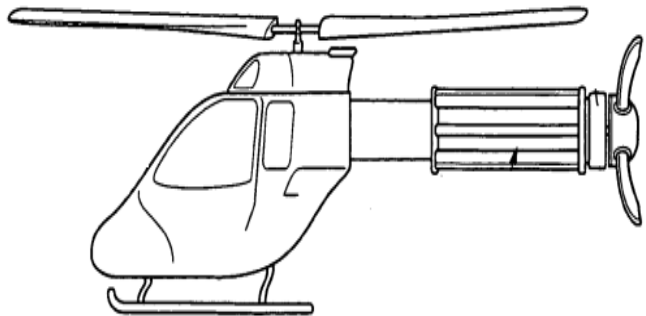
ЛА самолетного типа

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

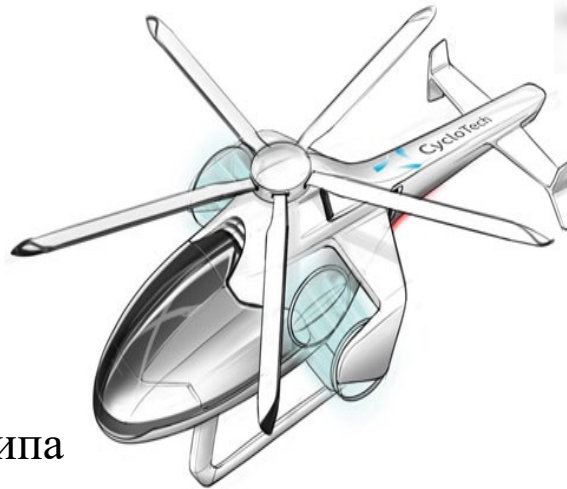
BELL HELICOPTER TEXTRON INC (США) – 9 патентов за 2018 - 2020 гг.



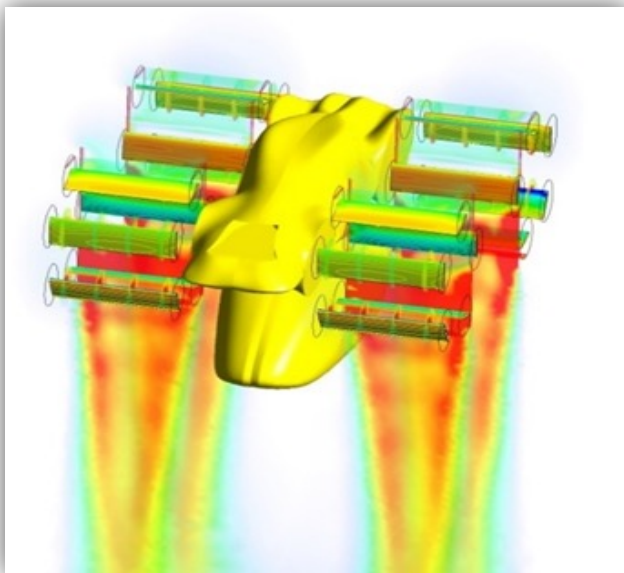
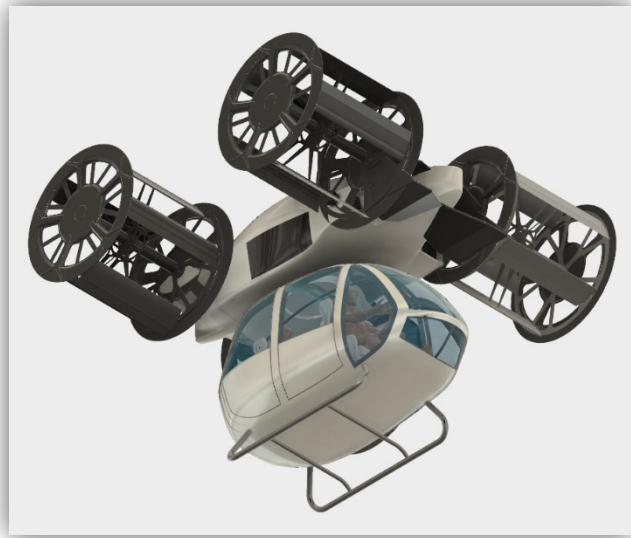
IAT-21 D-DALUS two-seater



ЛА вертолетного типа



НОВЫЕ ПРЕДПОСЫЛКИ К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧИ

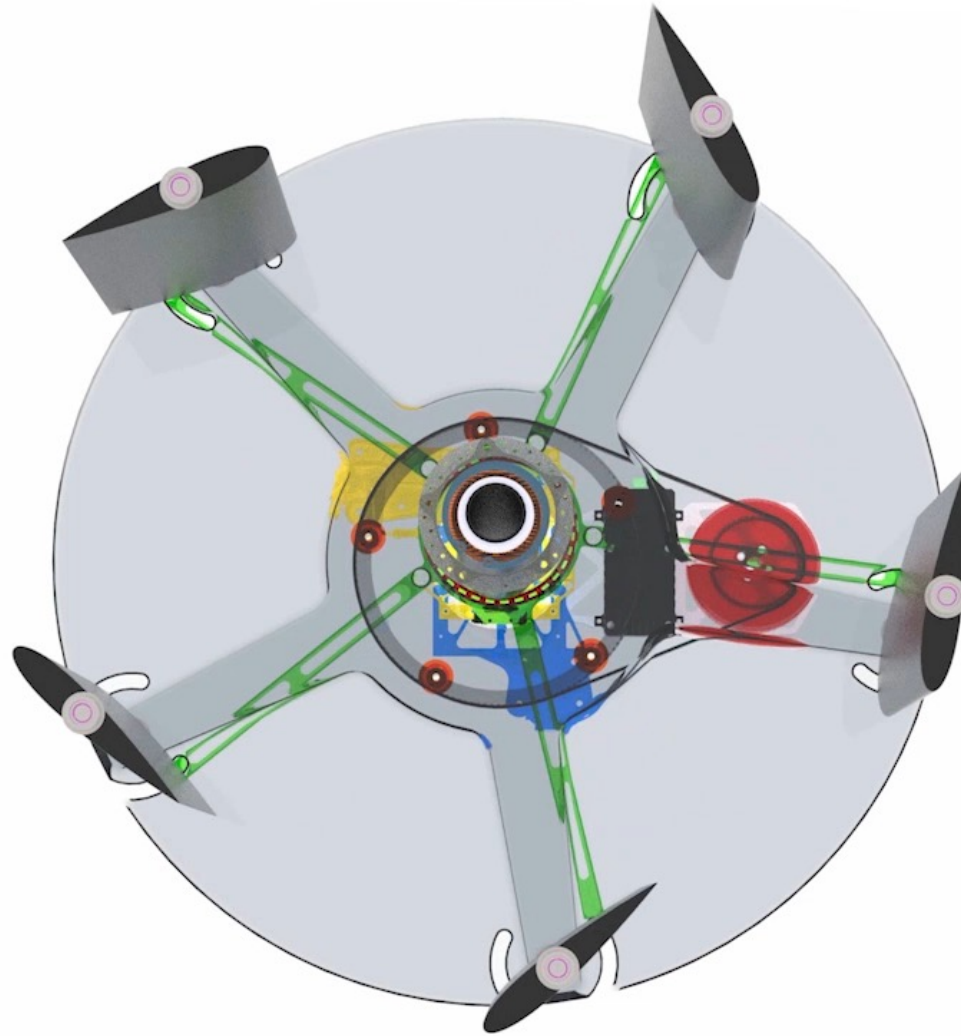


- **Вычислительные методы** механики и газодинамики, **системы лазерной диагностики потоков и поверхностей** – позволяют оптимизировать конструкцию циклического двигателя и ЛА в целом
- **Новые материалы** позволяют снизить вес и улучшить прочностные свойства
- **САУ** – позволяет обеспечить устойчивость 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.

Циклический движитель

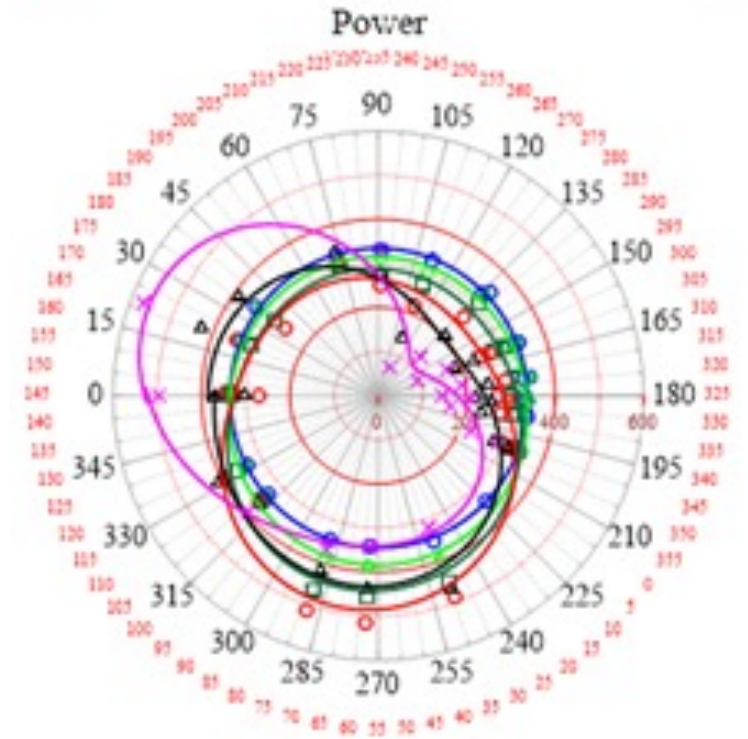
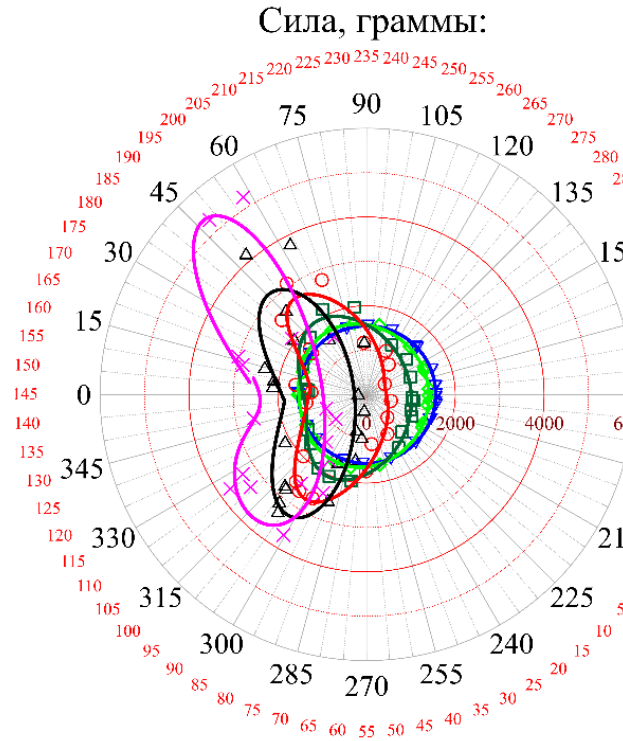
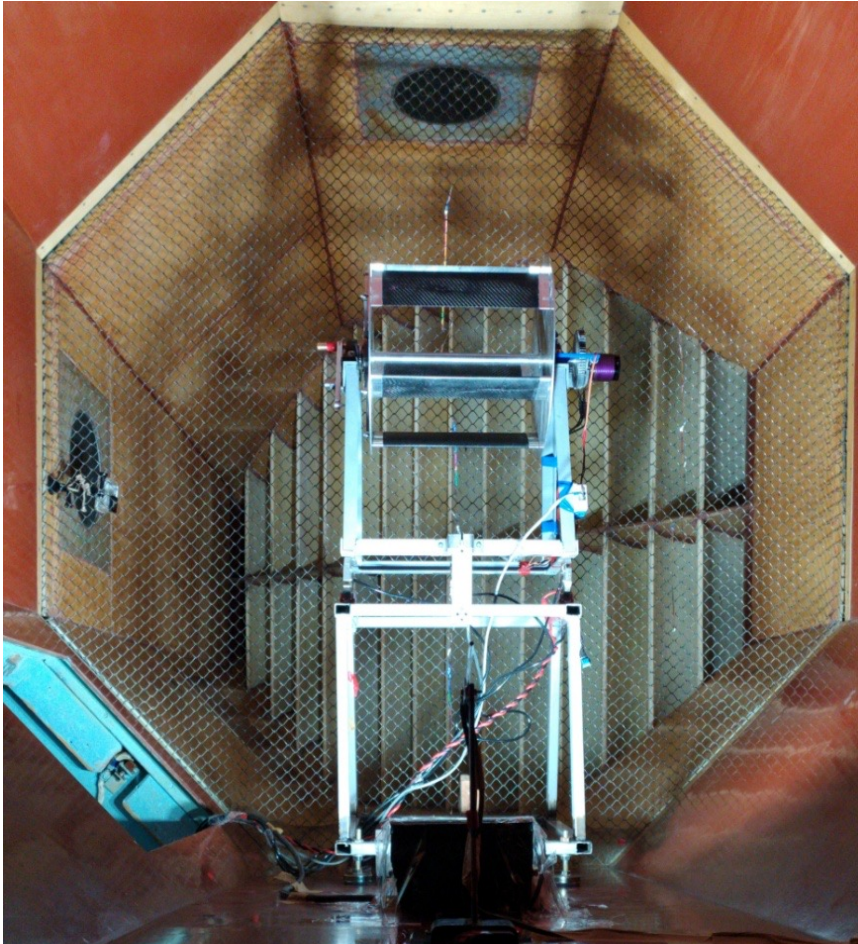
(циклоидальный ротор, циклоидальный пропеллер)

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.

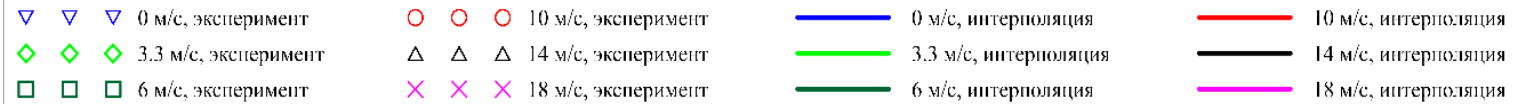


Испытания циклического движителя 330*300 мм

малотурбулентная труба Т-324 ИТПМ



Частота вращения ротора - 1300 об/мин:



Стенд для исследования характеристик Циклического движителя

Система автоматического управления движителем

- 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

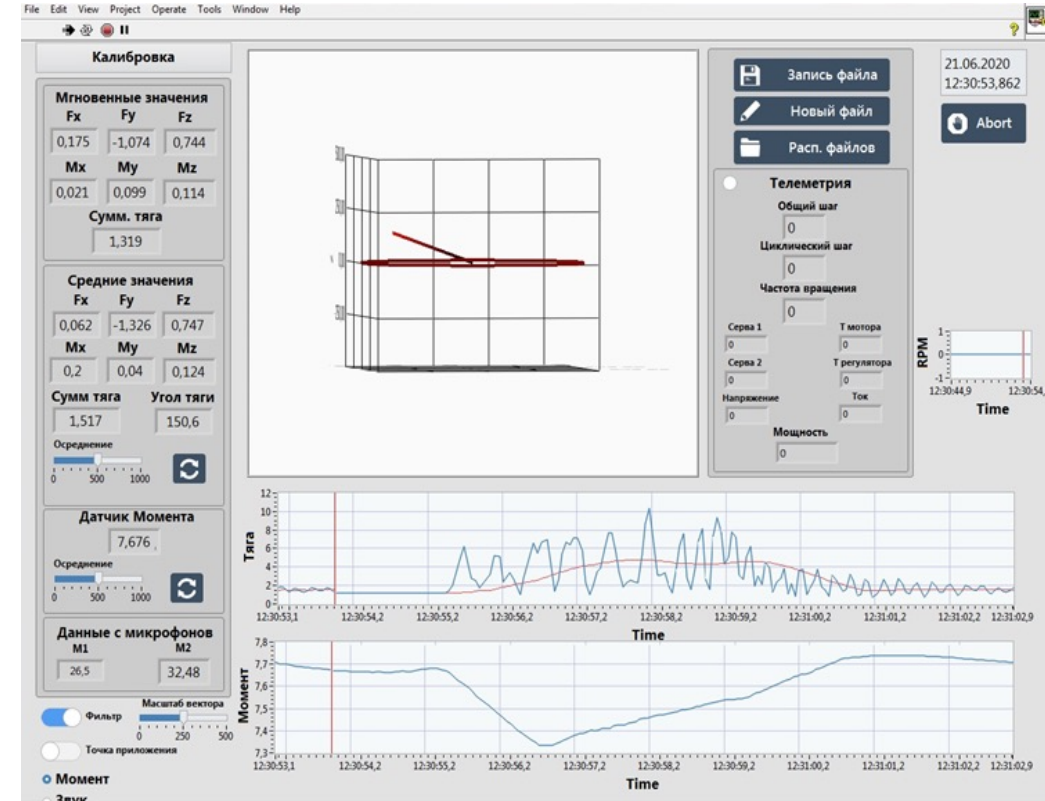
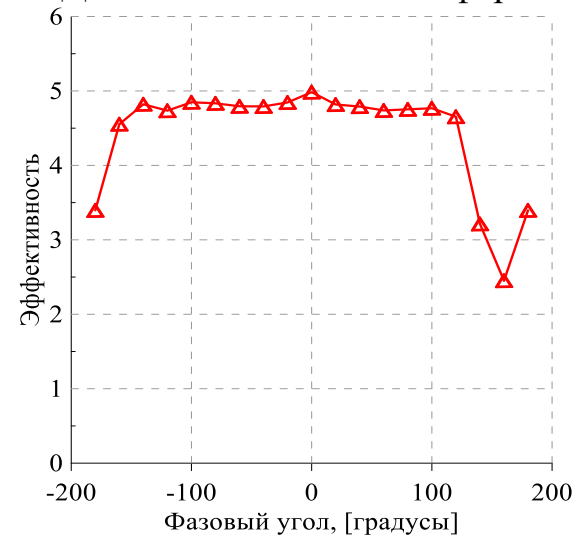
Система электропитания стенда (стационарная и мобильная)

Специальное программное обеспечение

Система пассивной и активной защиты



Двигатель на тензоплатформе



Интерфейс программного комплекса для проведения измерений

Дрон “Циклолет”

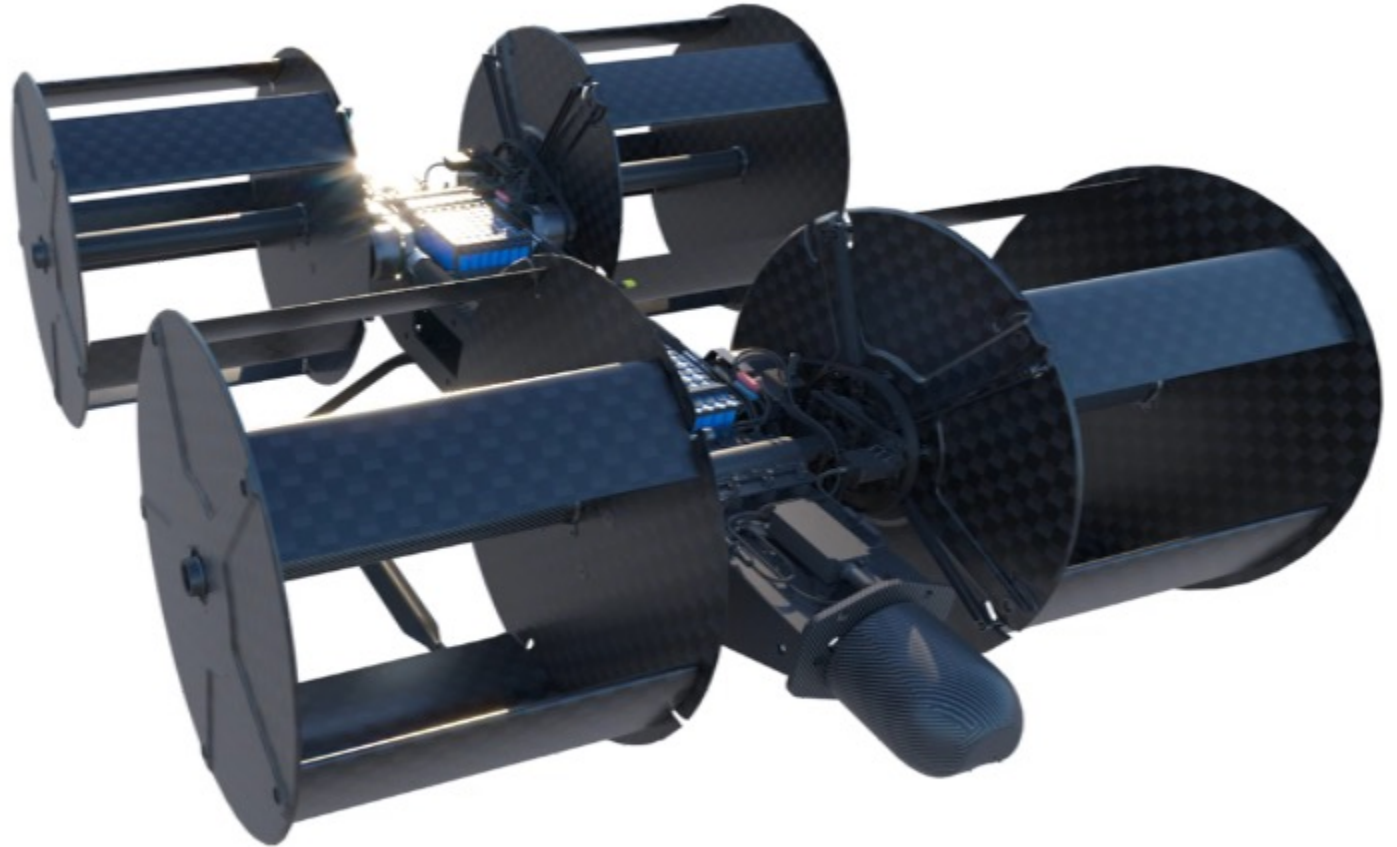
Беспилотный летающий аппарат

4-х роторная схема с циклическими движителями.

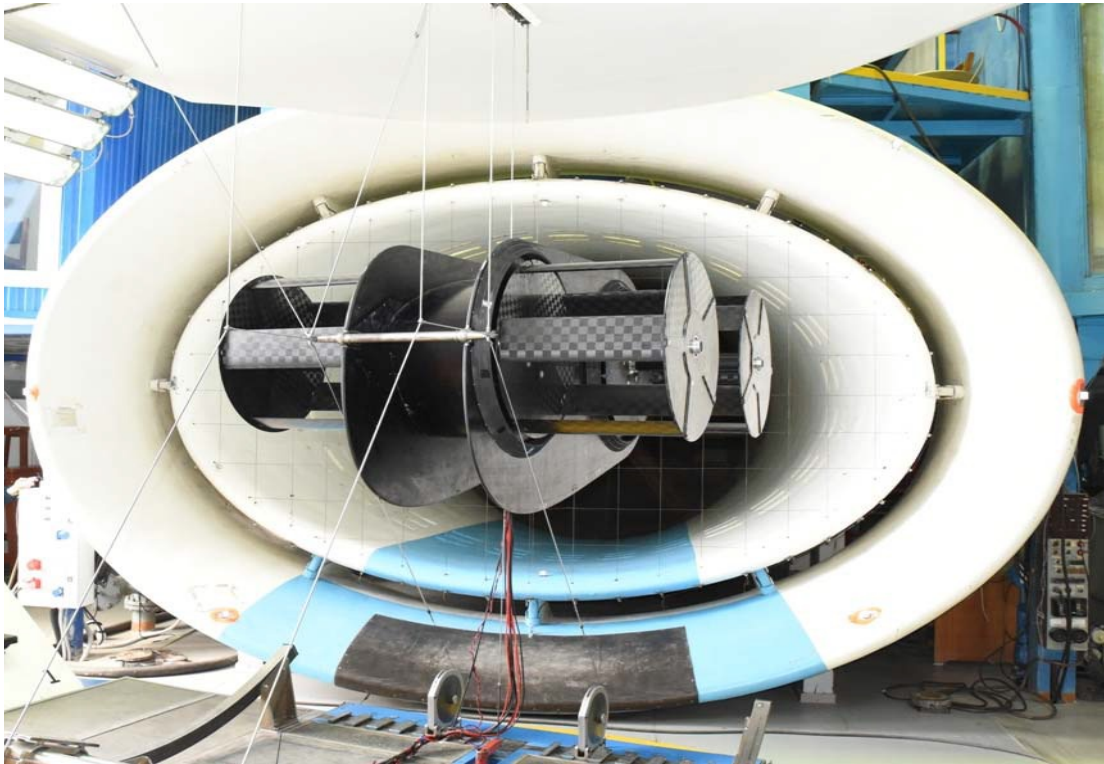
Силовая схема фюзеляжа состоит из несущей рамы, выполненной из сотовых панелей.

На раме размещается:

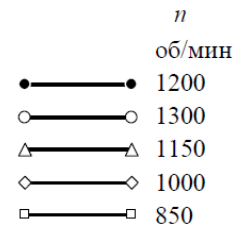
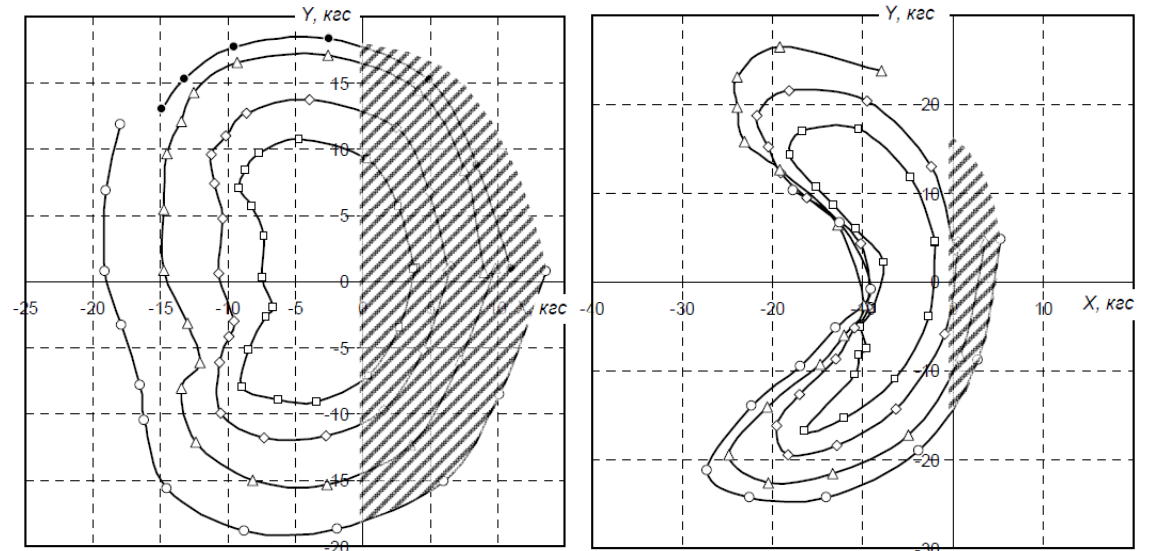
- аккумуляторные батареи;
- БРЭО;
- силовая установка;
- полезная нагрузка.



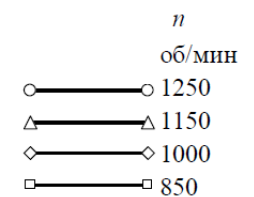
Испытания БПЛА в аэродинамической трубе



Испытания в аэродинамической трубе



а) $\varphi = 100\%$, $V = 10$ м/с



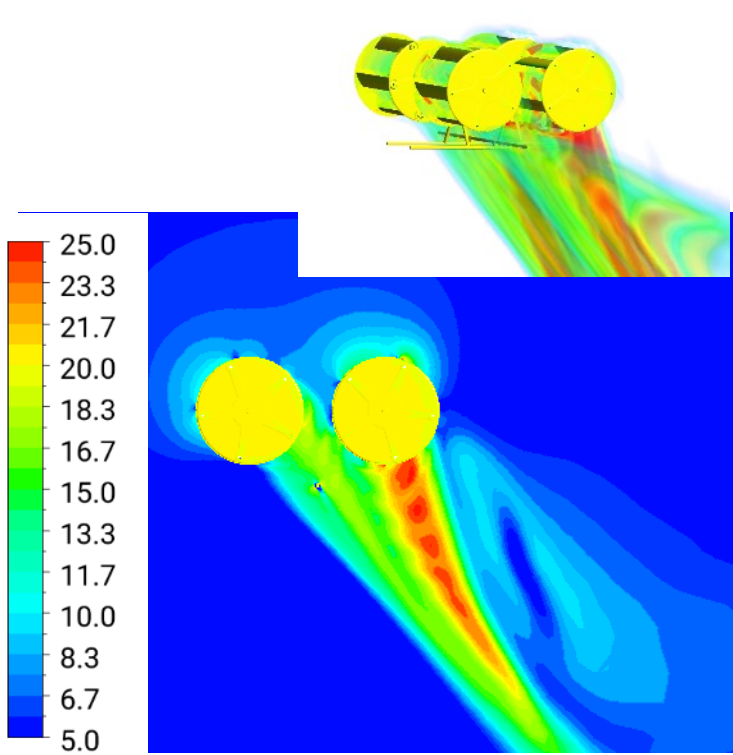
б) $\varphi = 100\%$, $V = 20$ м/с

Диаграммы сил в плоскости XOY
скоростной системы координат

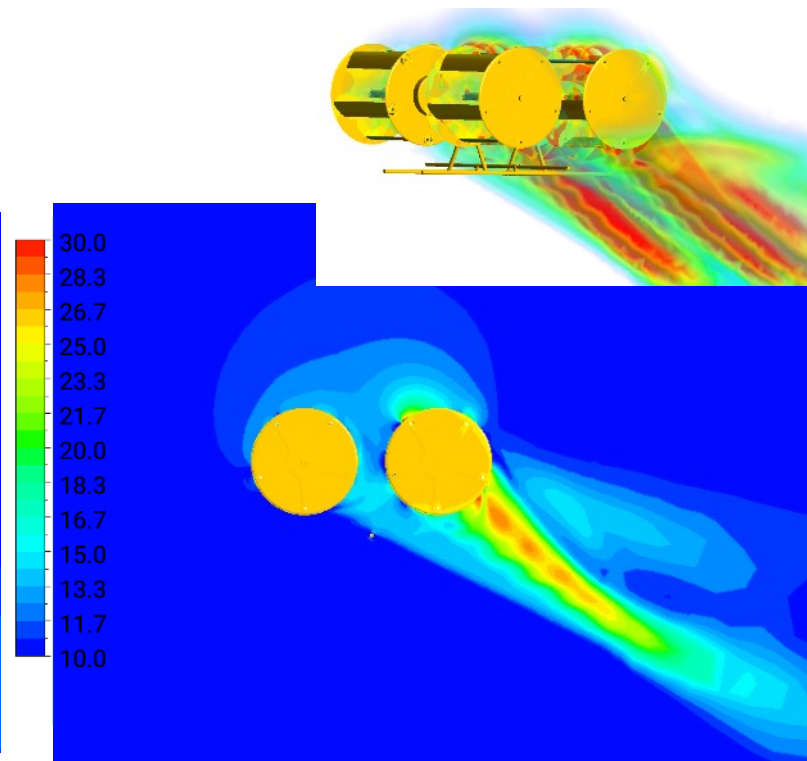
Обоснование конструкторских решений

Аэродинамика

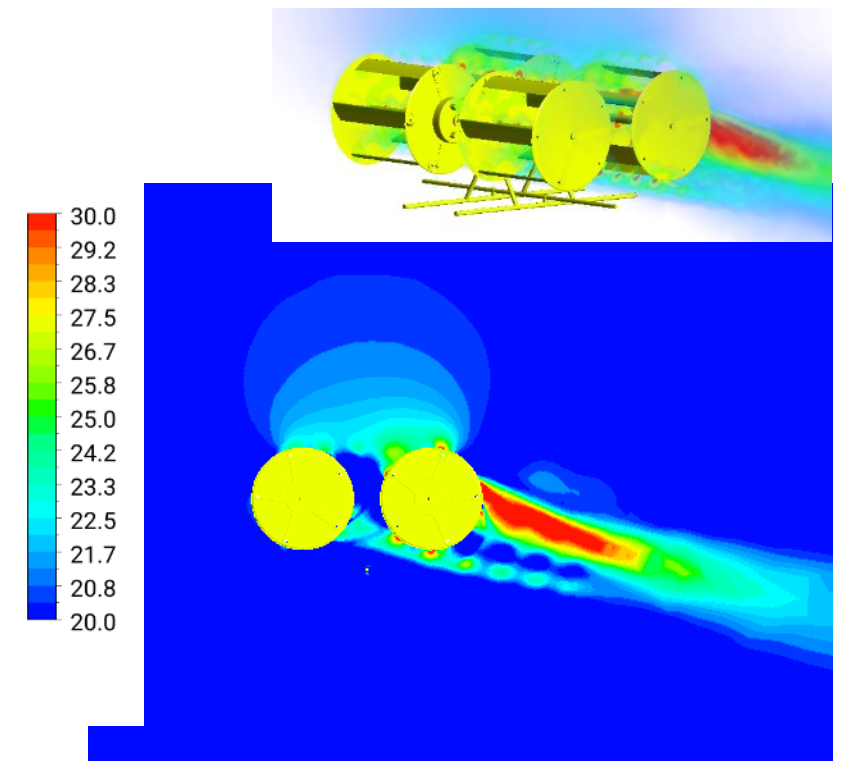
Выполнены оптимизационные расчеты для определения частоты вращения роторов, а также общих и циклических шагов на каждом из роторов для полетных режимов со скоростями 5, 10, 20 м/с, а также с тангажом и рысканьем.



Визуализация скорости для полета со скоростью 5 м/с



Визуализация скорости для полета со скоростью 10 м/с



Визуализация скорости для полета со скоростью 20 м/с

Расчетные ЛТХ БПЛА

Характеристика	Значение
Габариты, мм	1790x2100x1040
Максимальный взлетный вес, кг	60
Масса полезной нагрузки, кг	10
Скорость крейсерская, м/с	18
Скорость максимальная, м/с	28
Время автономной работы	10 минут (ЭСУ), 60 минут (ГСУ)
Дальность связи, км	100 (КТР)

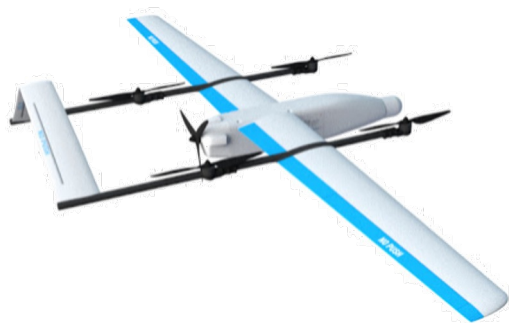
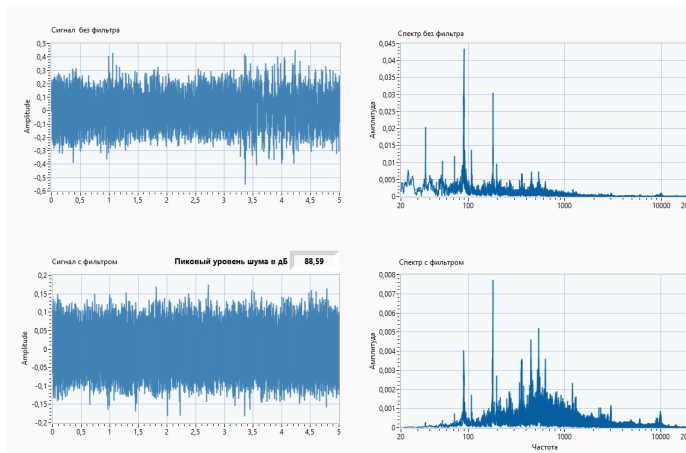


Измерения уровня шума



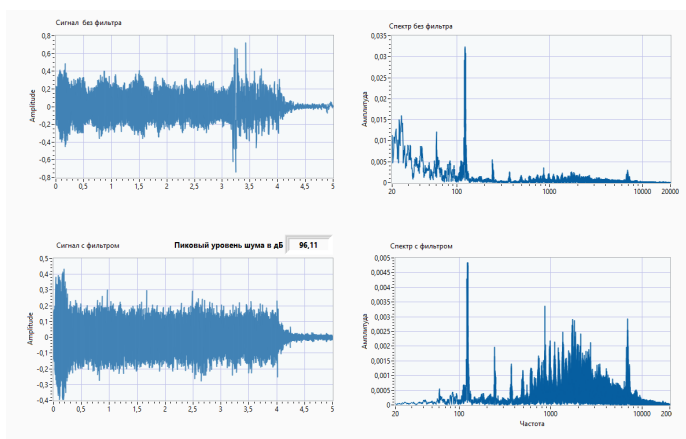
Циклодрон
Габаритный размер ротора 500 мм
Тяга 4 роторов 65 кг

Сигнал и спектр на расстоянии 5 м спереди

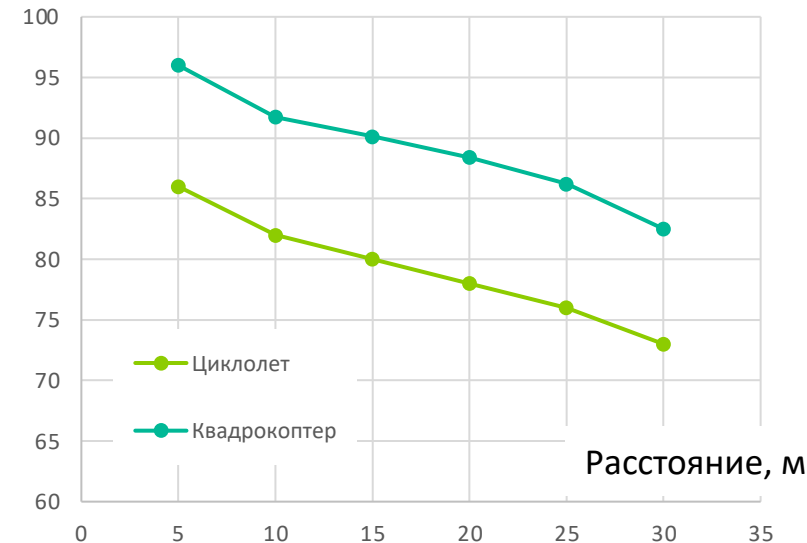


Квадрокоптер
Диаметр винта 710 мм
Тяга 4 винтов 65 кг

Сигнал и спектр на расстоянии 5 м спереди



Уровень шума, дБ



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)