

Особенности управления ЛА с циклическими двигателями

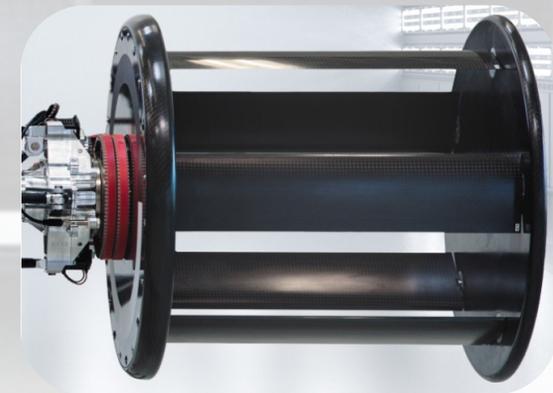
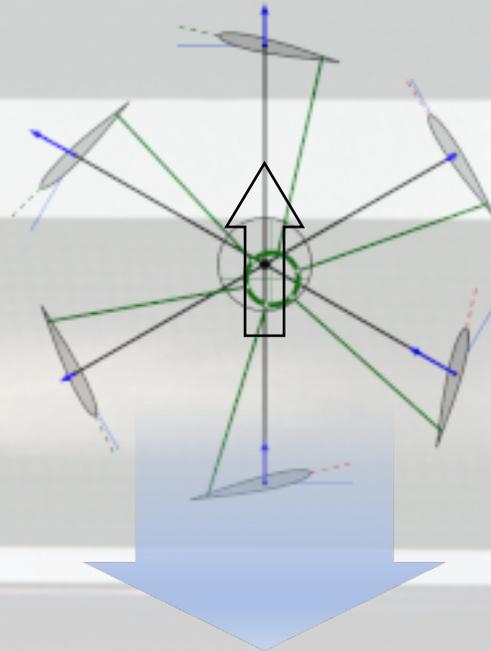
Василий Кретинин
мнс лаборатории 6.3
ИТ СО РАН

e-mail: kret_vas@mail.ru
telegram: [@kiiiu1](https://www.instagram.com/kiiiu1)

Определение

Циклический движитель

Лопастной движитель
(как правило с управляемым
вектором тяги),
тяга которого направлена
вдоль плоскости,
перпендикулярной оси
вращения.



1 <https://en.wikipedia.org/wiki/Cyclogyro#/media/File:Cyclogyro-Mechanics.gif>

2 <https://www.flitetest.com/articles/what-is-a-cyclocopter>

3 https://www.cyclotech.at/wp-content/uploads/2023/03/CycloRotor_CycloTech.jpg

Физические характеристики



Двигатель 0.54 × 0.5 м
Корея, 2012

| | |
|---------------|----------------------|
| Тяга | 4 кгс |
| Масса | ~1.5 кг |
| Обороты | 1100 об/мин |
| Эффективность | (3,112) 2.33 кгс/кВт |



P22*6.6 Prop T-motor*

| | |
|---------------|--------------|
| Тяга | 8.4 кгс |
| Масса | 42 г |
| Обороты | 6400 об/мин |
| Эффективность | 5.16 кгс/кВт |

*винт фиксированного шага,
нет управления вектором тяги

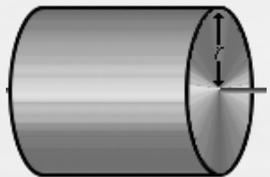
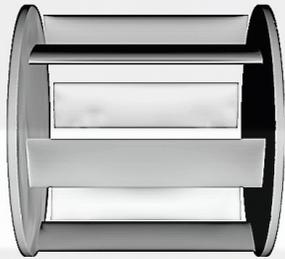


Двигатель 0.6 × 0.6 м
Австрия, 2013

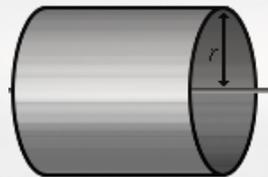
| | |
|---------------|--------------|
| Тяга | 45 кгс |
| Масса | ~20 кг |
| Обороты | 2000 об/мин |
| Эффективность | ~2,3 кгс/кВт |

1 Design, Development and Flight Test of Vertical Take-Off and Landing UAV, Cyclocopter, Seoul, 2016
2 D-Dalus VTOL – efficiency increase in forward flight (DOI:10.1108/AEAT-04-2015-0104)
3 T-MOTOR The Safer Propulsion System (<https://uav-en.tmotor.com>)

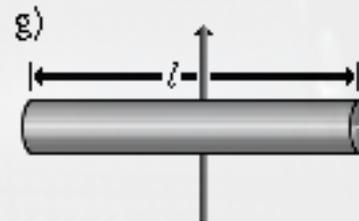
Момент инерции



$$\frac{1}{2}mr^2$$



$$mr^2$$

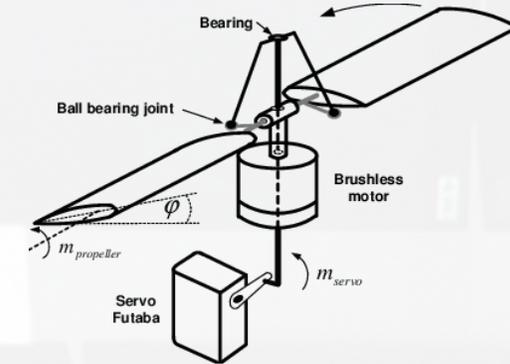
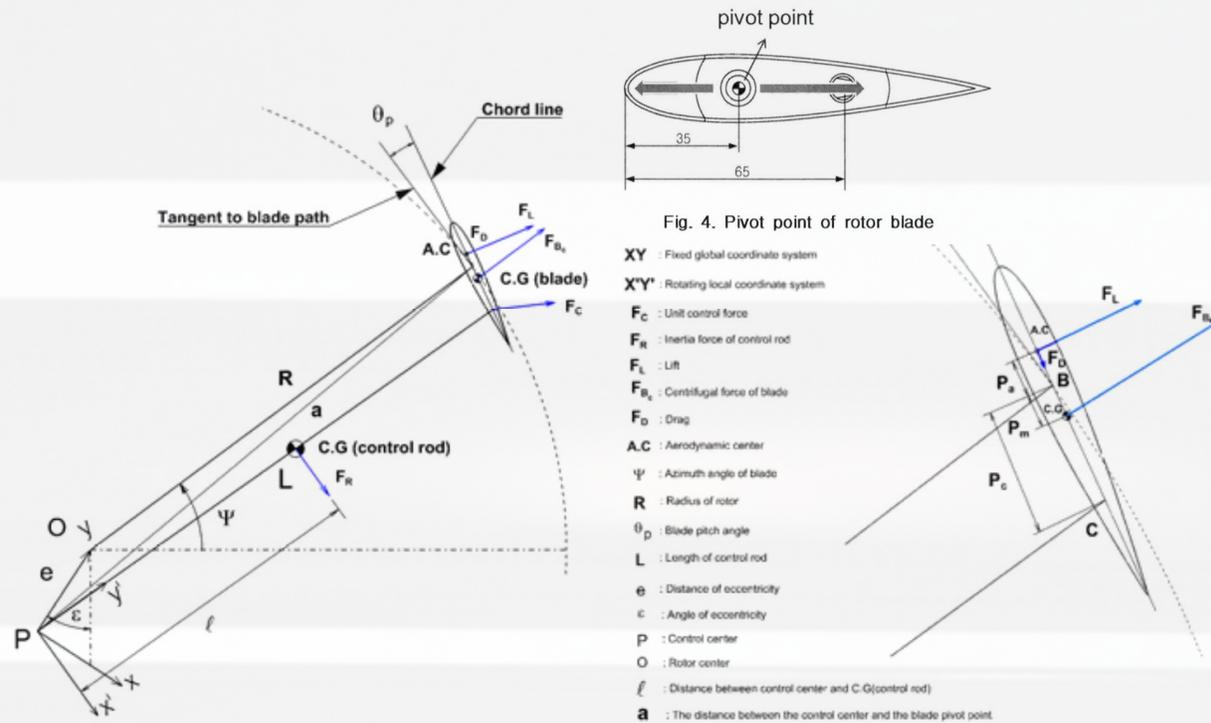


$$\frac{1}{12}ml^2 = \frac{1}{3}mr^2$$

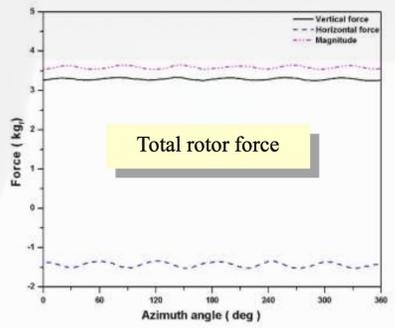
$$m_{cyclo} \sim 50 m_{prop}$$

$$J_{cyclo} \sim 75 J_{prop} \div 150 J_{prop}$$

Управление тягой



Квадрокоптер с ВИШ – Stingray 500



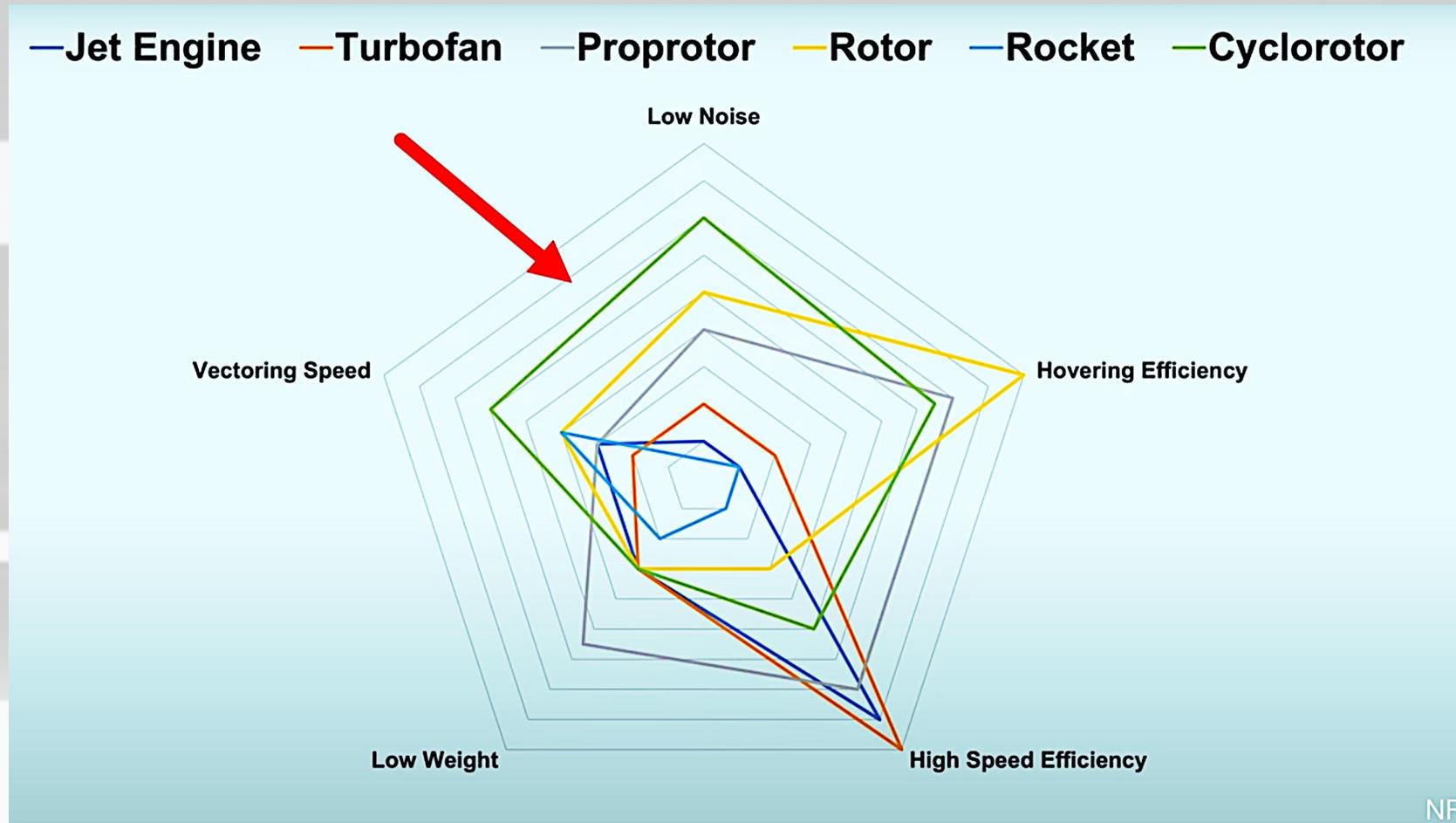
1 Aerodynamic performance enhancement of cycloidal rotor ... (<https://doi.org/10.5139/IJASS.2008.9.2.058>), Корея, 2008
 2 Robust Control Design based on Sliding Mode Control for Hover Flight ... (<https://doi.org/10.1109/IECON.2009.5415267>), 2009
 3 Design, Development and Flight Test of Vertical Take-Off and Landing UAV, Cyclocopter, Seoul, 2016

Двигатель - электрический потребитель

- Характер нагрузки **противоположен** пропеллеру квадрокоптера → RC-компоненты неоптимальны.
- Расчетные модели нагрузки на приводы существуют.
- Большой крутящий момент и низкие обороты → дизельный ДВС или электромотор прямого привода.
- Пульсирующая нагрузка, большой объем энергии при сбросе нагрузки → драйвер с векторным управлением, повышенными требованиями к рекуперации.
- Пульсирующая, асимметричная нагрузка на механизм управления → компенсационные механизмы, самоторможение сервоприводов.
- Драйвер должен быть **комплементарен** сервоприводам: работают в паре.



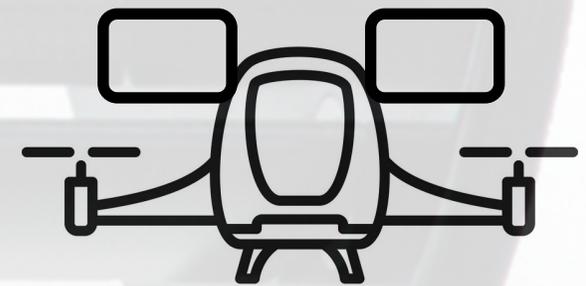
Применение двигателей для ЛА



Применение двигателей для ЛА



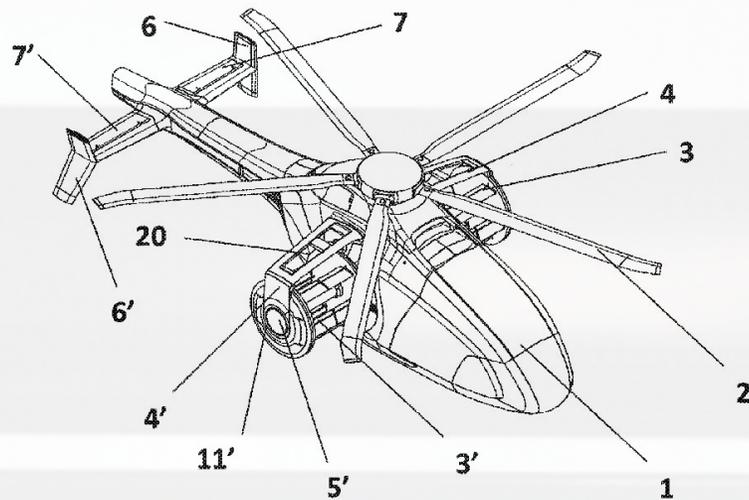
Дирижабль с УВТ



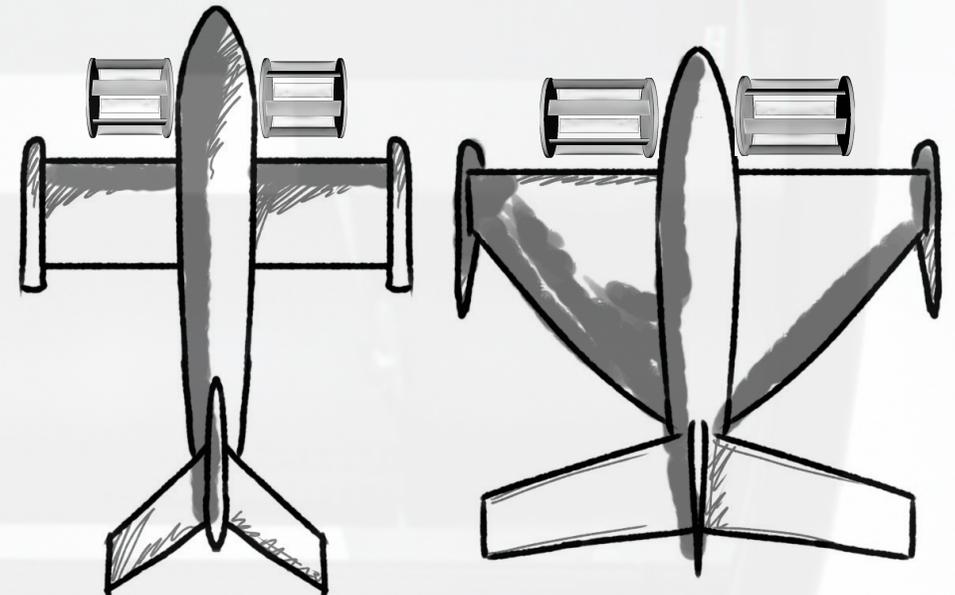
Гибридный мультикоптер

Применение двигателей для ЛА

Patent Application Publication Jan. 24, 2019 Sheet 1 of 5 US 2019/0023393 A1



Скоростной вертолет (винтокрыл) / автожир



Экранопланы, катера на воздушной подушке

Выводы

- 2000–2020е – время широких международных исследований циклических движителей и ЛА на их основе.
- Созданы и отработаны методики проектирования движителей и ЛА в широком диапазоне размеров: 20мм-1200+ мм. Исследованы аэродинамические, механические, электрические свойства движителей на висении и в скоростном полете.
- Циклические движители – дополнительная «точка» в поле возможных решений для ЛА настоящего и будущего: у движителей есть свои уникальные конкурентные преимущества, востребованные для широкого диапазона ЛА.

Василий Кретинин
мнс лаборатории 6.3 ИТ СО РАН

e-mail: kret_vas@mail.ru
telegram: @kiiiu1