

Космический эксперимент «Парус-МГТУ»

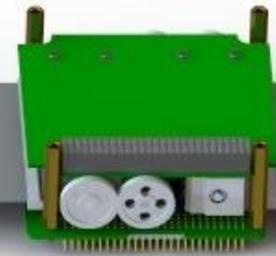
Состояние, перспективы развития и
использования результатов проекта



МГТУ им. Н.Э. Баумана, Моложёный космический центр

С.М. Тененбаум, Д.А. Рачкин, О.С. Коцур, Н.А. Неровный

Солнечный парус – перспективная технология

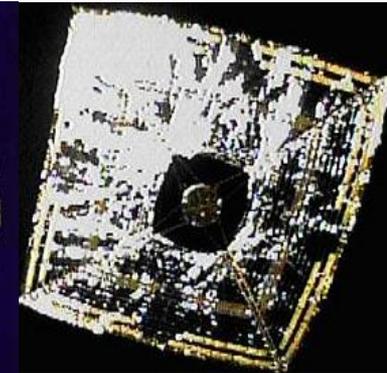


- Сферы применения
 - двигательная установка для сведения КА с низких околоземных орбит
 - построение группировок наноспутников
 - двигательная установка без расхода рабочего тела для межорбитальных перелётов для нано- и микроспутников
 - антенны для сверхдлинных волн
- Особенности
 - огромные габариты паруса (сотни метров)
 - высокие требования к массе КА (парусность 10 м²/кг и выше)
 - плохая управляемость

Знамя
РКК «Энергия», 1993



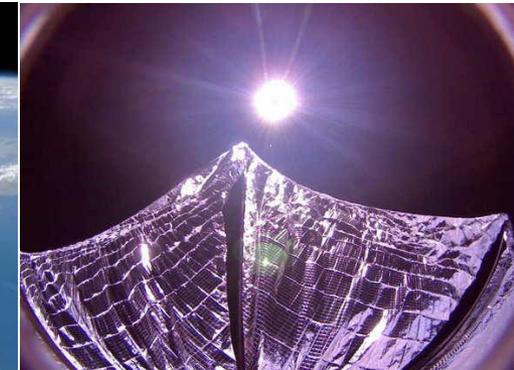
IKAROS
JAXA, 2010



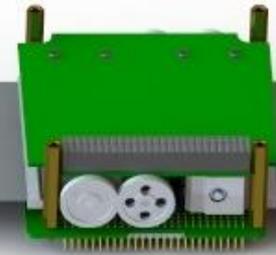
NanoSail-D
NASA, 2011



LighSail
Planetary Society, 2015



Двухлопастный солнечный парус



Макет двухлопастного солнечного паруса

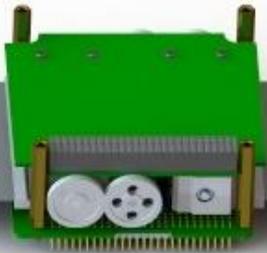
Особенности солнечных парусов типа «Гелиоротор»:

- Простота масштабирования (увеличением длины лопастей)
- Простота укладки (намотка лопастей на катушки)
- Возможность многократного разворачивания/сворачивания

Особенности двухлопастного солнечного паруса:

- минимальное число раскрываемых элементов
- особенности тензора инерции (возможность неустойчивого вращения, эффект Джанибекова)

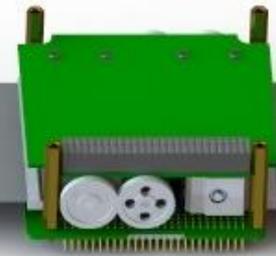
Космический эксперимент



Запуск во время внекорабельной деятельности



Программа эксперимента



0

- Раскрутка маховика КМА (до отделения)

1

- Запуск КМА из ПУР

2

- Принудительная остановка маховика (КМА закручивается, $|K| > 0$)

3

- Раскрытие солнечного паруса (2 лопасти по 5 м)

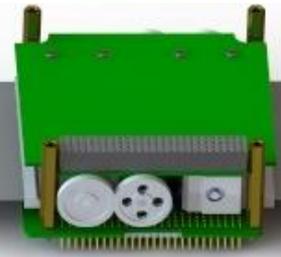
4

- Передача данных по радиоканалу (вектор угловых скоростей, фотографии, телеметрия)

5

- В случае успеха – дальнейшие эксперименты с солнечным парусом (складывание и др.)

Научная аппаратура «Парус»

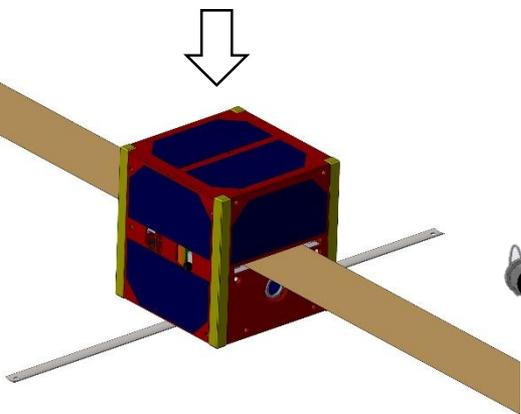


- Разработка в рамках государственного контракта

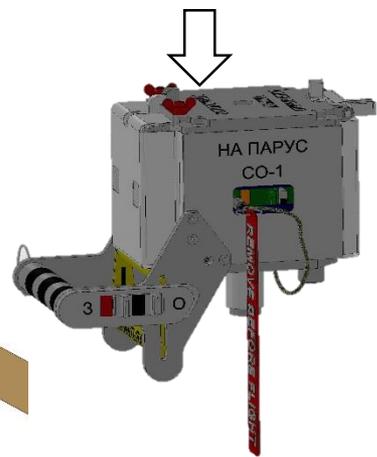
БИГЕ.464000.001
Научная аппаратура «Парус»
МГТУ им. Н.Э. Баумана



БИГЕ.464100.001
Космический микроаппарат
МГТУ им. Н.Э. Баумана



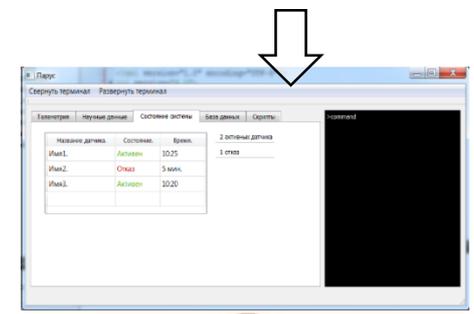
БИГЕ.305142.001
Пусковое устройство ручное
МГТУ им. Н.Э. Баумана



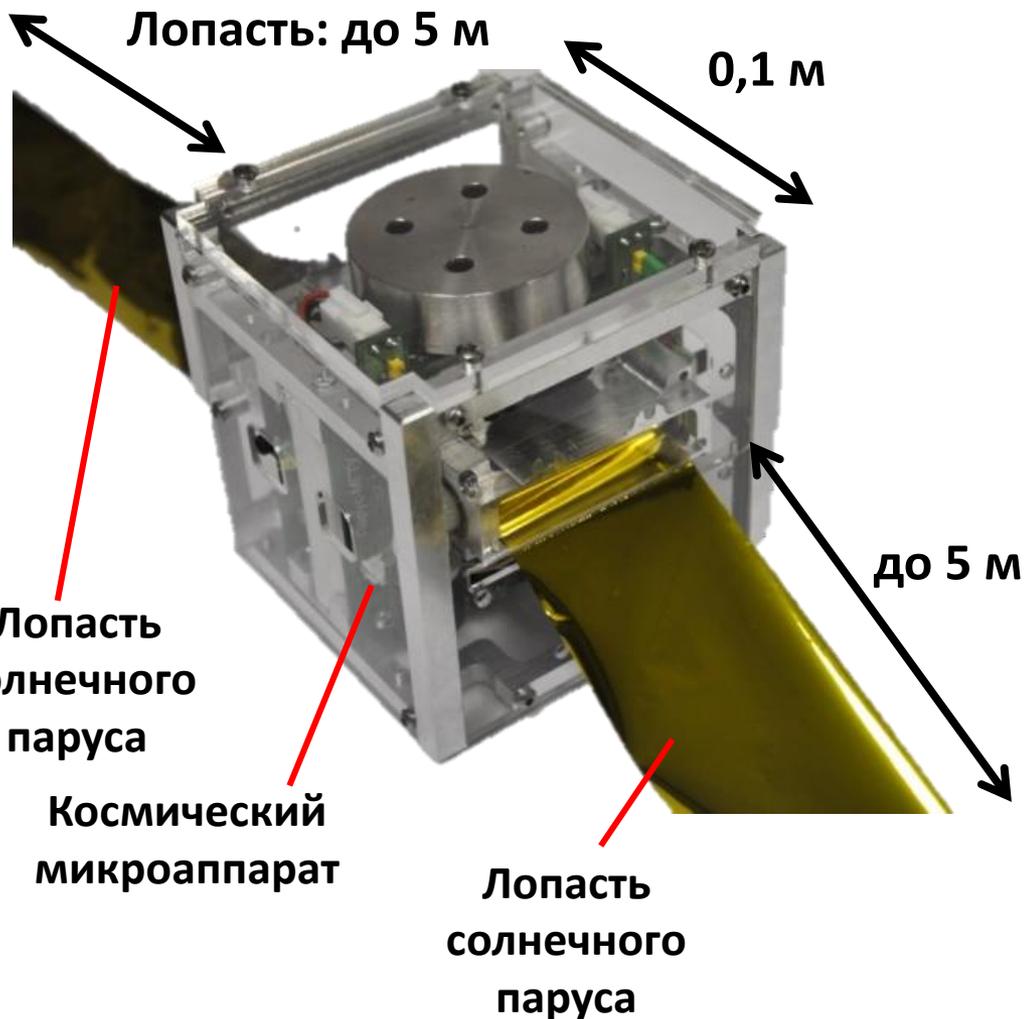
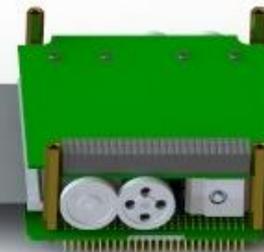
БИГЕ.685662.001
Кабель интерфейсный
МГТУ им. Н.Э. Баумана



RU.БИГЕ.XXXXX-01
Программное обеспечение для диагностики КМА
МГТУ им. Н.Э. Баумана



Космический микроаппарат



Размеры солнечного паруса	0,05 м X 10 м (2 лопасти по 5 м)
---------------------------	-------------------------------------

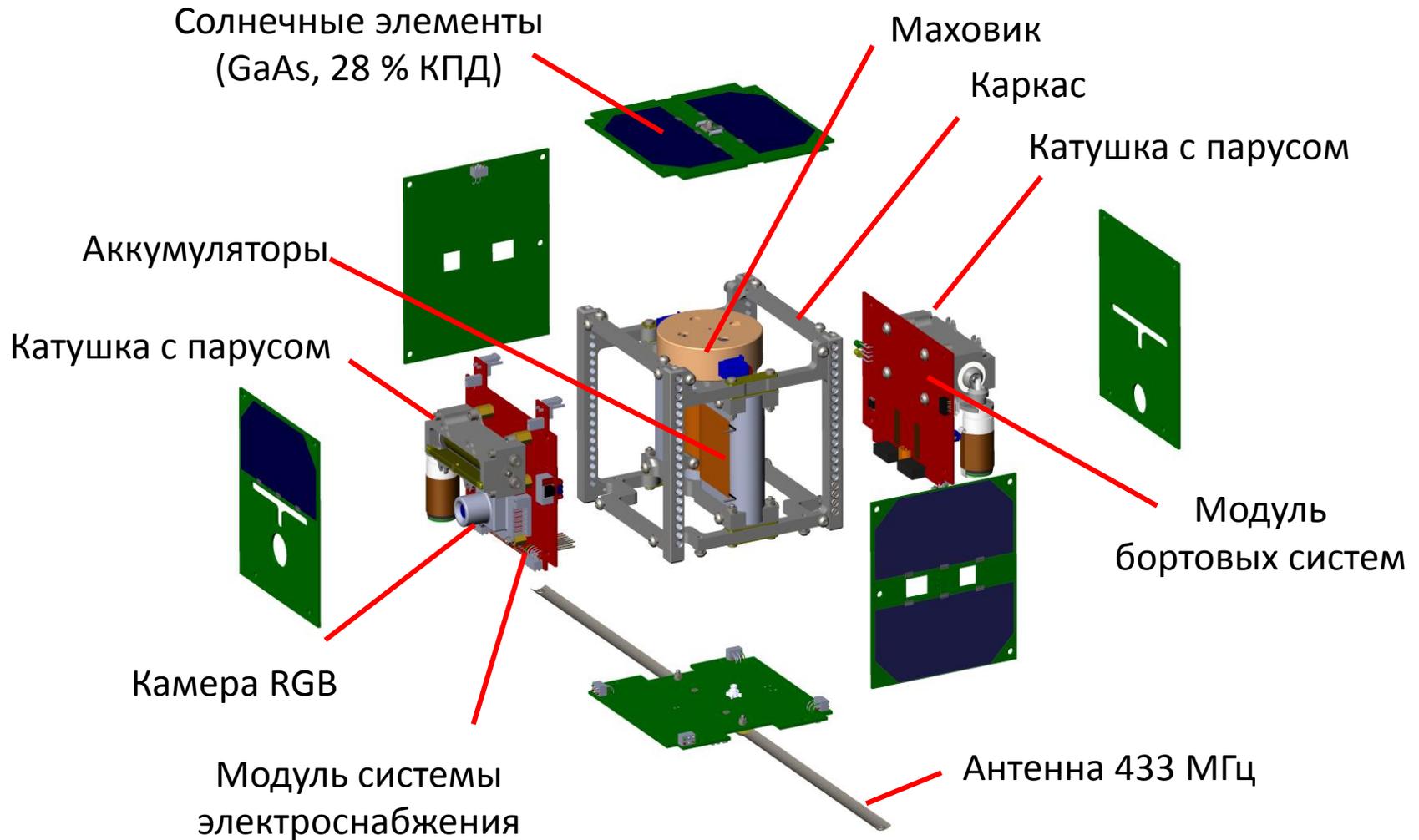
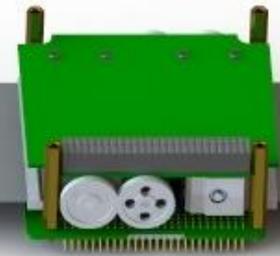
Материал паруса	Плѐнка полиимидная (каптон), (ООО «НИИКАМ»)
-----------------	--

Толщина плѐнки	12 мкм
----------------	--------

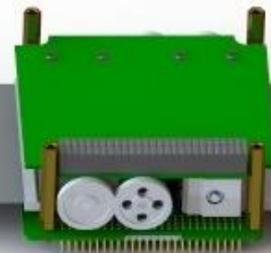
Масса КМА	1 кг
-----------	------



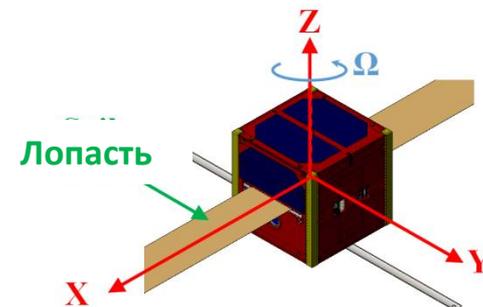
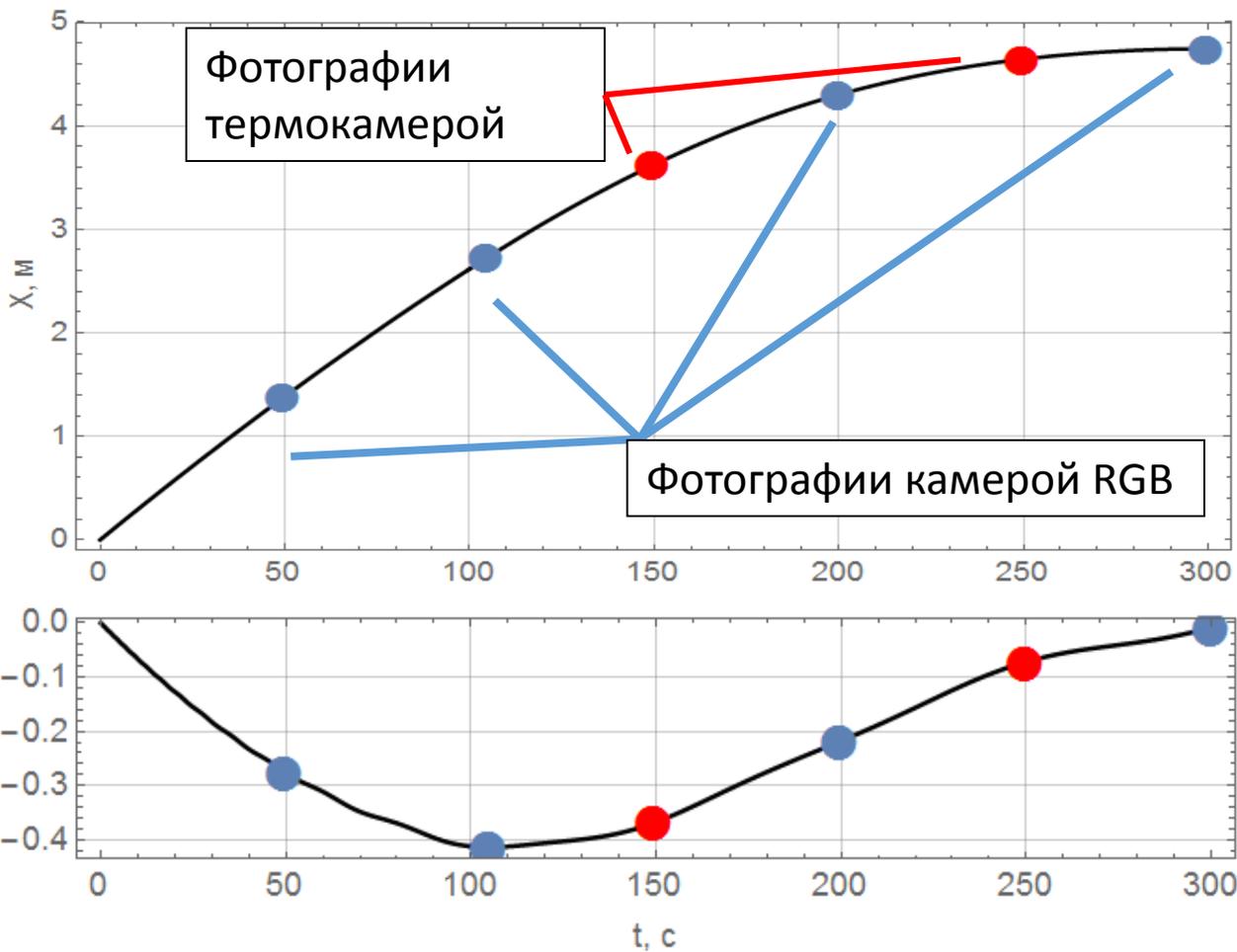
Компоновка КМА



Научная информация



Проекция траектория кончика лопасти



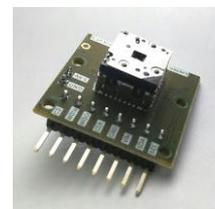
Система координат (связанная с КМА)

Камера RGB

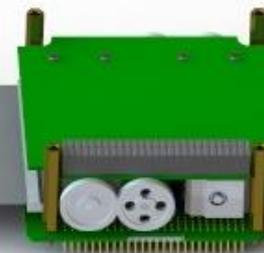


Link Sprite
JPEG TTL
320× 240

Термокамера



FLIR Lepton
Thermal
Imager
80 x 60

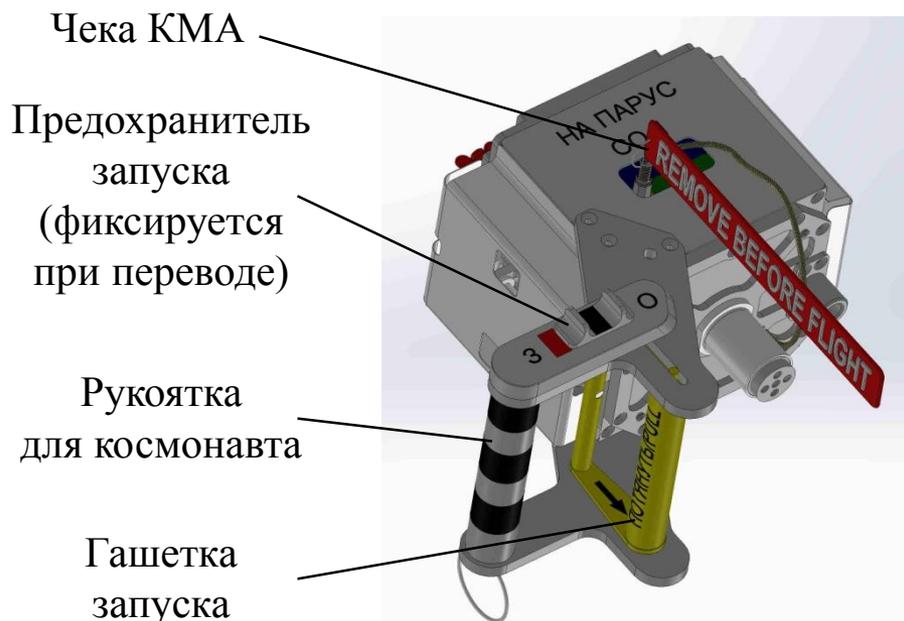


Пусковое устройство ручное

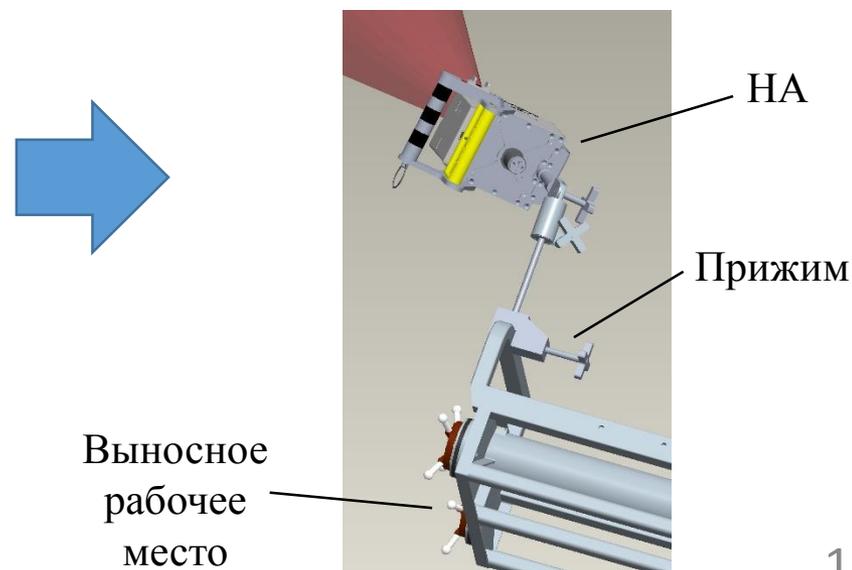
- Назначение
 - запуск КМА во время ВнеКД с высокой точностью в выбранном направлении
 - обеспечение минимальных поперечных угловых скоростей КМА для развёртывания БТК
- Проектный облик

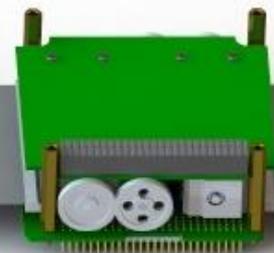
Масса, кг	1,75 макс
Габариты, мм	290 × 200 × 250
Поперечная угловая скорость КМА после выстрела, °/с	0,5 макс*

* - подтверждено результатами динамического моделирования



Установка НА на ВРМ СО-1

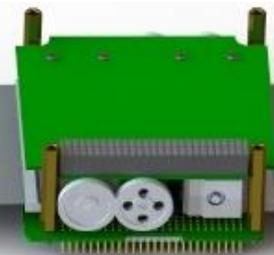




Состояние разработки

ЭТАП	2015	2016	2017	2018
Эскизный проект				
Конструкторская документация				
Автономные испытания				
Комплексные испытания				
Лётные испытания				

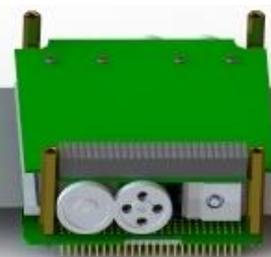
Объём разработанной документации: более 4000 листов А4



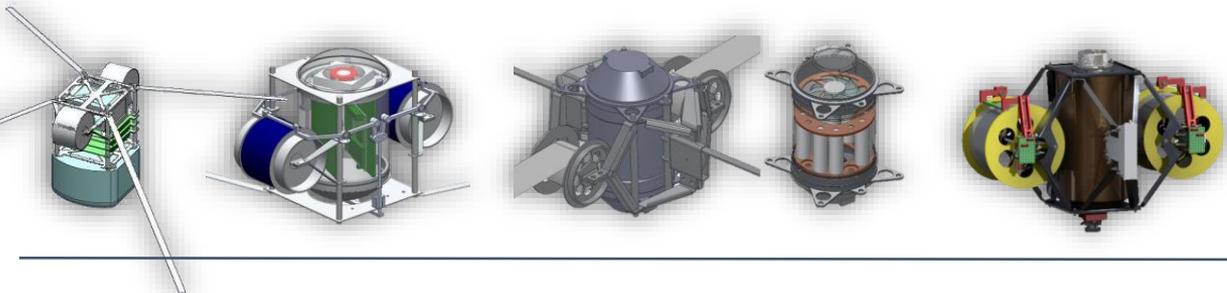
Основные результаты

- Создан значительный задел по бортовым системам собственной разработки
(в т.ч. СЭС, СУБК, радиосвязь и др.)
- Создан задел по двухлопастному солнечному парусу
(облик, материалы, развёртывание и др.)
- Получен бесценный опыт ведения «студенческой» ОКР

Эволюция компоновки КМА



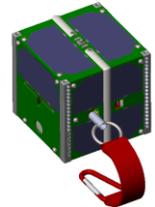
1 поколение (2009-2011 гг) герметизированный приборный контейнер

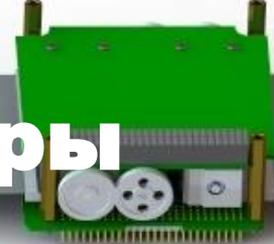


2 поколение (2011-2013 гг) негерметичный приборный блок



3 поколение (2014-2017 гг) унификация с типоразмером Cubesat 1U



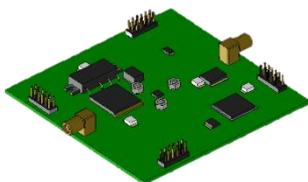


Эволюция бортовой аппаратуры

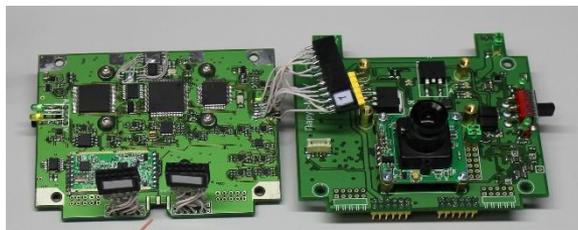
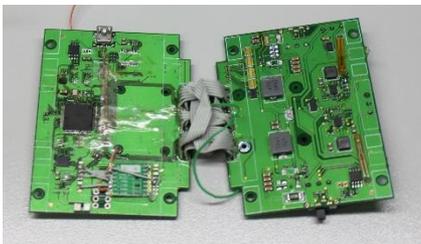
1 поколение (2009-2011 гг) герметизированный приборный контейнер

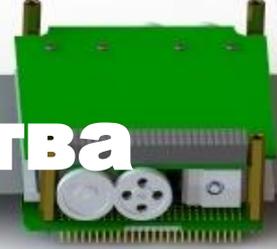


2 поколение (2011-2013 гг) негерметичный приборный блок



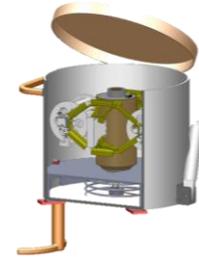
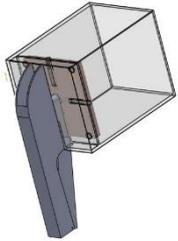
3 поколение (2014-2017 гг) унификация с типоразмером Cubesat 1U



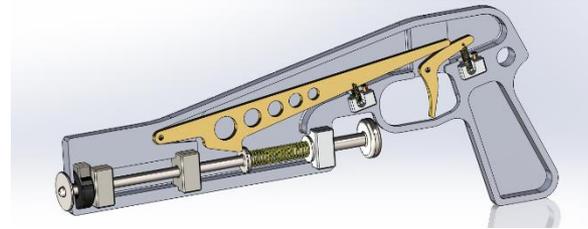
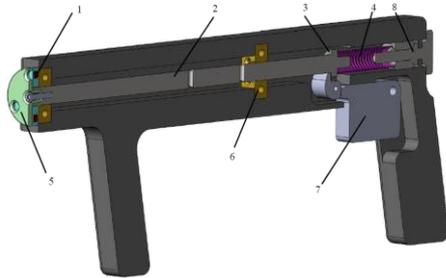


Эволюция пускового устройства

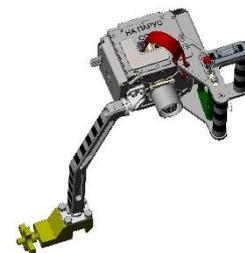
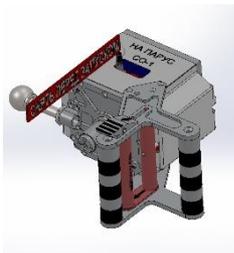
1 поколение (2009-2011 гг) контейнер обеспечивает закрутку



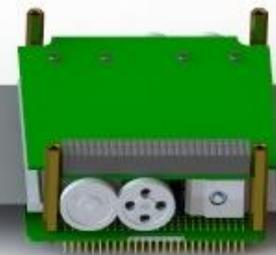
2 поколение (2011-2013 гг) негерметичный пистолет для запуска



3 поколение (2014-2017 гг) унификация с типоразмером Cubesat 1U

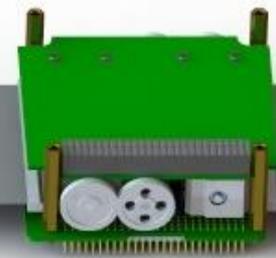


Использование результатов



- Разработка унифицированных открытых решений по бортовым системам с замещением ЭКБ и КИМП на российские аналоги
- Разработка унифицированного модуля солнечного паруса для наноспутников для:
 - построения группировок наноспутников
 - сведения космических микро- и наноаппаратов с орбиты

Дальнейшее развитие



- Решение задачи управления ориентацией роторного солнечного паруса
- Отработка развёртывания солнечного паруса большой длины (100 м)
- Демонстрация - межорбитальный перелёт

Спасибо за внимание!



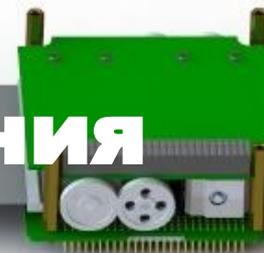
Сайт проекта: www.bsail.ru

Дополнительные слайды

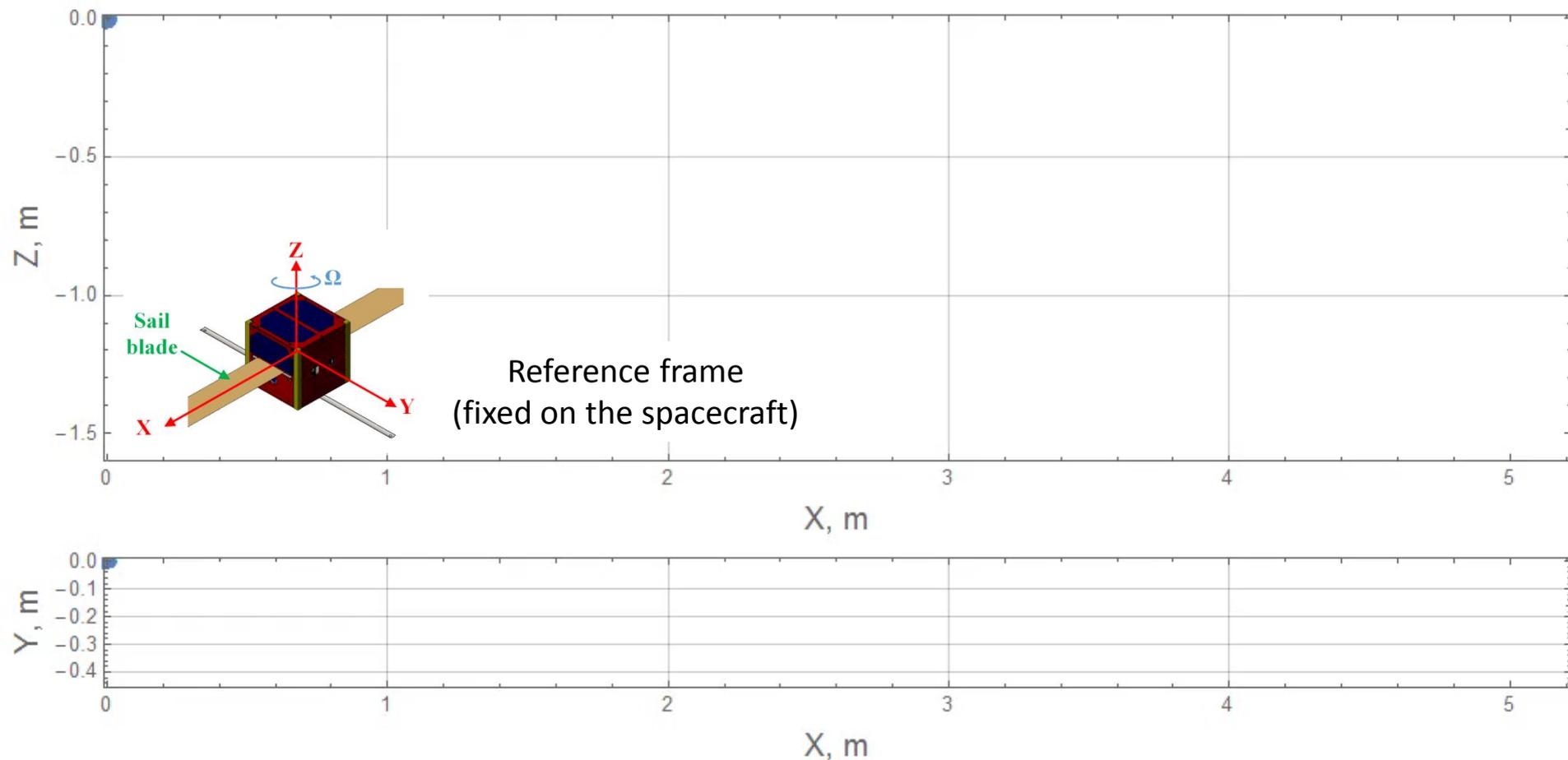


Сайт проекта: www.bsail.ru

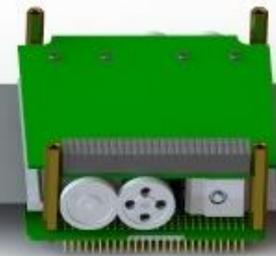
Моделирование развёртывания



Проекция формы лопасти на оси связанной системы координат



Отработка развёртывания



Цель: предварительная верификация модели развёртывания

➤ **Условия:**

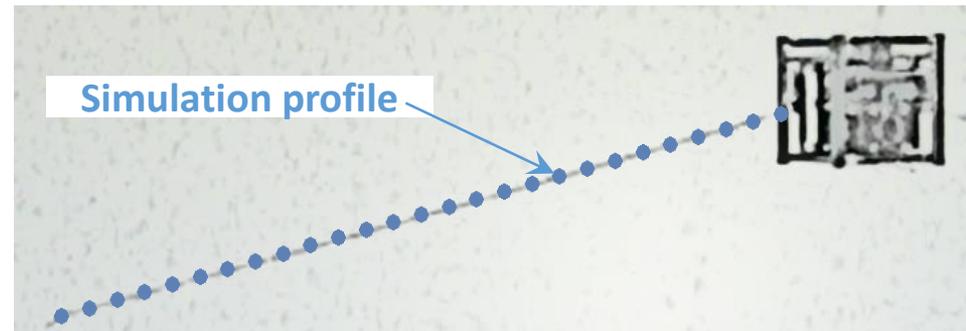
- Атмосферное давление
- Гравитация
- Лопасть заменена нитью
- КМА раскручивается относительно маховика

➤ Развёртывание фиксировалось на скоростную видеокамеру

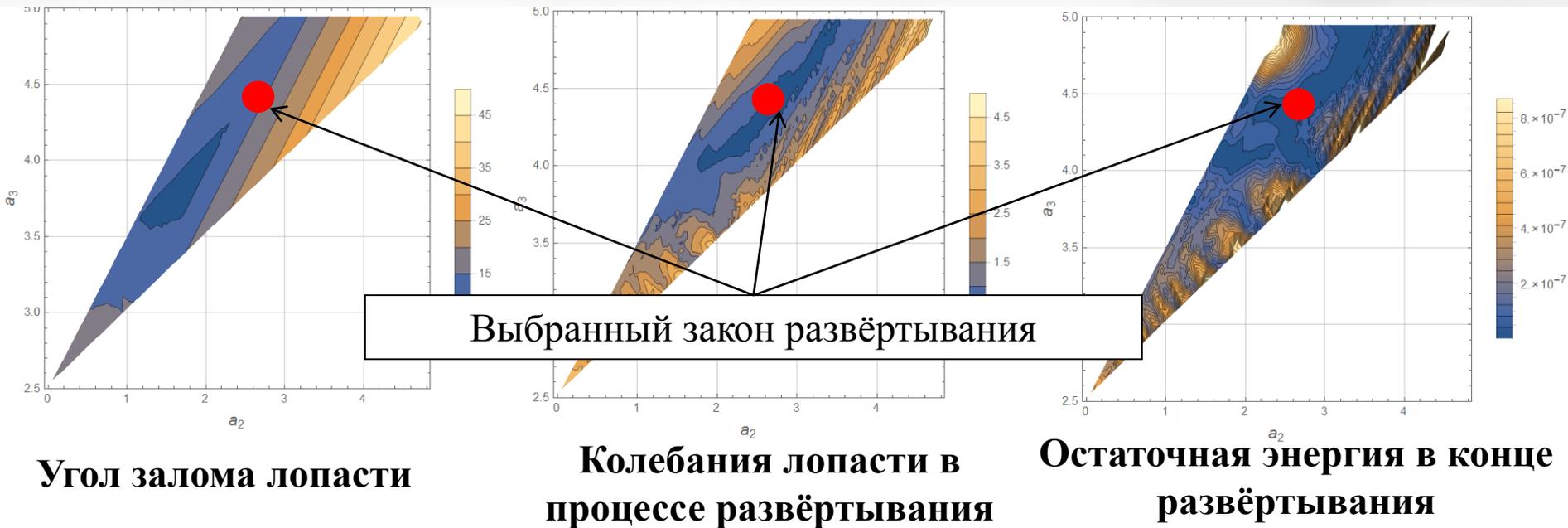
➤ Результаты позволили частично верифицировать математическую модель



Thread deployment (240 fps, slowed down x8)



Выбор режима развёртывания



- Закон развёртывания – функция длины от времени $L(t)$
- Задаётся в виде сплайна третьего порядка по 4 точкам
- С учётом наложенных ограничений имеются два свободных параметра, определяющих форму режима развёртывания (a_2, a_3)

Применение

Спектральный диапазон: панхроматический

Разрешение: 3-5 м

Периодичность: 1 ч

5 - Оборона и разведка

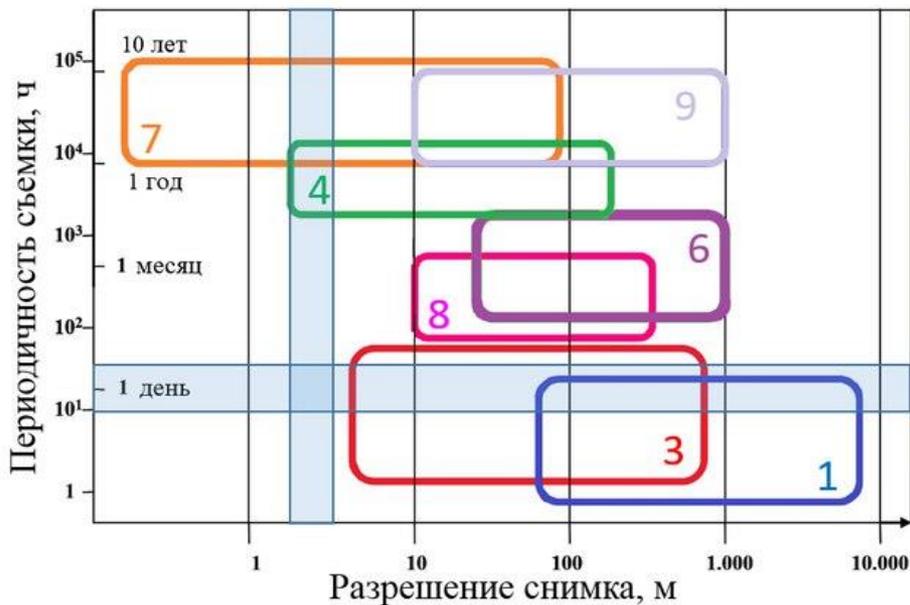
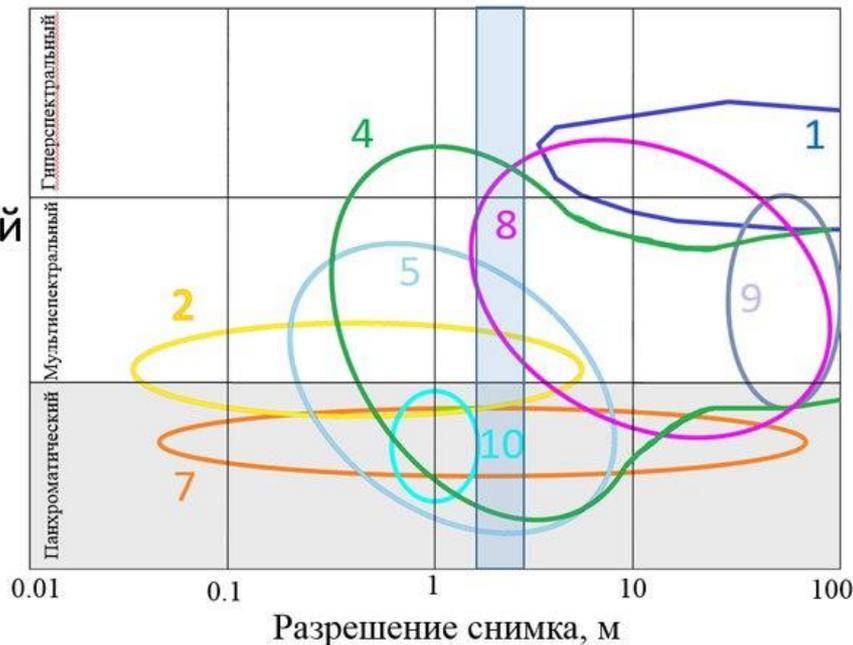
6 - Контроль судов

7 - Картография

1 - Метеорология и гидрология

2 - Инфраструктура:

- Динамика развития городов;
- Оценка неравномерности потребления энергии в мире (для ночного освещения).



3 - Службы спасения:

- Сканирование районов предполагаемых мест падения самолетов;
- Оценка площади и направлений лесных пожаров;
- Оценка масштабов разрушений стихийных бедствий.

4 - Экология:

- Размеры и динамика разливов нефти и нефтеналивных танкеров;
- Направления распространения вредных веществ, выбрасываемых в атмосферу заводами;
- Масштабы и динамика исчезновения/обмеления озер;
- Движение льдов;
- Определение масштабов вырубki лесного массива.

Не подходит:

8 - Сельское хозяйство

10 - Дорожный трафик

9 - Геология