



**Кафедра 611Б «Системный анализ и
проектирование космических систем»**



**Современное состояние и перспективы
развития аэрокосмической техники**

МАЛАЯ КОСМОНАВТИКА

**дтн, снс Ключников В.Ю.
(ЦНИИ машиностроения)**

Определение малой космонавтики

«Малая» космонавтика подразумевает создание и использование для исследования и освоения космического пространства дешевой малоразмерной техники. Сразу необходимо оговориться, что «малая» космическая техника не подменяет собой полноразмерные космические аппараты, ракеты-носители и наземные средства управления (не «вместо», а «вместе»!).

Причины появления и развития малой космонавтики:

1. Чрезвычайно высокая себестоимость космической техники (КА – может стоить более 200 млн. долл.);
2. Длительный производственный цикл ее создания (36-48 мес.).

В результате сдерживается широкое распространение результатов космической деятельности и проведение фундаментальных космических исследований при помощи космических аппаратов.

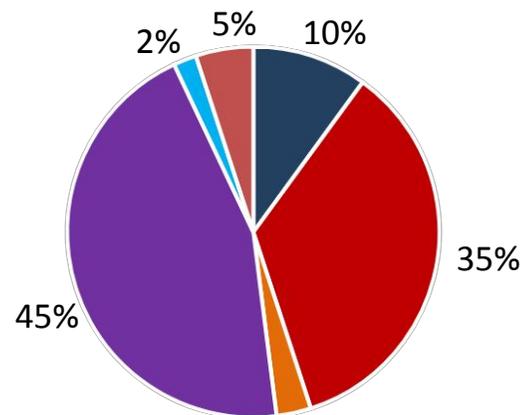
Особенно остро проблема высокой себестоимости космической техники встает в период кризиса, когда расходы на космическую деятельность существенно сокращаются.

Малые космические аппараты

Глобальные изменения в мировой космонавтике



Области применения



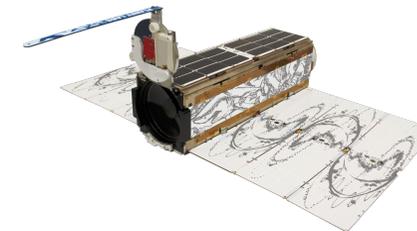
- Научные исследования
- Отработка технологий
- Наблюдение Земли
- Образование
- Военное использование
- Астрономия, связь



Научные исследования
PhoneSat 1.0
Масса: 1 кг
Запущен: апрель 2014



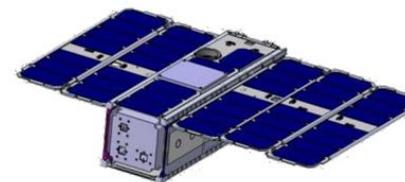
Отработка технологий
SwampSat
Масса: 1,2 кг



Наблюдение земли
Flock-1
Масса: 5 кг
Запущен: январь 2014



Образование
ArduSat
Масса: 1 кг
Запущен: август 2013



Военное использование
SENSE-1
Масса: 5 кг



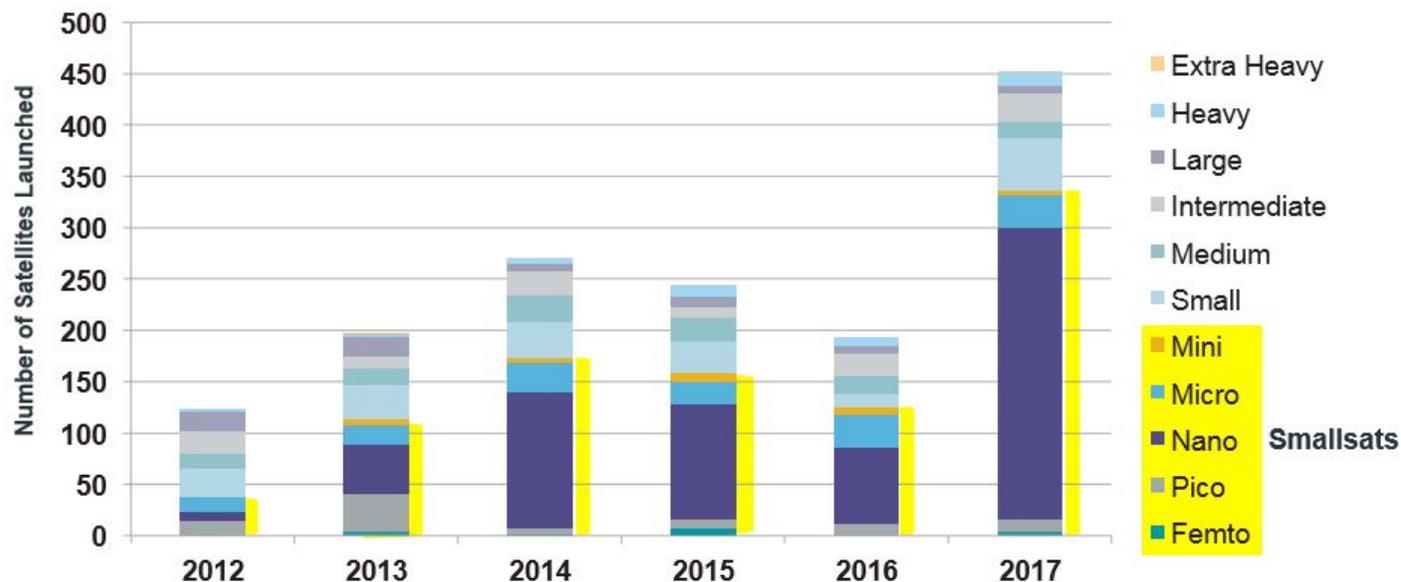
Астрономия, связь
BRITE-PL
Масса: 7 кг
Запущен: ноябрь 2014

Классификация малых космических аппаратов

Использование малых КА существенно снижает сроки разработки и стоимость космических проектов, обеспечивая более широкий доступ к космическим технологиям и космическим сервисам. В ближайшие годы прогнозируется значительный рост

38

Класс малых КА	Масса, кг			Макс. мощность платформы, Вт	Средняя стоимость (\$)	Размеры, м	Время разработки, лет.	Типовая орбита	Срок функци-я, лет
	ГОСТ Р 53802-2010	Arianespace	Federal Aviation Administration						
Мини спутники	1 – 100	100 – 500	201 – 600	1 000	30 – 200 млн.	3 – 10	2 – 5	ГСО, ВО, СО, НО	5 – 10
Микро спутники	1 – 10	10 – 100	11 – 200	150	10 – 150 млн.	1 – 5	1 – 3	НО, ВЭО	2 – 6
Нано спутники	–	1 – 10	1.1 – 10	20	100 тыс. – 10 млн.	0,1 – 0,1			1 – 3
Пико спутники	< 1	0,1 – 1	0.09 – 1	5	50 тыс. – 2 млн.	0,05 – 0,1			< 1
Фемто спутники	–	< 0.1	0.01 – 0.1	1	< 50 тыс.	< 0,05	1	< 1	



Тенденции развития малых КА в 2012-2017 гг:

гг:

- в 2012 году начато мелкосерийного производства малых КА;
- в период с 2012 по 2017 год запущено более 1000 малых КА;
- повышенный интерес к малым КА стали проявлять Правительства и коммерческий сектор;
- на рынке малых КА доминируют кубсаты: более 700 запусков с 2012 по 2017 год.

Малоразмерные космические аппараты - малые автоматические космические аппараты массой менее 100 кг («Концепция создания и применения малоразмерных космических аппаратов», ФГУП ЦНИИмаш, 2017 г.)

Идеология малых КА

1. Уменьшение времени разработки КА до 1-2 лет (достигается за счет стандартизации конструкции);
2. Уменьшение затрат на производство КА (достигается благодаря широкому использованию, так называемых COTS компонентов, т.е. обычной электроники вместо специализированных космических электронных компонентов);
3. Уменьшение затрат на запуск КА (может быть достигнуто путем создания специализированных сверхлегких РН);
4. Доступ негосударственных разработчиков малых КА (включая студентов, аспирантов и частных предпринимателей) к технологиям создания, отработки и испытаний КА и к возможностям выведения их на орбиту;
5. Упрощенные процедуры:
 - создания;
 - наземной экспериментальной отработки;
 - допуска к запуску;
 - экспортного контроля, лицензирования, контроля использования радиочастотного спектра.

Концептуальные подходы к созданию спутников малых форм (из докладов РКС в аналитическом центре Правительства РФ)

Утверждается, что спутники малых форм – это прорывная технология, меняющая мировую космическую экономику, в том числе:

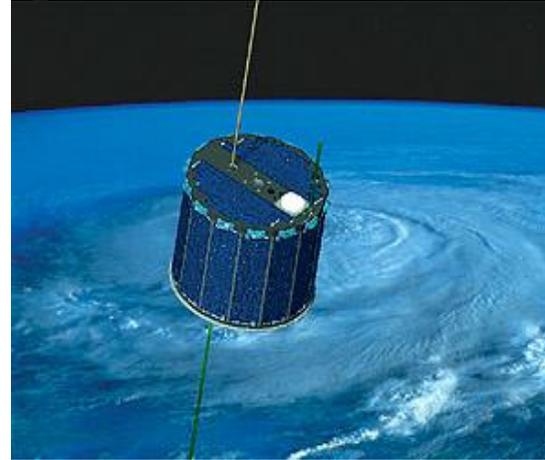
- **меняется концепция самого аппарата – теперь это «прибор в космосе» или «спутник на кристалле / печатной плате»;**
- **появились коммерчески доступные технологии, снижающие стоимость и время создания орбитальных систем за счет регулярного обновления составляющих и постоянного наращивания функциональных возможностей;**
- **«созвездия» и «рои» малых спутников создают реальные преимущества орбитальных систем на базе «виртуальных» спутников и их сетей (локальные компьютерные сети в космосе) с возможностями большого аппарата;**
- **спутники малых форм стали основным направлением развития космических систем наблюдения в триаде: Земля – атмосфера - ионосфера.**

Первые наноспутники



«SNAP-1» (SSTL, Великобритания), выведен на орбиту в 2000 г.

Оснащен ЖРД. На борту МКА были установлены 4 оптико-электронные камеры с разрешением 1 км и ПЗС-матрицей 512x512 элементов, система стабилизации по 3-м осям, приемник сигналов GPS. КА предназначался для отработки технологий поиска и сближения с другими КА и фотографирования поверхности Земли. Масса МКА - 6,5 кг. Стоимость - 1,5 млн долл.



«ASUSat» (Гос. Университет шт. Аризона, США, при финансовой поддержке DARPA), запущен в 2000 г.

На борту МКА были установлены 2 цифровые камеры в диапазонах спектра 600–800 нм и 420–550 нм. ПЗС-матрица каждой камеры имела 496x365 пикселей и обеспечивала разрешение ~ 0,65 км/пиксел с высоты 700 км. Точность ориентации по 3-м осям составляла ±10%. Масса МКА - 5,9 кг.

Технологический наноспутник «ТНС-0» № 1

- первый российский наноспутник

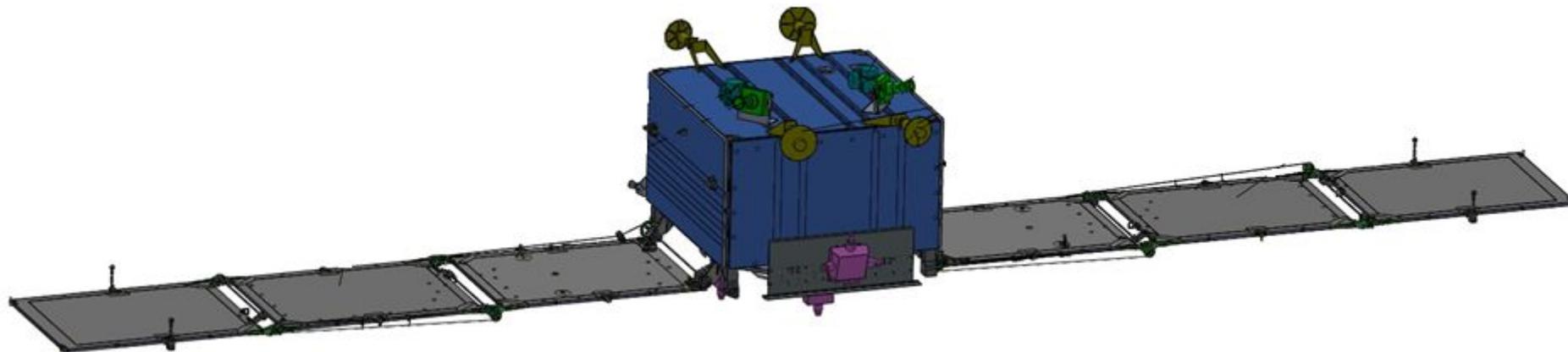
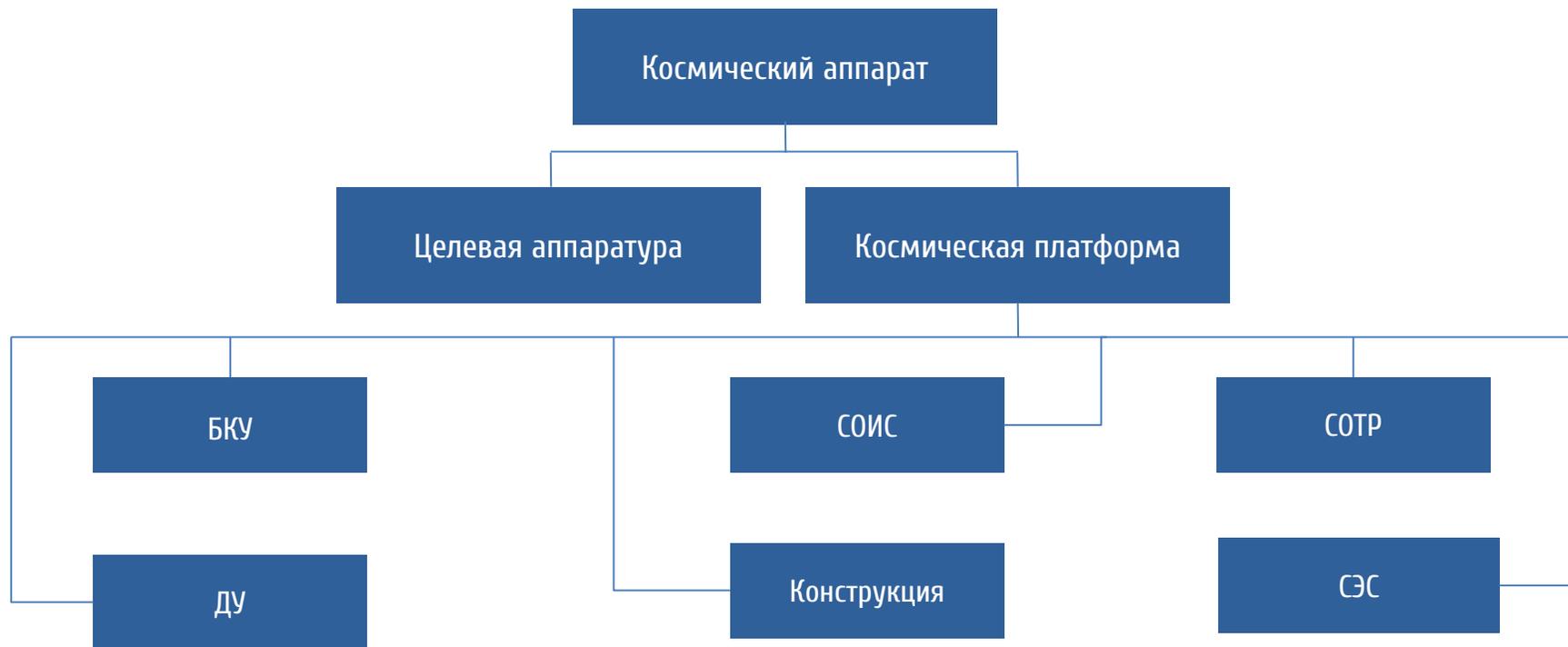
(ОАО "Российские космические системы", выведен на орбиту с борта МКС в 2005 г.)



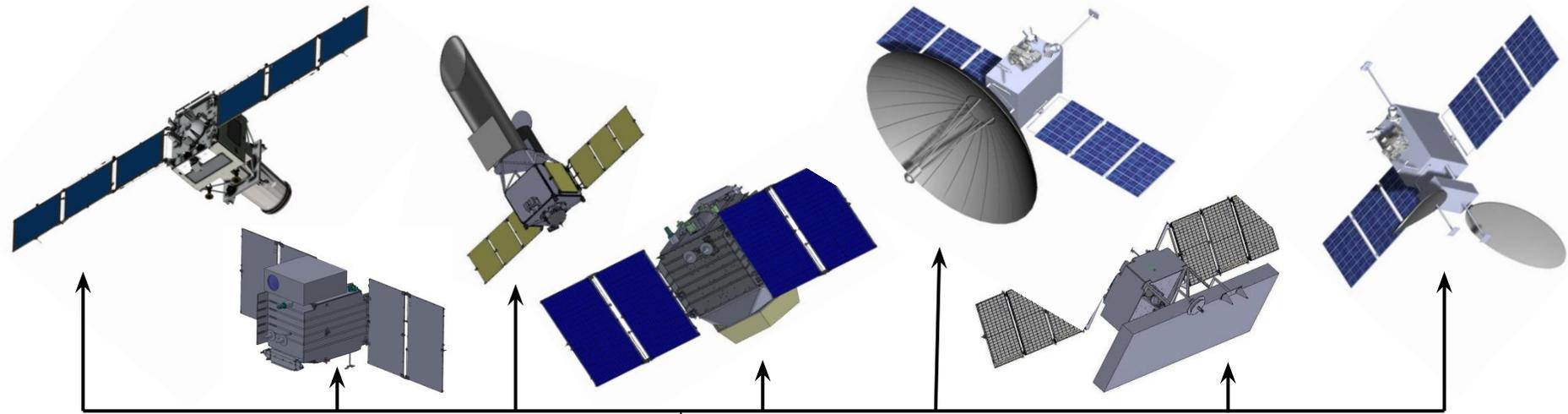
Система	Масса, г	Система	Масса, г
Модем ГЛОБАЛСТАР (стандарт Qualcomm)	280	Магнитная система ориентации	150
Антенно-фидерное устройство (АФУ) ГЛОБАЛСТАР	250	Магнитные демпферы	100
Аварийный радиобуй (АРБ) КОСПАС-САРСАТ	600	Литиевая батарея	2000
АФУ АРБ	70	Кабельная сеть	100
Системный блок	200	Установочная панель	500
Датчик солнца	50	Элементы крепления	150
Датчик горизонта	50	ИТОГО:	4500

Масса спутника составляла 5,0 кг, диаметр – 170 мм, длина – 550 мм. Спутник предназначался для экспериментальной отработки в условиях реального космического полета системы приема и передачи данных, новых технологий однопунктного управления космическими аппаратами, технологий дистанционного зондирования Земли, других элементов, устройств и приборов. Запуск «ТНС-0» №1 был успешно произведен космонавтом Салижаном Шариповым вручную 28 марта 2005 года во время выхода в открытый космос.

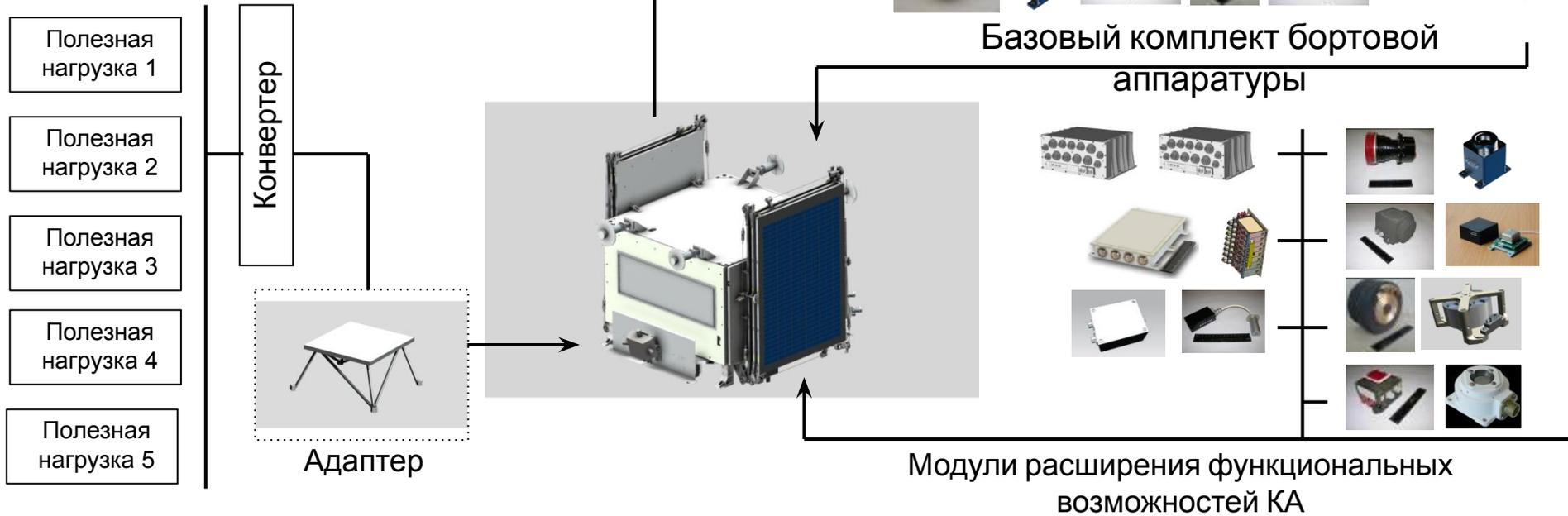
Одной из основных задач первого наноспутника «ТНС-0» №1 стала проверка возможности использования низкоорбитальной спутниковой системы связи «Глобалстар» для управления космическими аппаратами.



Принципы создания КА различного назначения на базе унифицированной платформы

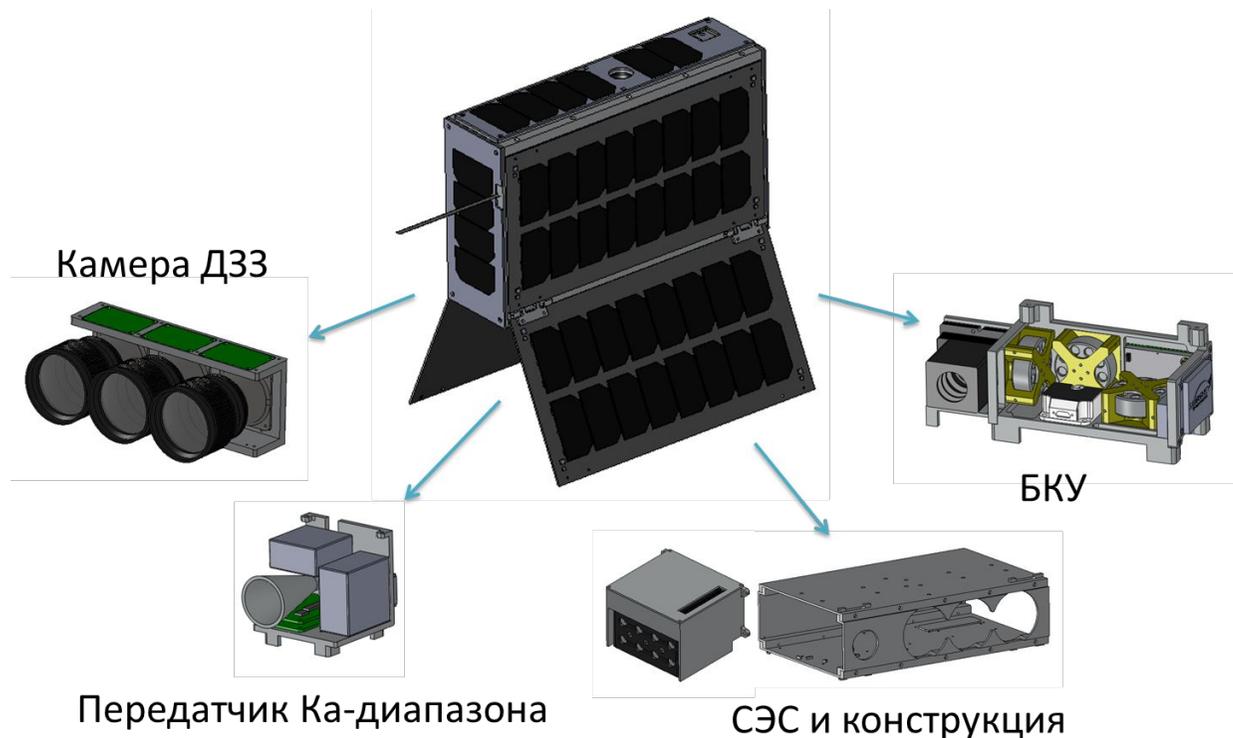


Базовый комплект бортовой аппаратуры



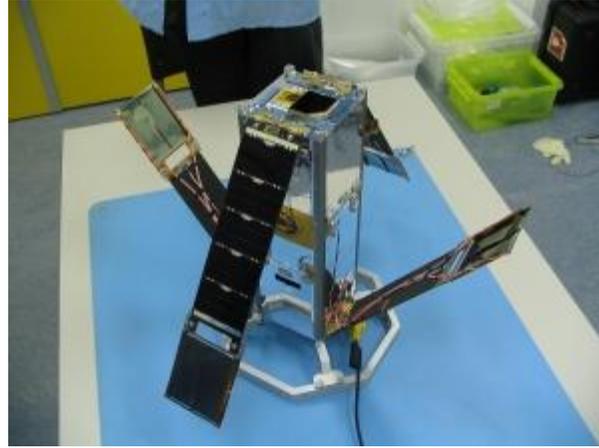
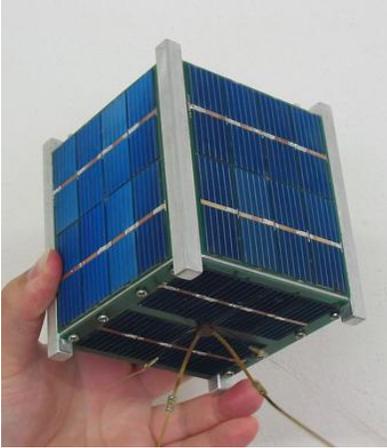
Малый космический аппарат МКА-Н (НПП ООО «Даурия»)

Массовая сводка

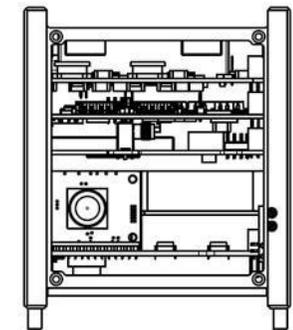
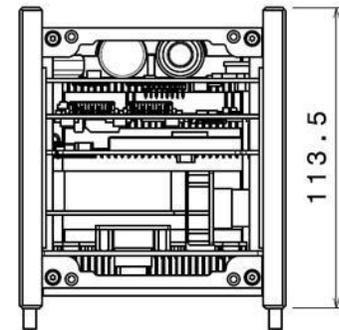
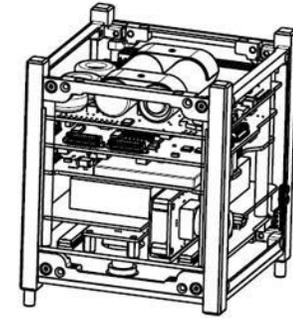
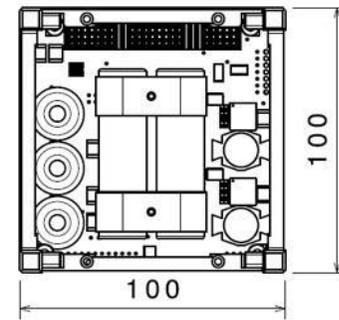


Система	Масса, кг
Камера ДЗЗ	3,7
Передатчик Ка-диапазона	1,0
Конструкция и СЭС	4,7
Бортовой комплекс управления	1,8
Общая масса	11,2
Запас по массе	0,3
Итого	11,5

Параметр	Ед. изм.	Значение
Тип орбиты		Солнечно-синхронная
Средняя высота орбиты	Км	650
Наклонение орбиты	Угловые градусы	98 ⁰ ±2 ⁰
Эксцентриситет орбиты		0,01



«CubeSat» — формат nano-КА для исследования космического пространства, телекоммуникаций, дистанционного зондирования и т.д., имеющих объем 1 литр и массу не более 1,33 кг. Спецификации «CubeSat» были разработаны в 1999 году Калифорнийским политехническим и Стэнфордским университетами с тем, чтобы упростить создание малых спутников широкому кругу частных производителей и учебных заведений. Однако некоторые крупные компании, например, «Boeing», также создавали nano-КА на базе стандарта «CubeSat». Стандарт допускает объединение 2 или 3 стандартных кубов в составе одного спутника (обозначаются **2U** и **3U** и имеют размер 10x10x20 или 10x10x30 см) и выше (в настоящее время до **12-16 U**).

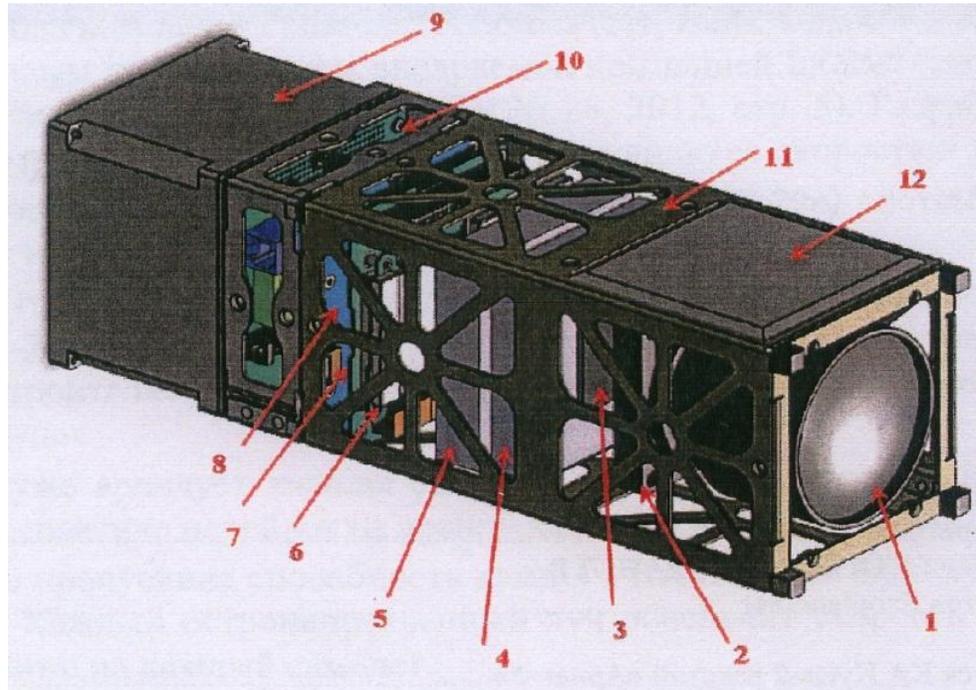


Shown w/o solar panels
All dim. in mm



КА «CubeSat» запускаются при помощи специальной платформы *Poly-PicoSatellite Orbital Deployer (P-POD)*

Нано-КА «ExoplanetSat» (Массачусетский технологический институт, США)



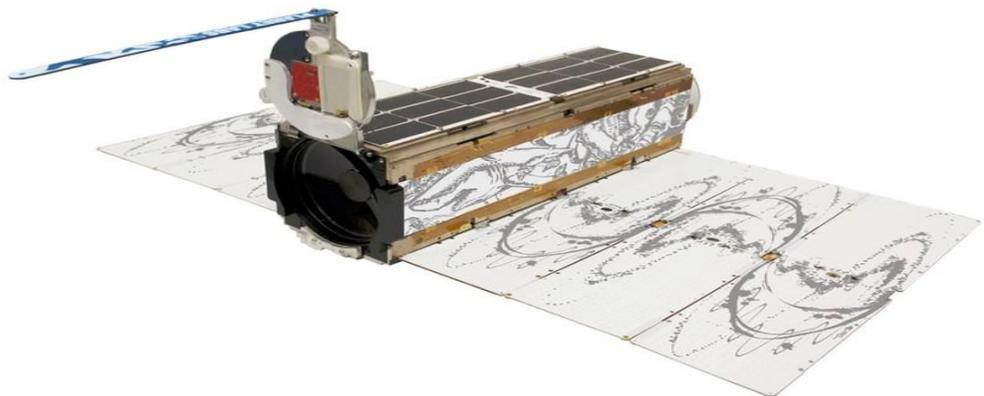
- 1 - линзы фирмы Цейса (171,4,85 мм);
- 2 - крепление линз;
- 3 - фокальная плоскость;
- 4 - платформа пьезоэлемента;
- 5 - платформа электронного привода;
- 6 - модем модели МНХ-п2420;
- 7 - подсистема электропитания;
- 8 - микроконтроллер +FPGA;
- 9 - гироскопы и катушки вращения модели МАI-200;
- 10 - магнитометр (на рисунке не видно);
- 11 - конструкция (2-х-элементная скелетная схема);
- 12 - накладная антенна.

Наноспутник по технологии «CubeSat», предназначенный для поиска землеподобных экзопланет и проведения спектрального анализа их атмосферы.

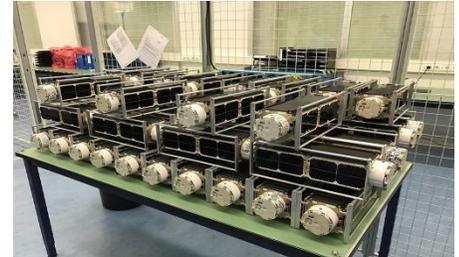
Нано-КА «ExoplanetSat» будет иметь размеры 30x10x10 см. Стоимость одного спутника составит около \$ 5 млн.

Предполагается, что множество нано-КА «ExoplanetSat» будут в течение длительного времени исследовать какую-либо перспективную с точки зрения потенциальной обитаемости, звездную систему.

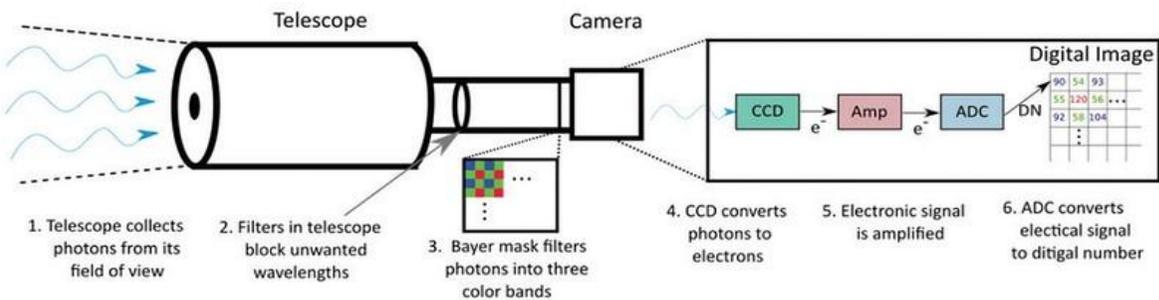
Космический стартап Planet – МКА Flock-1, 2, 3



Разрешение:	порядка 3...5 м.
Ширина полосы захвата	20 км
Разработчик:	<u>Planet</u> , Сан-Франциско, Калифорния, США.
Орбиты:	а) орбита МКС, б) солнечно-синхронная, высотой порядка 600 км
Численность орбитальной группировки	150 наноспутников
Способ выведение на орбиту	попутный запуск практически на любых доступных ракетах-носителях
Масса	5...6 кг
Габариты (при старте)	32 x 10 x 10 см (кубсат 3U)
Срок активного существования	3 года (оценка)



Photons to Digital Numbers



Съёмочная аппаратура предназначена для получения изображений в четырех спектральных каналах с разрешением 3,5 м (с высоты 400 км): Red (610-700 нм), Green (500-590 нм), Blue (420-530 нм) и NIR (770-900 нм, для последнего поколения наноспутников).

Съемка производится постоянно при полете над сушей с частотой 1 раз в секунду. Оптическая система занимает 11/12 объема наноспутника, на все остальные системы (включая двигатели-маховики и аккумуляторы) остается объем в 1/4 литра.

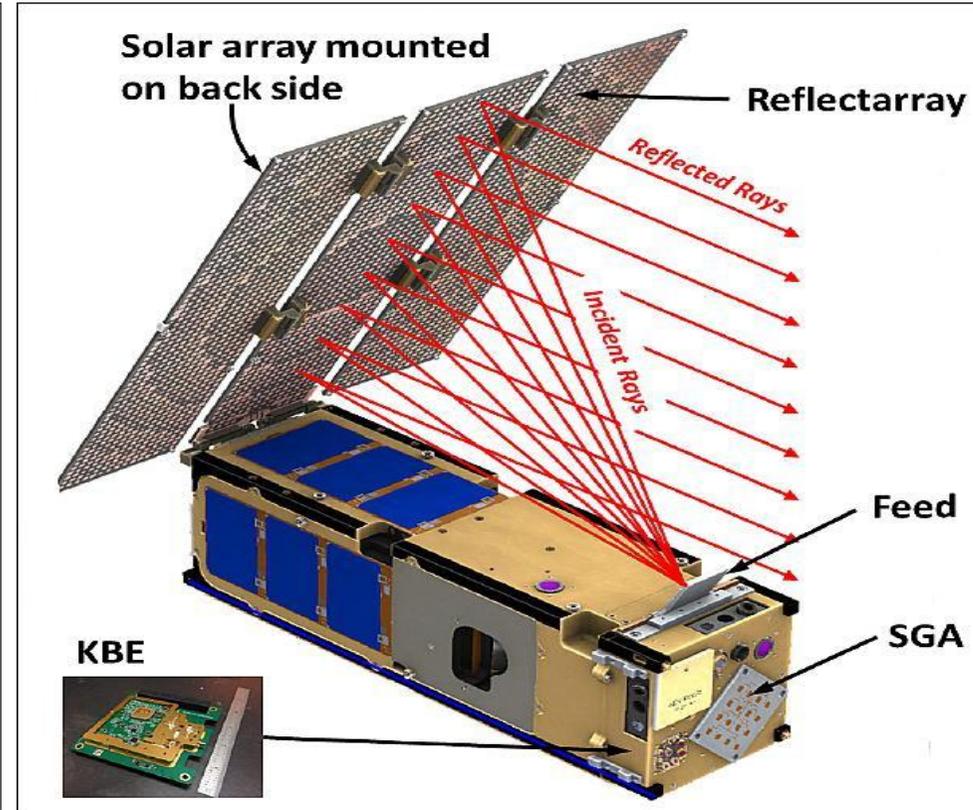
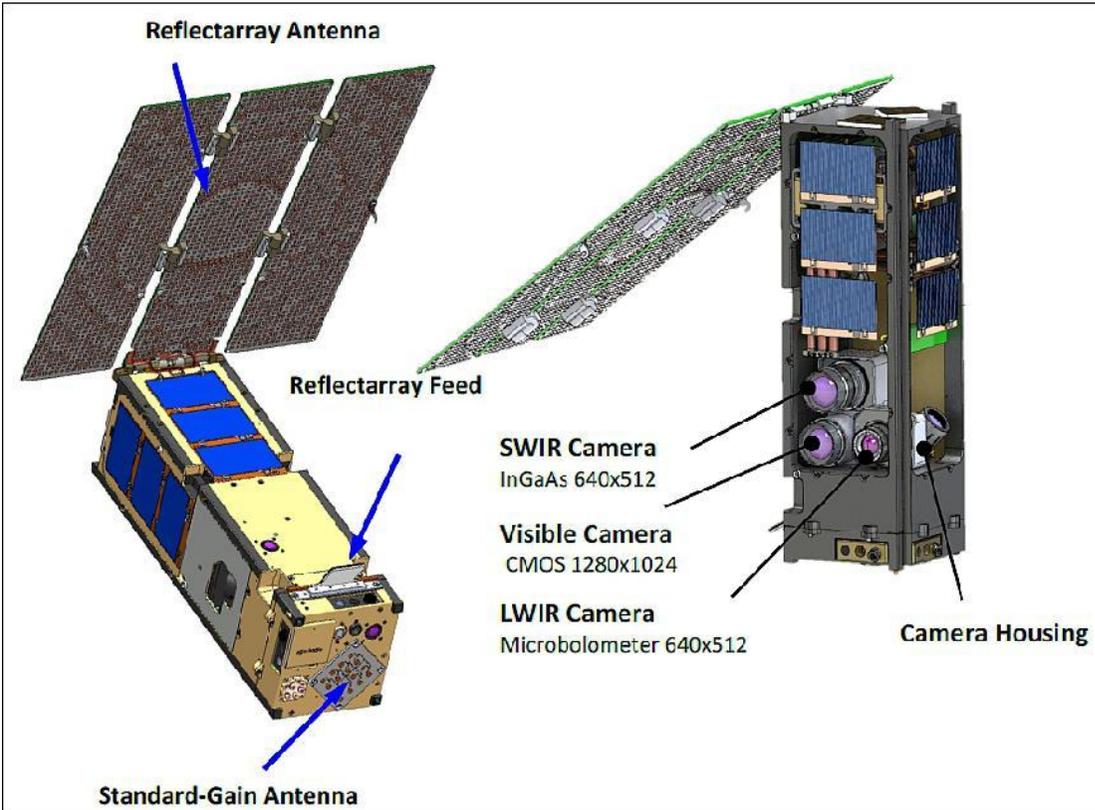
Радиолиния передачи целевой информации работает в X-диапазоне (8025-8400 МГц, линия «космос-Земля», 2 канала по 66,8 МГц) со скоростью от 12,5 до 120 Мбит/с. Высокочастотная мощность передатчика составляет 2 Вт. Микрополосковая антенна установлена на обратной стороне откидывающейся крышки телескопа. Возможно использование манипуляций: QPSK, 8-PSK, 16-APSK, 32-APSK. Виды помехоустойчивого кодирования: от 1/4 до 9/10.

Управление наноспутником производится одноплатным компьютером с процессором семейства x86 и твердотельным запоминающим устройством на 0,5 Тб. Компьютер работает под управлением ОС Ubuntu server. Также имеется сторожевой таймер, обеспечивающий перезагрузку компьютера при ошибках и зависаниях. Исполнительными органами системы ориентации и стабилизации служат четыре двигателя-маховика, расположенные по схеме «пирамида» и три электромагнита. На втором опытном наноспутнике Dove-2 отрабатывалось управление ориентацией с помощью электромагнитов под управлением специального контроллера. Орбитальное положение наноспутника поддерживается при помощи изменения его ориентации, и как следствие - миделева сече

Наземный комплекс управления совмещен со специальным комплексом: на 12 площадках развернуты 36 антенн, что позволяет уже сейчас принимать 1 Терабайт данных в сутки (или 1 млн. км.² земной поверхности)



Увеличение скорости передачи данных с МКА: технологический спутник ISARA (Integrated Solar Array and Reflectarray Antenna)



ISARA – технологический МКА NASA / JPL (Jet Propulsion Laboratory), представляющий собой наноспутник 3U-CubeSat. Цель запуска - демонстрация отражательной антенны Ка-диапазона (26 ГГц), которая позволяет увеличить скорость передачи данных с 9,6 кбит/с до 100 Мбит/с. На противоположной стороне печатной отражательной антенны установлены фотопреобразователи солнечной батареи, что позволяет очень эффективно использовать объем CubeSat. Масса спутника – 5 кг. На спутнике установлена также система мультиспектрального наблюдения для CubeSat – CUMULOS, включающая камеру видимого диапазона 0,4-0,8 мкм, камеры ближнего ИК-диапазона 0,9-1,7 мкм и камеру дальнего ИК-диапазона 8,0-13,5 мкм. ИК-камеры – неохлаждаемые. Спутник запущен с МКС 12 ноября 2017 г. В августе 2018 г. МКА ISARA успешно продемонстрировал коммуникационные возможности CubeSat в Ка-диапазоне.

Лазерная система связи в космосе и из космоса: технологический спутник OCSD (Optical Communications and Sensor Demonstration)



Внешний вид спутников OCSD A, B, C (AeroCube 7A, 7B, 7C / IOCPs A, B, C)

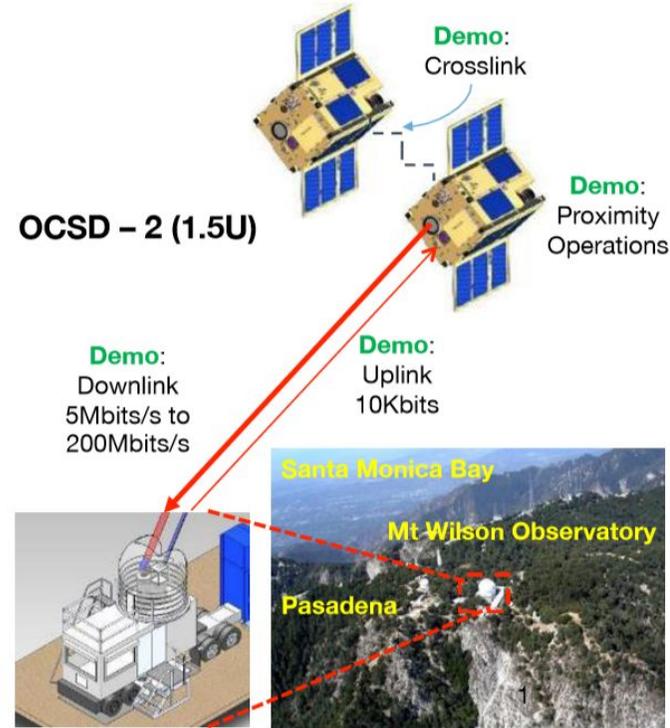


Схема эксперимента по лазерной передаче данных из космоса на Землю.

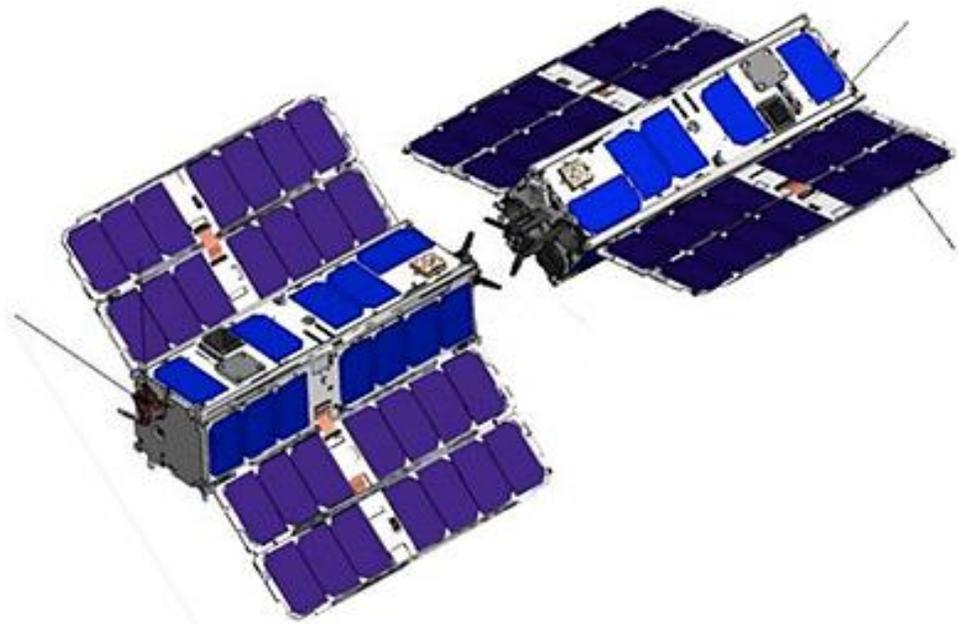
Самым успешным случаем применения лазерной связи можно считать исследовательский зонд LADEE, занимавшийся изучением приповерхностной среды на Луне с сентября 2013 по апрель 2014 года. Установленная на аппарате лазерная система связи установила рекорд по скорости передачи данных в космосе – 622 мбит/с. Стабильная связь без потери данных сохранялась при скорости до 20 мбит/с.

Оптический передатчик на OCSD, в отличие от предшественников, был жестко закреплен на космическом аппарате. Для передачи данных специалисты направляли его на приемное устройство на Земле, поворачивая весь спутник. Таким образом, кроме прочего, была подтверждена возможность точного управления ориентацией кубсатов. Скорость передачи данных составила 200 мбит/с.

Спутники OCSD запускались 08.10.2015 и 11.12.2017 соответственно с космодрома Вандерберг с помощью ракеты-носителя Atlas-5 в рамках проекта GRACE и с космодрома на о.

Назначение	Тестирование новых технологий
Заказчик	NASA
Разработчик	The Aerospace Corporation (Эль-Сегундо, США)
Платформа	CubeSat (1,5U)
Орбита	НОО
Размеры	10x10x15 см
Система электроснабжения	Солнечные батареи, аккумуляторы
Масса	1.5 кг (по другим данным 3 кг)
Срок активного существования	2 года

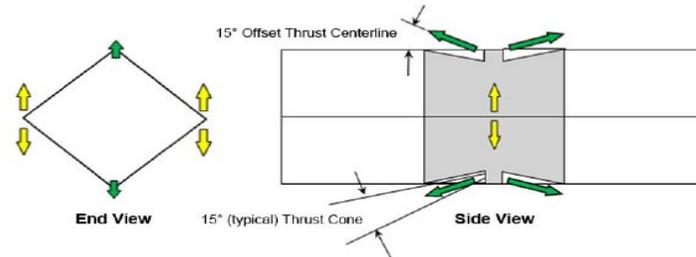
Демонстрация сближения и стыковки двух 3U CubeSats: CPOD (CubeSat Proximity Operations Demonstration)



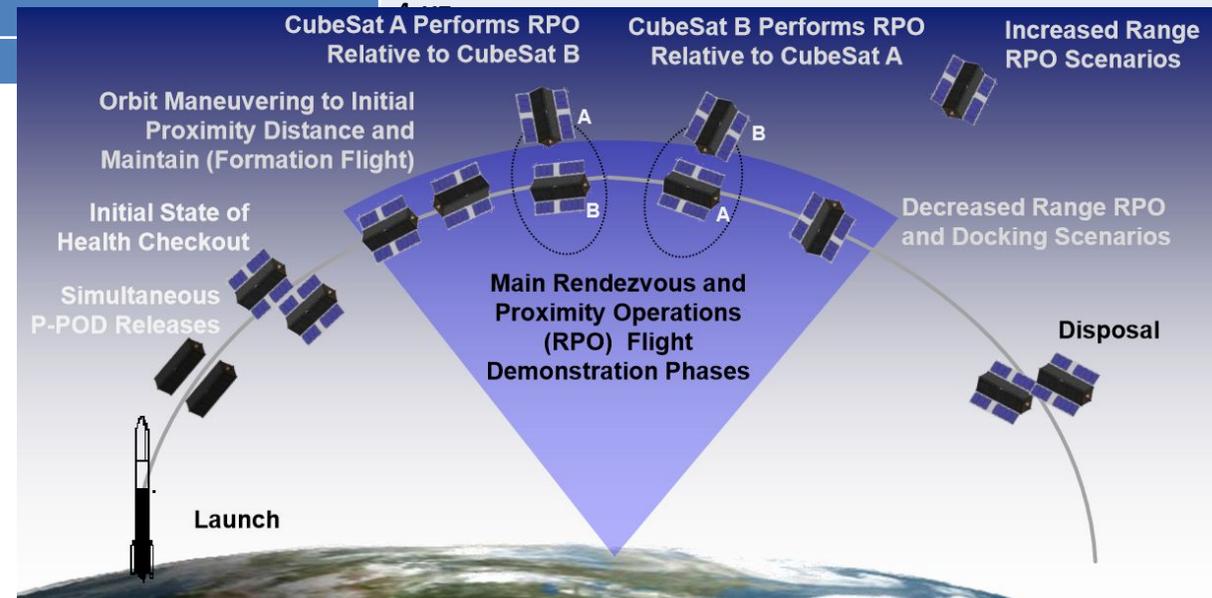
Страна	США
Тип КА	Технологический
Оператор	Tyvak Nano-Satellite Systems, Inc.
Изготовитель	Tyvak Nano-Satellite Systems, Inc.
Конфигурация	CubeSat (3U)
Двигательная установка	8 × быстро переключаемых ракетных двигателей на холодном газе мощностью 25 мН
Электроснабжение	Солнечная батарея, аккумулятор
Время активного существования	
Масса	
Орбита	

Номинальные рабочие дистанции сближения: от 50 м до 2 км

ДД: от 0,5 м до 25 км

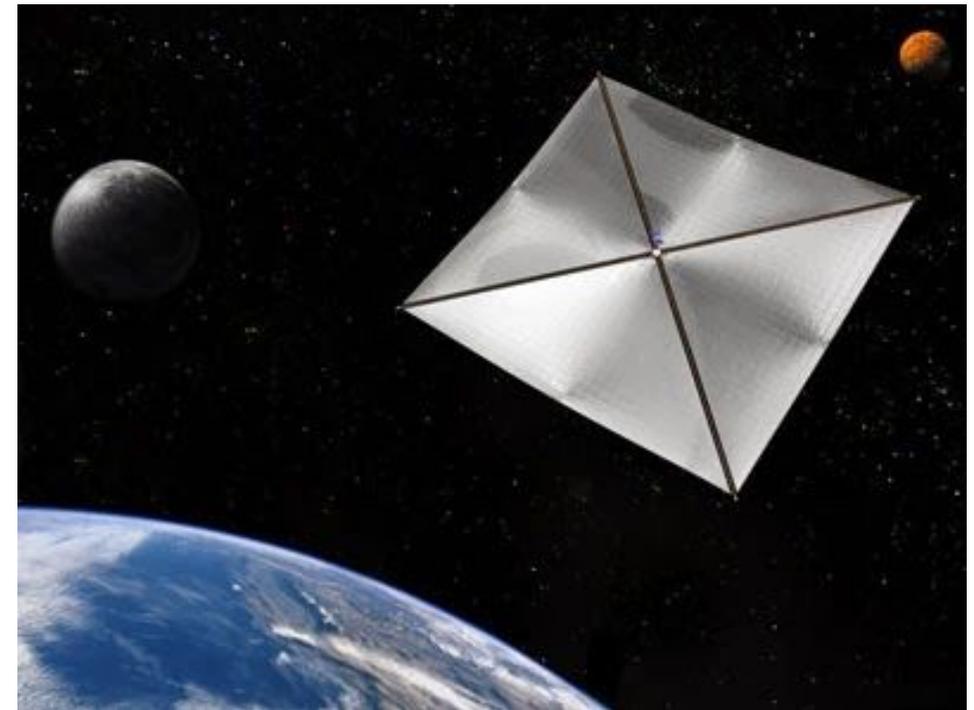
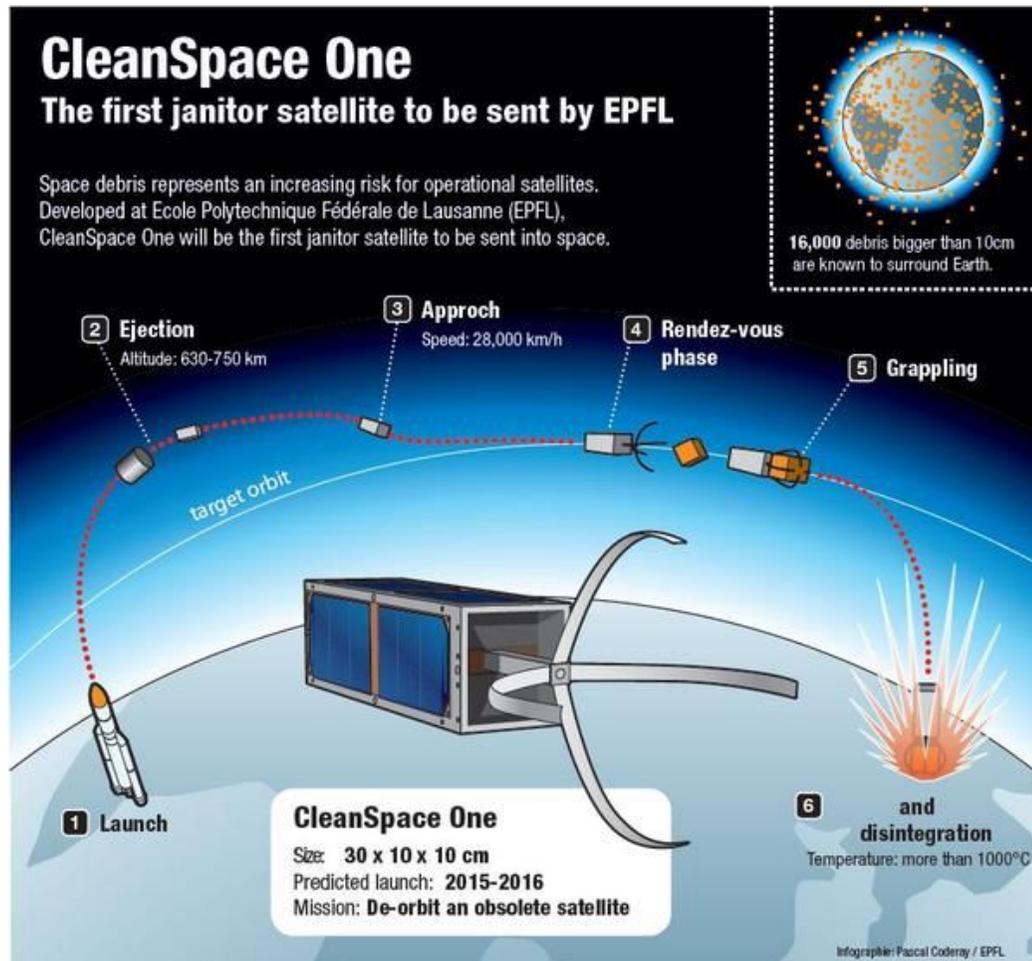


Блок микроракетных двигателей VACCO (всего 8 – по 2 в четырех углах модуля). Топливо - R134a. Мощность до 25 мН



Запуск двух предварительно состыкованных на Земле спутников CPOD A и CPOD B намечен на 2019 год

Методы и средства увода с орбиты МКА, прекративших активное существование



а) Солнечный парус «безопасности» для МКА, прекративших активное существование (ЕКА)

б) Проект "CleanSpace One" (Швейцарский Космический Центр).

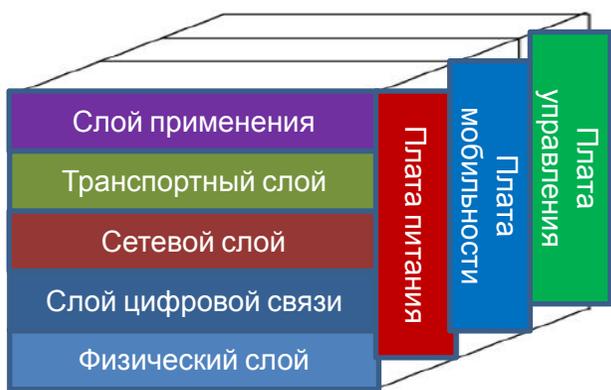
Концепция сенсорных сетей «Умная пыль»

Умная пыль (smartdust) — термин, используемый для описания самоорганизующихся сетей микро- и наноразмерных устройств, обменивающихся беспроводными сигналами и работающими как единая система. Введен профессором Калифорнийского университета в Беркли Кристофером Пистером (Kristofer Pister) в 2001 году.

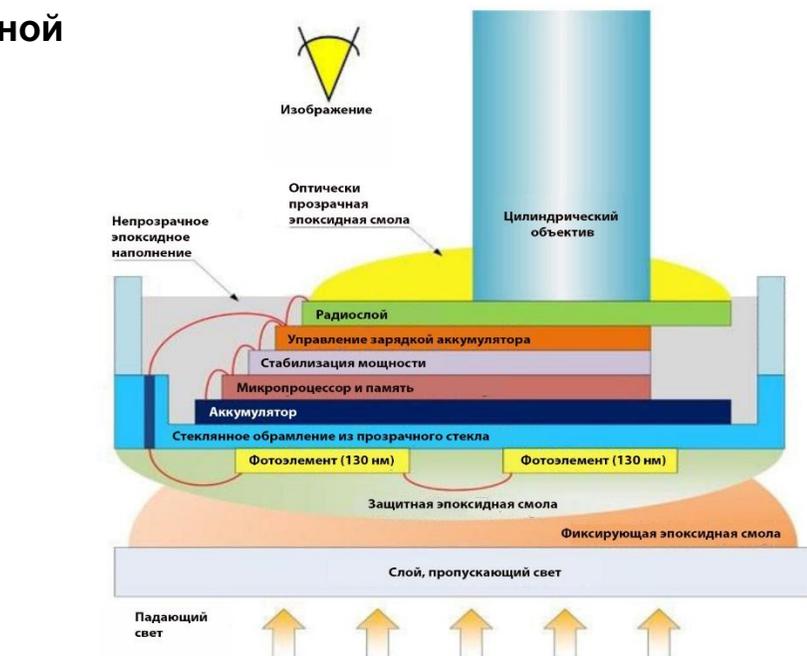
Базовые элементы «умной пыли» — моты (англ. mote — пылинка) — в итоге будут размером с частицу песка или пыли. Каждый мот должен будет обладать собственными сенсорами, вычислительным узлом, подсистемами коммуникации и энергоснабжения. Группируясь вместе, моты автоматически будут создавать гибкие



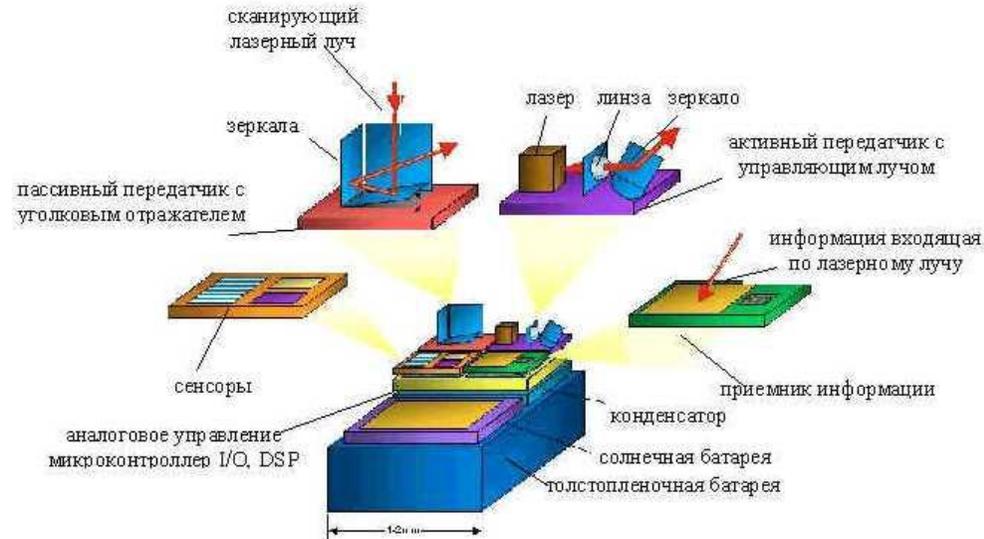
Базовые топологии сетей «умной пыли»



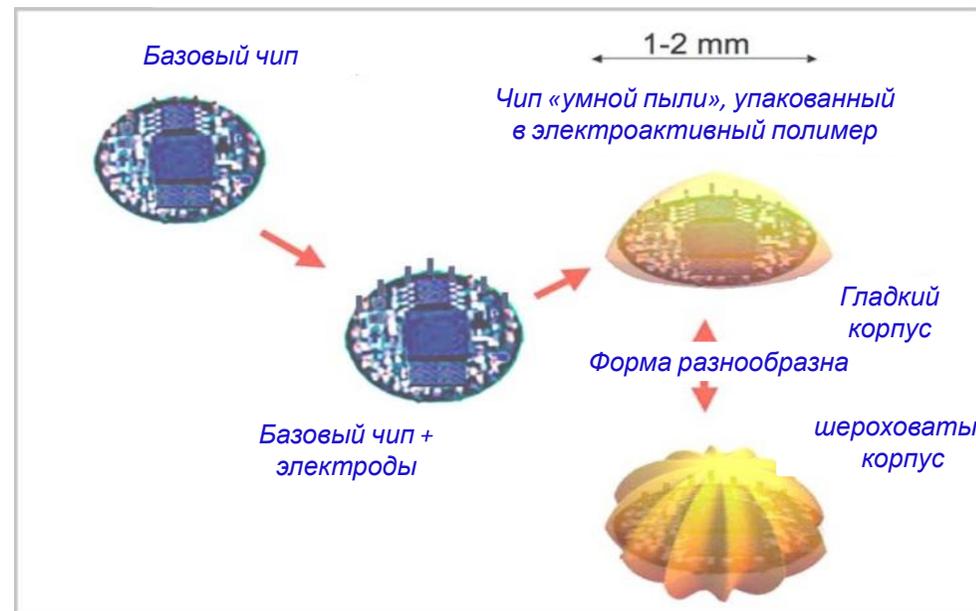
Архитектура сенсорной сети



Компьютер Michigan Micro Mote (Мичиганский университет, США) объемом 1 мм³



Концепция структуры мота

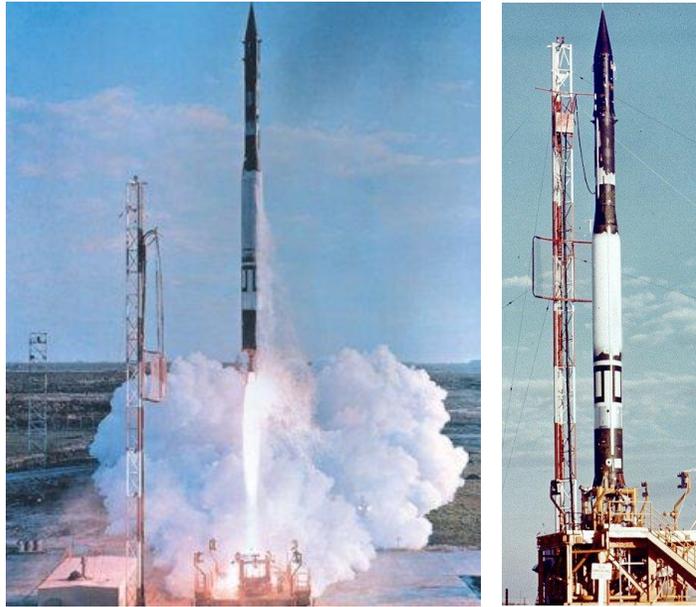


Для изготовления мотов уже предложены несколько технологических методов их сборки

Сверхлегкие ракеты-носители

Сверхлегкие ракеты-носители - история

Авангард (Vanguard), США



Разработчик - Glenn L. Martin Company
Количество ступеней – 3 (1 ст. - керосин + жидкий O ₂ , 2 ст. - азотная кислота + НДМГ, 3 ст. - СТРТ)
Стартовая масса - 10 050 кг
Длина – 23 м
Диаметр – 1,14 м
Год первого пуска – 1957
Количество пусков – 11 (успешных - 3)
Космодром (место) запуска – Канаверал (LC-18)
Масса полезного груза, выводимого на НОО- 22,5 кг

Лямбда-4S, Япония



Разработчик - Nissan
Количество ступеней – 5 (все - СТРТ)
Стартовая масса - 9400 кг
Длина – 16,5 м
Диаметр – 0,74 м
Год первого пуска – 1966
Количество пусков – 5 (успешных - 1)
Космодром (место) запуска – Утиноура
Масса полезного груза, выводимого на НОО- 26 кг
До запуска SS-520-5 - самая лёгкая из всех космических ракет-носителей, достигших орбиты, в истории

Пегас-XL (Pegasus-XL), США



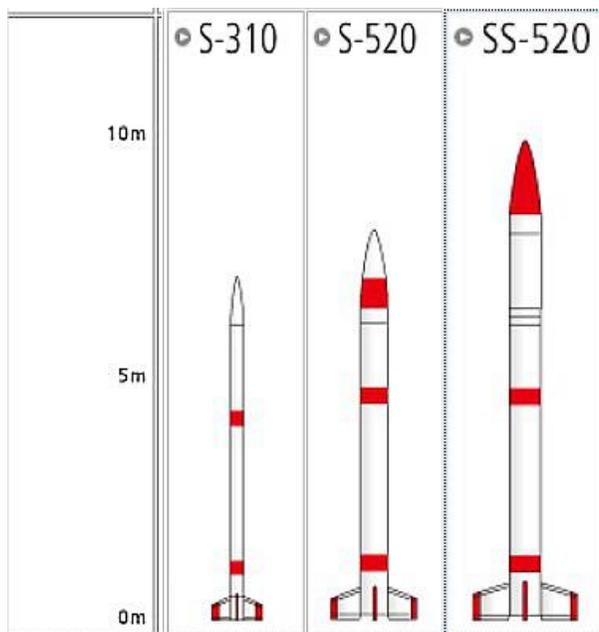
Разработчик - Orbital Sciences Corporation
Количество ступеней – 3 (все - СТРТ, В варианте Pegasus HAPS дополнена блоком маневрирования, работающим на гидразине)
Стартовая масса - 23 130 кг
Длина – 17,6 м
Диаметр – 1,27 м
Год первого пуска – 1990
Количество пусков – 46 (неудачных – 3, частично неудачных - 2)
Способ запуска – с самолётов-носителей B-52 (принадлежит NASA) или L-1011 Трайстар (принадлежит корпорации Orbital)
Масса полезного груза, выводимого на НОО- 443 кг
Стоимость запуска (на 2014 год) – 40 млн долл.
Стоимость выведения на НОО 1 кг полезного груза – до 90 тыс долл.

Малая масса сверхлегких РН на заре космонавтики была обусловлена техническими и технологическими ограничениями и примитивностью запускаемых космических аппаратов. Однако развитие направления малоразмерных спутников не сопровождалось снижением грузоподъемности и размеров РН. В настоящее время снижение массы и габаритов РН – целенаправленная техническая политика, направленная, в конечном счете, на повышение доступности (и снижение стоимости) космических услуг для массового потребителя.

В процессе пуска РН самолёт-носитель взлетает с военно-воздушной базы Ванденберг (Калифорния) достигает высоты 12000 метров (4% от НОО), и придаёт РН начальную дозвуковую скорость (около 3% от космической скорости), после чего РН отделяется и выводит спутник на орбиту.

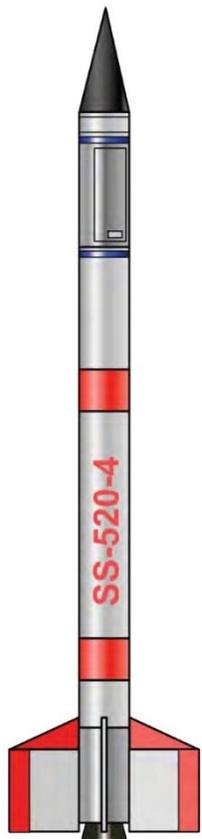
Использование для запуска МКА модернизированных геофизических ракет

SS-520-4

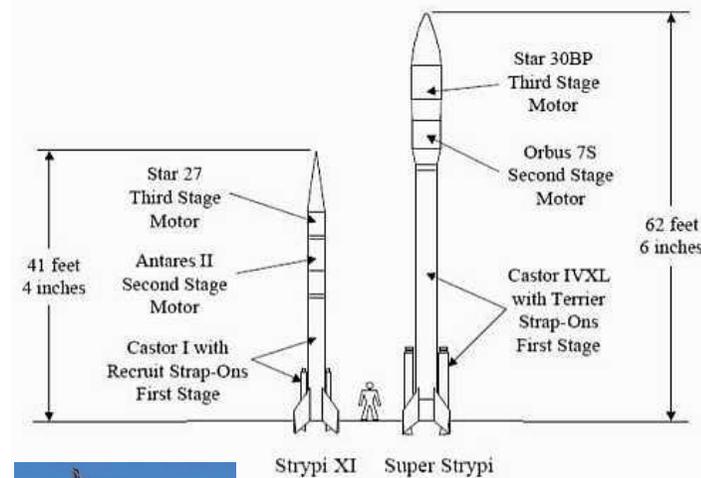


	S-310	S-520	SS-520
Общая длина	7,1 м	8 м	9,65 м
Диаметр	0,31 м	0,52 м	0,52 м
Общая масса	0,7 т	2,1 т	2,6 т
Высота подъема	150 км	300 км	800 км
Масса полезной нагрузки	50 кг	95/150 кг	140 кг

Оператор пусковых услуг - Canon/JAXA (Япония)
Производитель - Canon/JAXA
Количество ступеней – 3 (все - РДТТ)
Стартовая масса - 2 600 кг
Длина – 9,5 м
Диаметр – 0,5 м
Год первого пуска – 2017
Количество пусков - 2
Космодром (место) запуска – Утиноура
Масса полезного груза, выводимого на НОО- 4 кг
Стоимость пуска – не разглашается

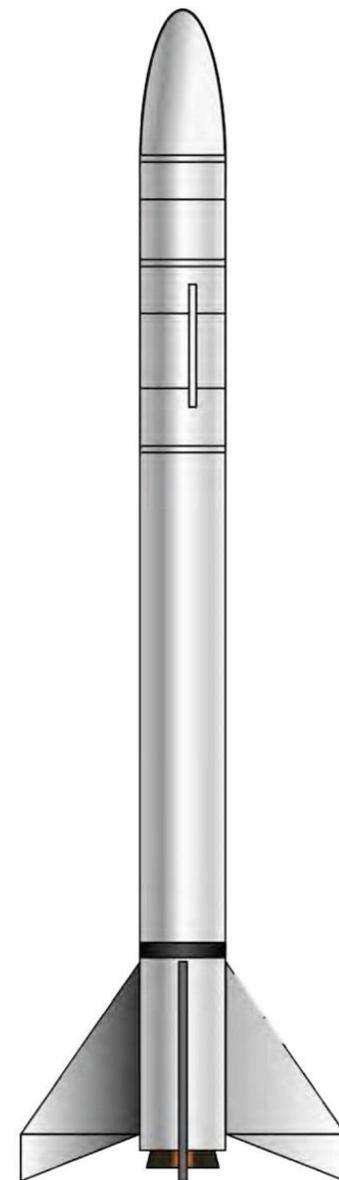


Super Strypi



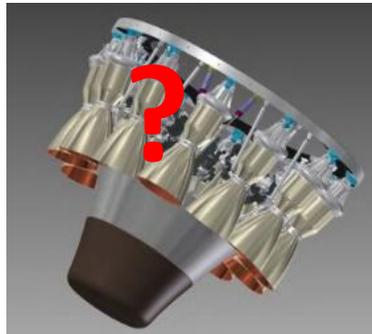
Оператор пусковых услуг - ORS Office (Национальная лаборатория Sandia, США)

Производитель - Aerojet Rocketdyne
Количество ступеней – 3 (все - РДТТ)
Стартовая масса - 28 200 кг
Длина – 18,9 м
Диаметр – 1,1 м
Год первого пуска – 2015
Количество пусков – 1, проект заморожен
Космодром (место) запуска – Тихоокеанский ракетный полигон (Pacific Missile Range Facility, США)
Масса полезного груза, выводимого на НОО- 320 кг
Стоимость пуска – 12-15 млн. долл.



Сверхлегкие ракеты-носители – новые технологии

Firefly Alpha



Новые технологии:

- клиновоздушный ракетный двигатель (Aerospike, КВРД) ?;
- использование в конструкции углерод-углеродного композита;
- сверхкомпактный горизонтальный турбонасосный агрегат.

Оператор пусковых услуг - Firefly Aerospace

Производитель - Firefly Aerospace

Стартовая масса - 54 000

Количество ступеней – 2 (все керосин + ж. O₂)

Длина – 29 м

Диаметр – 1,8 м

Год первого пуска – 2019

Количество пусков – 0

Космодром (место) запуска – Авиабазы Ванденберг (SLC-2W)

Масса полезного груза, выводимого на НОО - 1000 кг

Стоимость пуска – 15 млн. долл.

Electron



Новые технологии:

- топливные баки из углеродных композитов, совместимых с жидким кислородом;
- электрический турбонасосный агрегат;
- 3D-печать всех основных компонентов кислородно-керосиновой двигательной установки.

Оператор пусковых услуг - Rocket Lab (США)

Производитель - Rocket Lab

Стартовая масса - 10 500 кг

Количество ступеней - 2 (все керосин + ж. O₂)

Длина – 16 м

Диаметр – 1,2 м

Год первого пуска – 2018

Количество пусков – 2 + 3 на 2018 г.

Космодром (место) запуска – Rocket Lab Launch Complex 1 (пол-в Махия, Сев. О-в Н.Зеландии)

Масса полезного груза, выводимого на НОО- 150 кг

Стоимость пуска – 4,9-6,6 млн. долл.

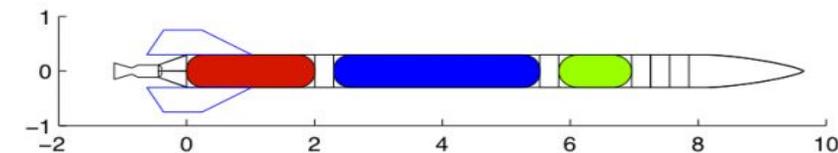
долл.

Arion- 1 / 2



Новые технологии:

- спасение и повторное использование (до 10 раз) ракетных блоков



Оператор пусковых услуг - PLD Space (Испания)

Производитель - PLD Space (Испания)

Стартовая масса - 7 000 кг

Количество ступеней - 3 (все керосин + ж. O₂)

Длина – 19,2 м

Диаметр – 1,2 м

Год первого пуска – 2020

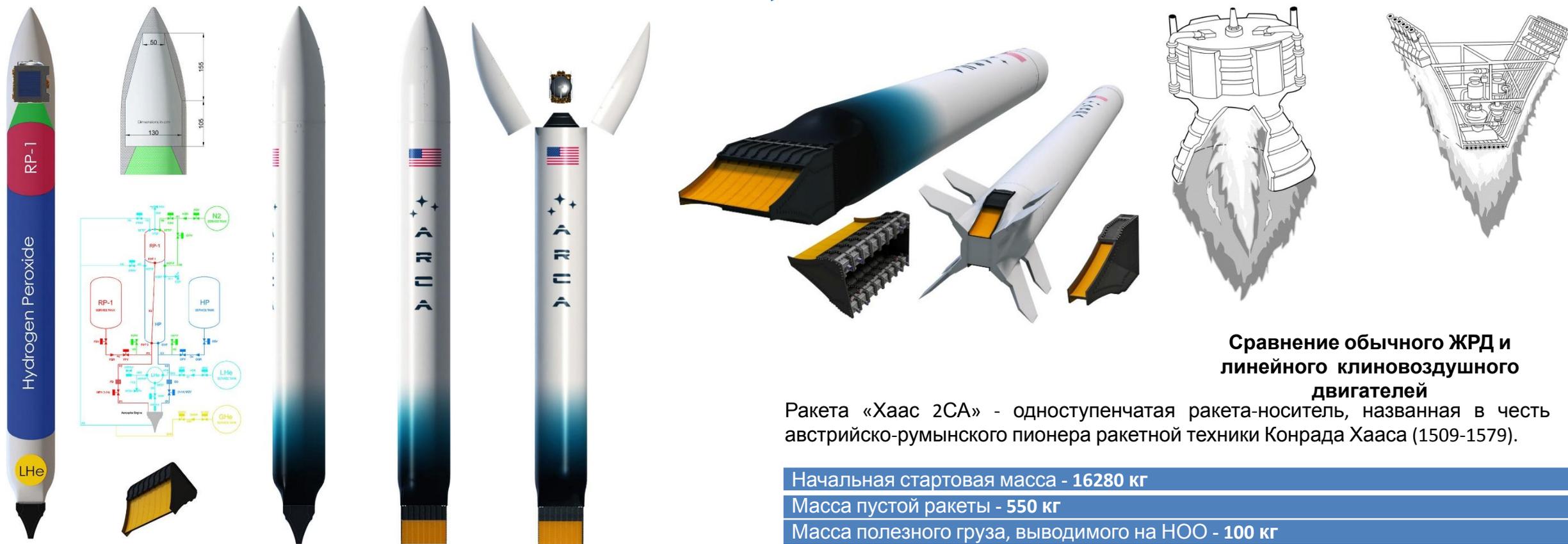
Количество пусков – 0 (на 2018 г. было проведено 30 прожигов ЖРД 1-й ступени)

Космодром (место) запуска – испытательный центр El Arenosillo (Канарские острова, Испания)

Масса полезного груза, выводимого на НОО- 150 кг

Стоимость пуска – 4,8-5,5 млн. долл.

Сверхлегкая ракета-носитель Haas 2CA (компания ARCA - Asociația Română pentru Cosmonautică și Aeronautică, Румыния/США)



Сравнение обычного ЖРД и линейного клиновоздушного двигателей

Ракета «Хаас 2CA» - одноступенчатая ракета-носитель, названная в честь австрийско-румынского пионера ракетной техники Конрада Хааса (1509-1579).

Начальная стартовая масса - 16280 кг

Масса пустой ракеты - 550 кг

Масса полезного груза, выводимого на НОО - 100 кг

Время подготовки к пуску – 24 часа

Стоимость пуска – 1 млн. долл.

Стоимость выведения на орбиту 1 кг полезного груза – 10 тыс. долл.

Топливо – 75% перекись водорода + керосин

Космодром запуска – испытательный центр на о-ве Уоллопс

Планируемый год первого пуска - 2019

Двигатель – линейный клиновоздушный ракетный двигатель Aerospike Engine Executor

Тяга двигателя на уровне моря - 22900 кг

Тяга двигателя в вакууме - 33 565 кг



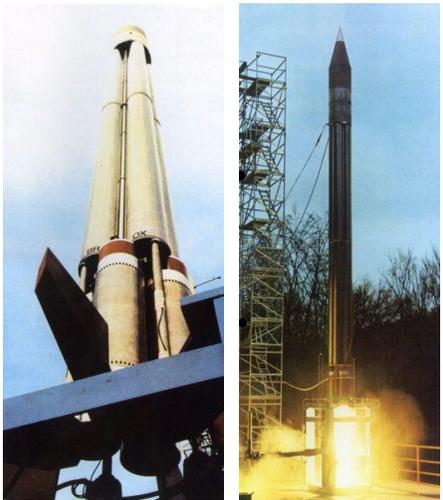
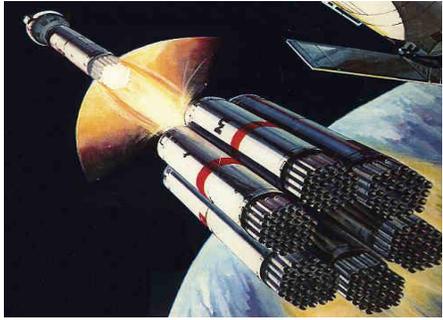
Генеральный директор компании
ARCA Dumitru Popescu



Сверхлегкие ракеты-носители – модульные технологии (Big Dumb Booster)

Проект OTRAG

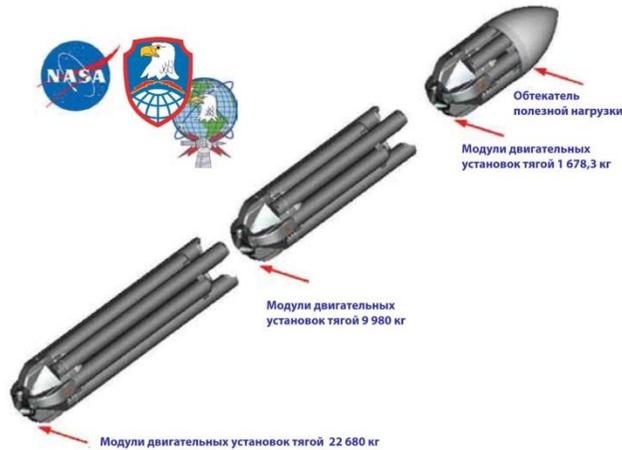
(«Orbital Transport und Raketen» AG)
Германия, 1971-1987 гг



Проект SWORDS

(Soldier-Warfighter Operationally Responsive Deployer for Space, Quantum International)
США, 2014

Задача: запуск спутников массой 25 кг в течение 24 часов за 1 млн. долл. На орбиту высотой 700 км



SWORDS состоит из 3-х ступеней, каждая из которых оснащена четырьмя ЖРД высокого давления Tridyne на компонентах топлива «метан + жидкий кислород».

Проект закрыт в марте 2014 г. из-за слишком высоких затрат.

Проект Neptune

(Interorbital Systems, - IOS), США

Способ запуска из контейнера



Морской старт

Оператор пусковых услуг - Interorbital Systems Corporation (IOS, США)

Производитель - Interorbital Systems Corporation

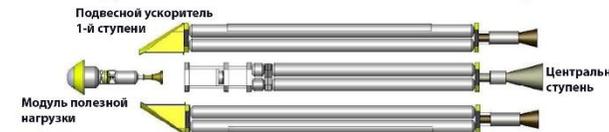
Стартовая масса - 2 449 кг

Длина - 11 м

Количество пусков - в 2018 г. - летные испытания универсального модуля Космодром (место) запуска - Мохаве, Калифорния (испытания)

Масса полезного груза, выводимого на НОО- 6,4 кг (N-1), 30 кг (N-5)

Стоимость пуска - 0,25-0,5 млн. долл.



Тяга ускорителей = 4 x 4536 кг = 18 156 кг на уровне моря

Принципы сокращения затрат:

- использование отработанных технологий (например, изготовление баков из стальных труб);
- использование небольших простых и дешевых двигателей;
- упрощение технологии и внедрение принципов серийного производства;
- использование недорогих топливных компонентов.

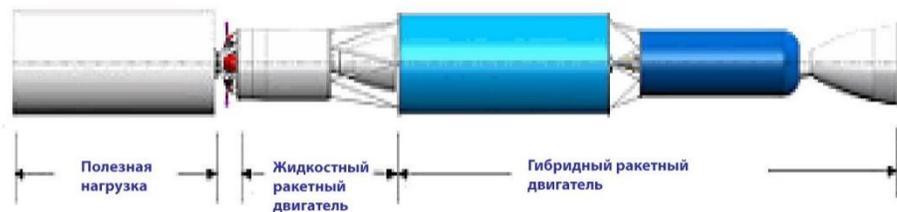
Ракета - связка унифицированных модулей, - по сути, отрезков стальной трубы диаметром 27 мм, заполненный либо топливом (керосин) либо окислителем (азотная кислота) под давлением до 40 бар. Система подачи топлива - вытеснительная. Тяга двигателей ~3 тс. Каждый двигатель имел диаметр 27 мм и длину 1 м (60 см приходилось на камеру сгорания, а остальное на клапаны и

Авиационно-космические системы запуска МКА

Проект Rascal

Проект ALASA

Программа DARPA Rascal (Responsive Access Small Cargo Affordable Launch) начата в марте 2002 г. Задачей было создание системы оперативного запуска военных спутников массой 75-100 кг. стоимость запуска не должна превышать 750 тыс. долл., период послеполетного обслуживания - 24 часа, оперативность запуска - 1 час.. Проект был закрыт в феврале 2005 г.



В 2002 году президент компании Destiny Aerospace Г-н Tony Materna, предложил использовать для системы RASCAL одноместный сверхзвуковой истребитель-перехватчик с дельтовидным крылом Convair F-106 Delta Dart.

В целях упрощения и удешевления конструкции ракеты-носителя 4 ЖРД на монопливе NA-7 (смесь монопропилена, закиси азота и ацетилена) были установлены в передней части ракеты.



Разработчик - Phantom Works Advanced Space Exploration по заказу DARPA

Субподрядчики - Boeing, Lockheed Martin, Northrop Grumman

Стартовая масса - ... кг

Длина ракеты-носителя - 7,3 м

Высота запуска - 12 000-15 000 м

Год начала испытаний (наземных) - 2015 г

Количество пусков - 0

Космодром (место) запуска -

Масса полезного груза, выводимого на НОО- 45 кг

Стоимость пуска - 1 млн. долл.

Причины закрытия программы:

- у конкурентов возникли вопросы о том, почему другие коммерческие варианты, разрабатываемые в настоящее время, не были рассмотрены (проекты Virgin Galactic LauncherOne и XCOR Aerospace Lynx);

- взрывы моноплива NA-7 при

Генеральный подрядчик и системный интегратор (по заказу DARPA) - Space Launch (г.Ирвин, штат Калифорния)

Субподрядчики - Scaled Composites (планер самолета-разгонщика), Pratt and Whitney (двигатели самолета-разгонщика)

Стартовая масса системы (самолет-разгонщик + ракета-носитель) - 36 300 кг

Масса ракеты-носителя - 7,3 т

Длина системы (самолет-разгонщик + ракета-носитель) - 27,1 м

Высота запуска - 58 000 - 60 000 м

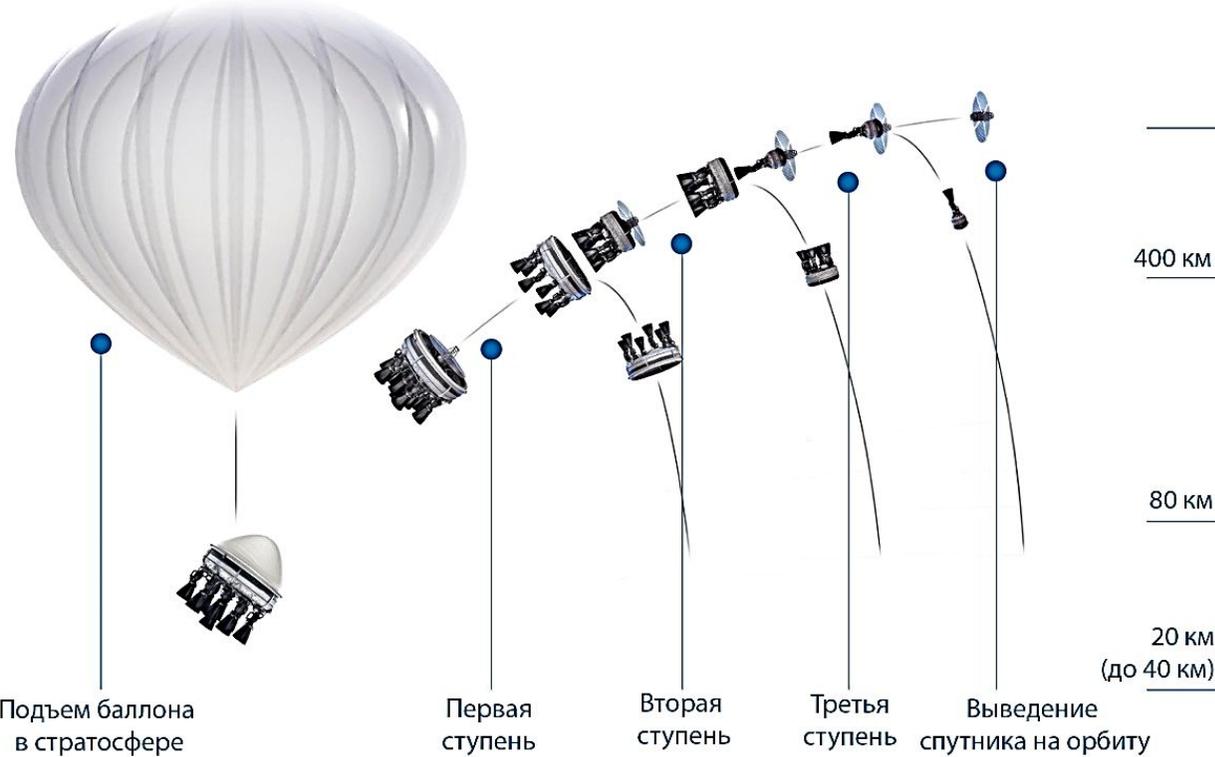
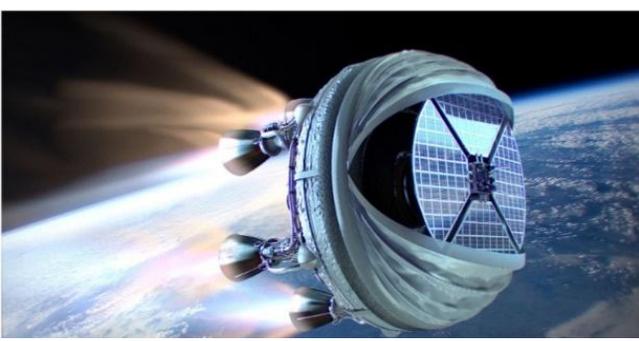
Количество пусков - 0

Космодром (место) запуска - Мохаве, Калифорния

Масса полезного груза, выводимого на НОО высотой 500 км - 75 кг

Стоимость пуска - 0,75 млн. долл.

Технология Bloostar запуска МКА (Zero2Infinity, Испания)



Новые технологии:

- пуск РН с аэростата;
- тороидальная конструкция топливных баков;
- топливные баки из углеродных композитов, совместимых с жидким кислородом;
- вытеснительная система подачи топлива;
- 3D-печать всех основных компонентов кислородно-метановых ЖРД.

Оператор пусковых услуг - Zero2Infinity (Испания)
Производитель - Zero2Infinity
Высота запуска ракетных двигателей – 20 000 м
Стартовая масса - 4 926 кг
Количество ступеней – 3 (все метан + ж. O ₂)
Длина – нет данных
Диаметр – нет данных
Год первого пуска – 2019 (план)
Количество пусков – 0
Космодром (место) запуска – Канарские острова, возможен запуск с морского судна
Масса полезного груза, выводимого на ССО высотой 600 км - 75 кг
Стоимость пуска – 4 млн. долл.

Ракетный космолан Phantom Express (XS-P, XS-1)



Кислородно-водородный ЖРД Aerojet Rocketdyne AR-22, созданный на базе двигателей RS-25 МТКК Space Shuttle

Phantom Express – 2-х ступенчатое многоразовое средство выведения малых КА на НОО

Особенности:

- вертикальный старт, горизонтальная посадка;
- третье поколение теплозащиты;
- сверхкомпактный горизонтальный турбонасосный агрегат.

Оператор пусковых услуг - DARPA (США)

Производитель - The Boeing Company

Количество ступеней - 2

Топливо - ж.Н₂ + ж.О₂

Стартовая масса - нет данных

Длина – 30,5 м

Год первого пуска – 2019 (план)

Периодичность пусков - 1 раз в 10 суток

Количество полетов без полного технического обслуживания – 10-15

Космодром (место) запуска – Космодром на мысе Канаверал (LC-16 или LC-20)

Масса полезного груза, выводимого на НОО – 1361 кг

Стоимость пуска (стоимость межполетной подготовки) – 5 млн. долл.

Конкурс на создание дешевой европейской ракеты-носителя «European Low-Cost Space Launch» («Space-EICPrize-2019») в рамках европейской программы Horizon 2020



Приз: 10 миллионов евро

Ожидаемые результаты: недорогое решение для запуска легких спутников.

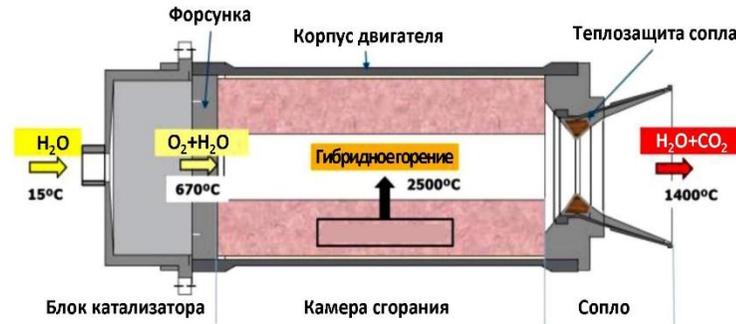
Сроки:

12 июня 2018 года – открытие конкурса

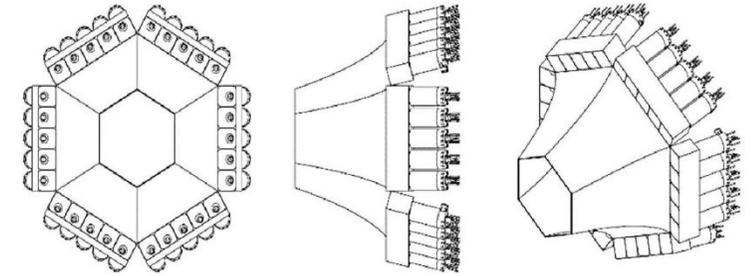
1 июня 2021 года - срок подачи заявок

2021 четвертый квартал – подведение итогов, определение победителя

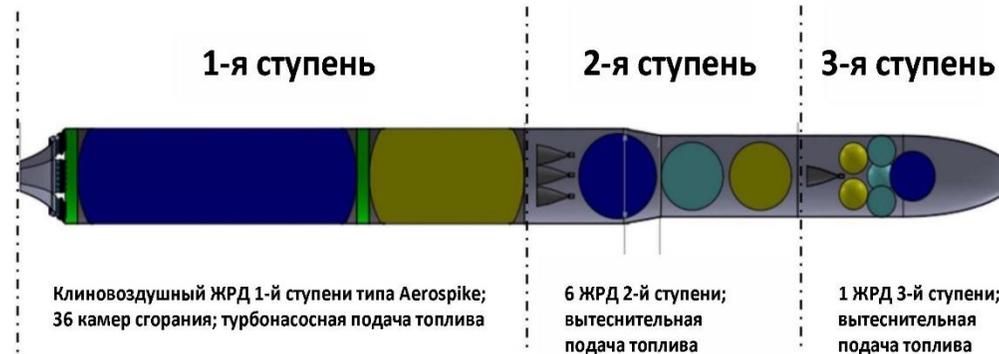
14 европейских компаний и институтов объединили свои усилия в проекте Horizon2020 под названием **Small Innovative Launcher for Europe (SMILE)**. Проект направлен на разработку сверхлегкого носителя для запуска спутников массой около 50 кг с европейского стартового комплекса в северной Норвегии.



Принцип работы гибридного ракетного двигателя NAMMO



Конфигурация клиновоздушного ЖРД с авторегулированием типа Aerospike



Возможный облик PH SMILE (один из 9 рассматриваемых вариантов)

Орбита	
Высота орбиты (км)	600
Орбитальная скорость (км/с)	7.56
Расчетное требуемое приращение характеристической скорости при пуске с Земли (км/с)	9.5
Характеристики РН	
Полная масса 1-й ступени (кг)	17458
Полная масса 2-й ступени (кг)	2981
Полная масса 3-й ступени (кг)	240.5
Масса орбитального модуля (кг)	107
Масса полезного груза (кг)	70
Полная масса пустой ракеты (кг)	2338
Начальная стартовая масса (кг)	20786
Полное приращение характеристической скорости РН (км/с)	10.02
Первая ступень (км/с)	3.73
Вторая ступень (км/с)	4.38
Третья ступень (км/с)	1.91

Однопунктовое управление полетом космических аппаратов

Принципы однопунктового управления МКА (на примере ТН «ТНС-0» № 1)

Карта покрытия системы «Глобалстар»

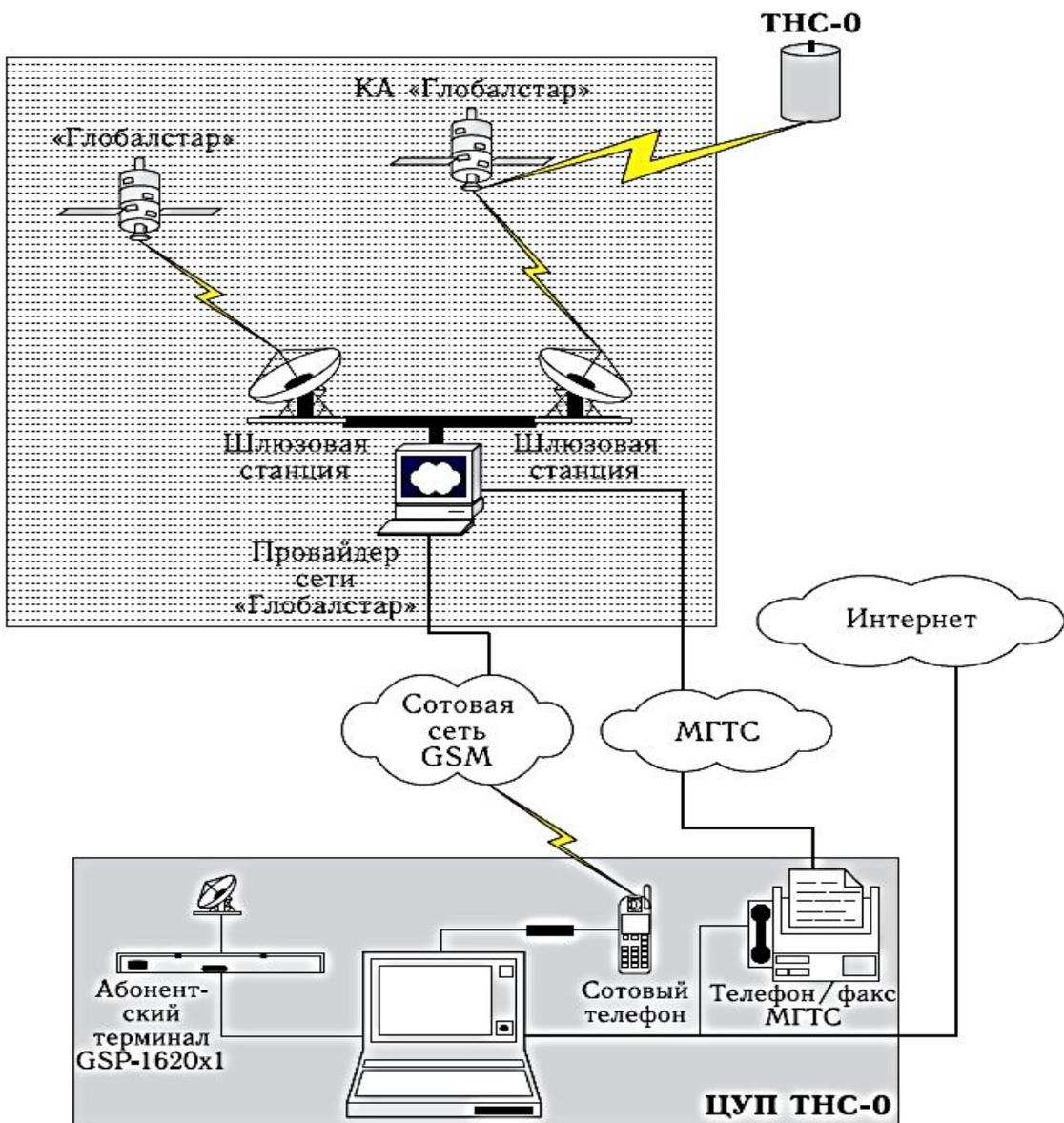


Схема ЦУП «ТНС-0»

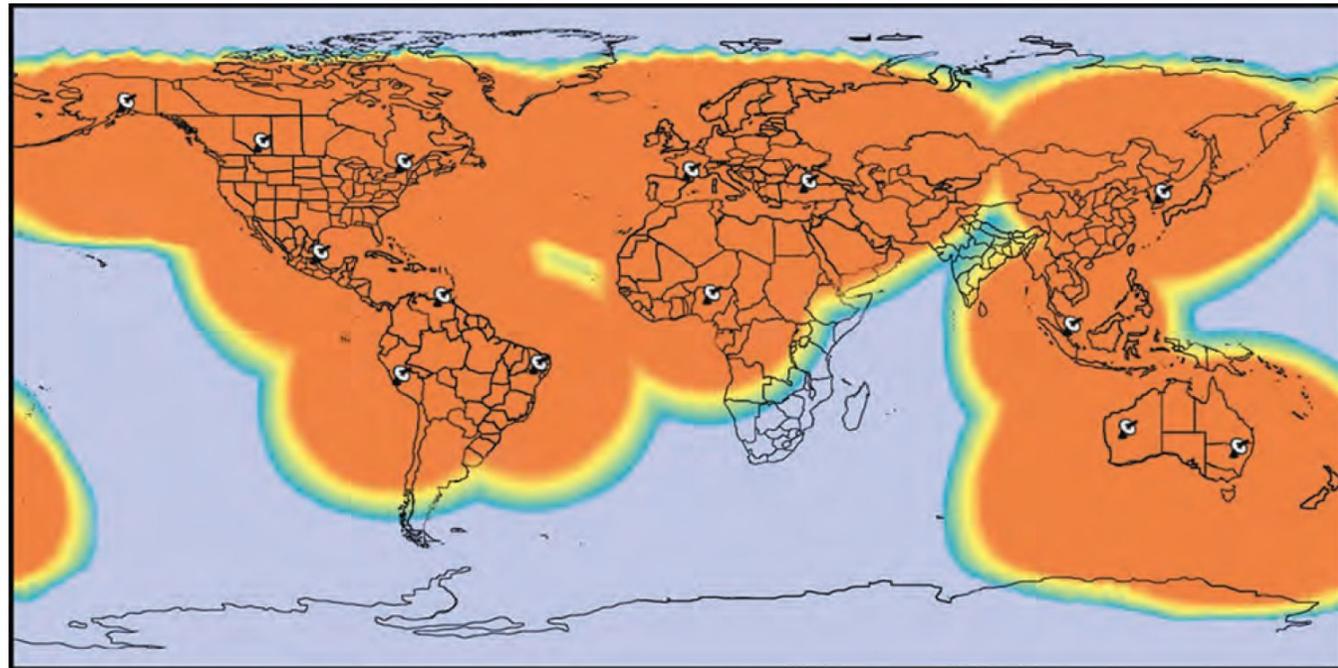
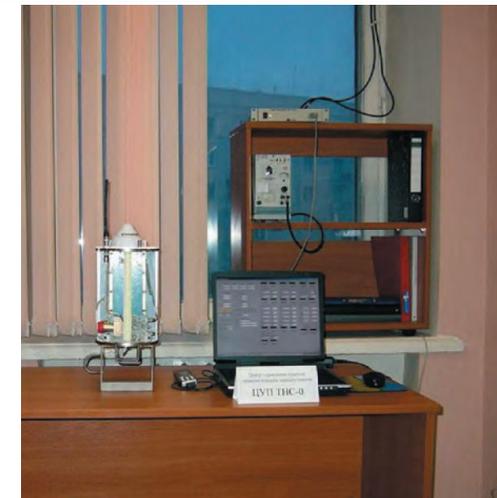


Схема совместной зоны радиовидимости МКА –



ЦУП «ТНС-0» № 1



Спасибо за внимание!

