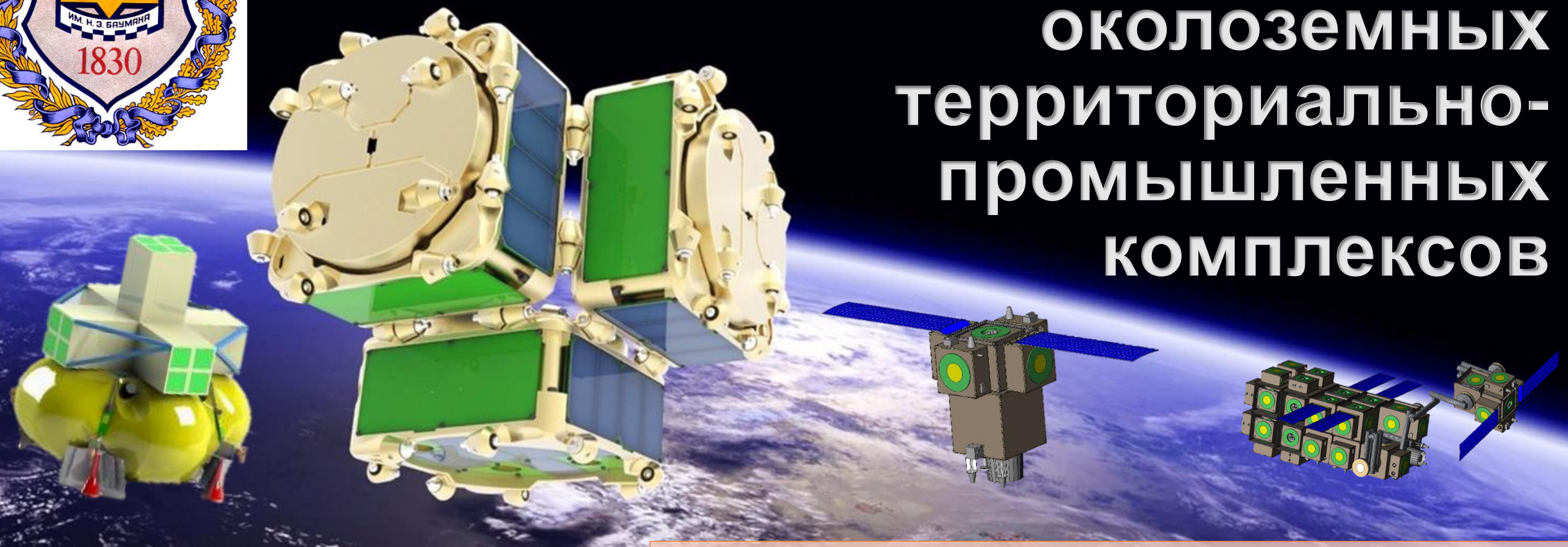
кафедра «Аэрокосмические системы» МГТУ им. Н.Э. Баумана

# Проблемы формирования околоземных территориально-промышленных комплексов



д.т.н., проф. Щеглов Георгий Александрович

SHCHEGLOV_GA@BMSTU.RU

Москва 09.01.2024

# Проблема дефицита орбитального ресурса

**Место на орбите скоро будет дороже спутника, который там находится**

К.Э. Циолковский

**Цели звездоплавания**, (1929):

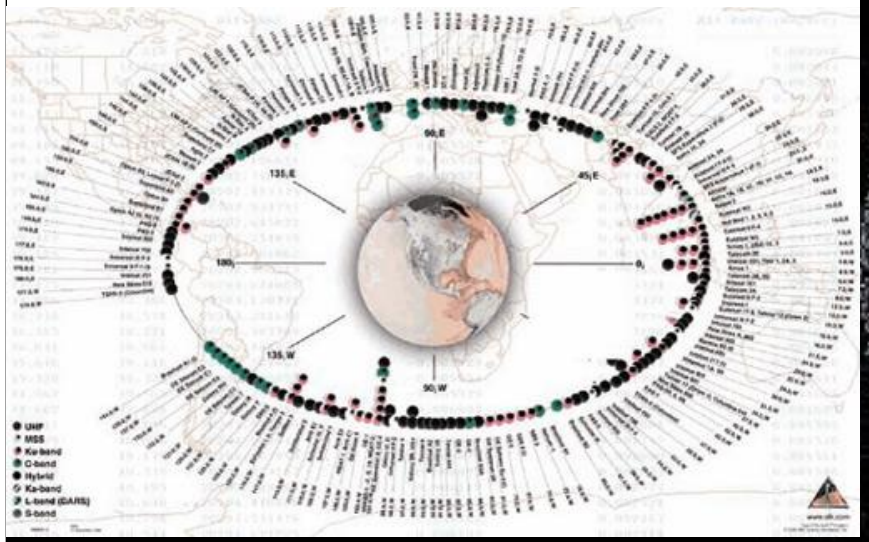
«Многие воображают себе небесные корабли с людьми, путешествующими с планеты на планету, постепенное заселение планет и извлечение отсюда выгод, какие дают, земные обыкновенные колонии.

Дело пойдет далеко не так. О спуске на крупные небесные тела нельзя теперь и мечтать — так он труден. Даже спуск на такие небольшие тела, как наша Луна — дело отдаленного будущего. Вполне доступны только такие маленькие тела и луны, как астероиды (от 10 до 400 верст в поперечнике).

**Главная цель и первые достижения относятся к распространению человека в эфире**, использованию солнечной энергии и повсюду рассеянных масс, как астероиды и еще меньшие тела.»

- **ГСО**

Около **250** ИСЗ



**НОО**

**70 тыс.** КА к **2032** году.
https://tass.ru/kosmos/15499461

Места на НОО скоро будет также мало как и на ГСО

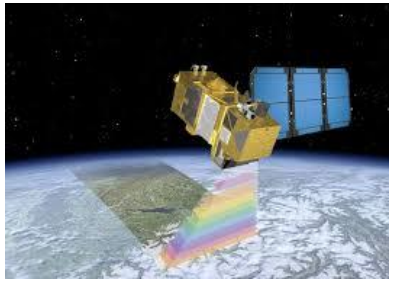
# Промышленное освоение космоса

**Космическая информатика**

- **Передача информации**
- **Производство информации:**
  - Дистанционное зондирование Земли
  - Дистанционное зондирование космоса

**Наибольшая выгода!**

**Не требуется логистика**

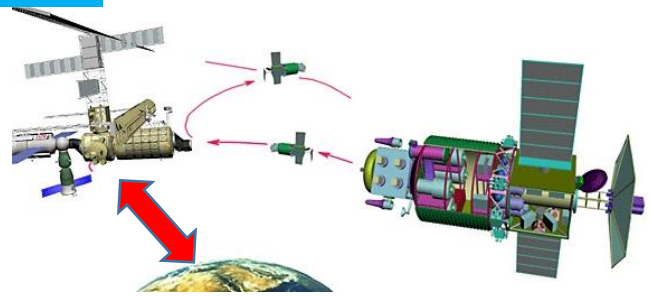


**Щеглов Г.А. Космическое производство информации – новое направление космической деятельности // Актуальные проблемы космонавтики: Труды XLIII академических чтений по космонавтике, Москва 29.01.19 – 1.02.19. М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2019. Т.1. С.241-242**

**Затраты энергии от 100 Вт до 100 кВт**

**Космическая индустриализация**

- **Материальное производство**
  - полупроводниковые материалы,
  - биомедицинские препараты,
  - уникальные наноустройства
- **Добыча ископаемых**
  - астероиды,
  - Луна
  - другие планеты Солнечной системы



**Требуется логистика**

**Затраты энергии от 100 кВт и более**

# Космический территориально-промышленный комплекс

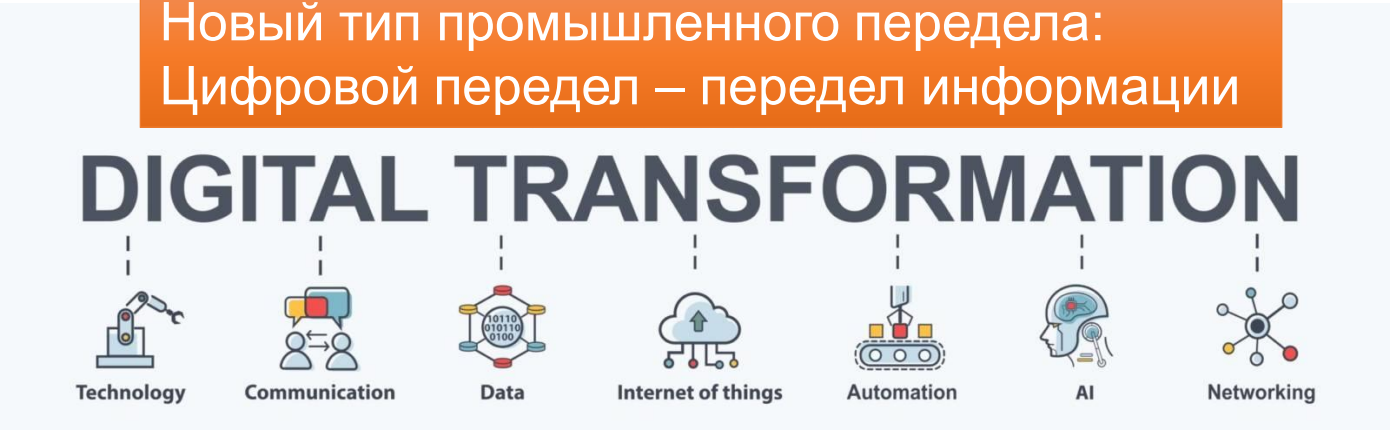
- Н.Н. Колосовский: территориально-производственный комплекс (ТПК)
- ТПК - повышение эффективности расположенных рядом друг с другом взаимосвязанных производств за счет использования общей инфраструктуры, и ресурсов.
- Структура ТПК определяется энергопроизводственными циклами (ЭПЦ) - устойчиво повторяющимися типами производственных процессов.
- Традиционные ЭПЦ:
  пирометаллургические циклы черных и цветных металлов,
  нефтегазоэнергохимические циклы,
  гидроэнергопромышленные циклы
  циклы перерабатывающей индустрии

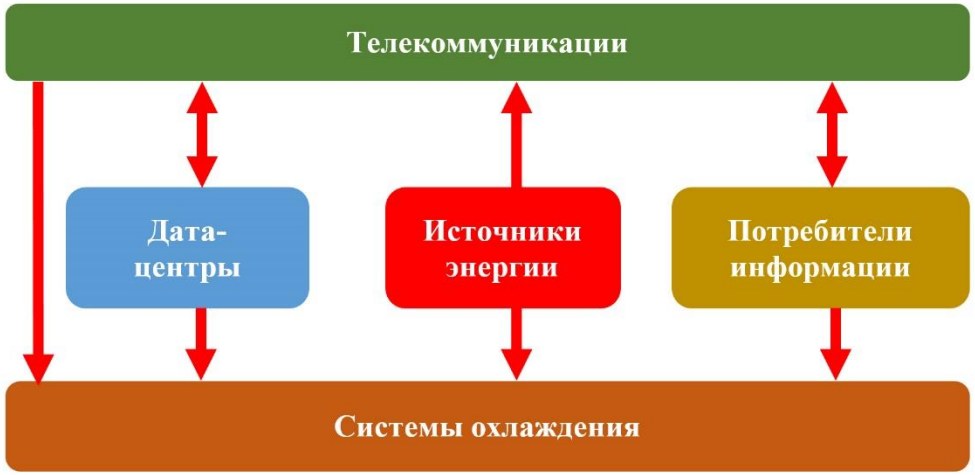
**Kolosovskiy, N. N. (1961). The territorial-production combination (complex) in Soviet economic geography. Journal of Regional Science, 3(1), 1-25. https://doi.org/10.1111/j.1467-9787.1961.tb00889.x**

**Щеглов Г.А. Экологические аспекты использования космических солнечных электростанций для производства информации на орбите // Экология и промышленность России. 2020. № 24(10). С.50-56. URL: https://doi.org/10.18412/1816-0395-2020-10-50-56**

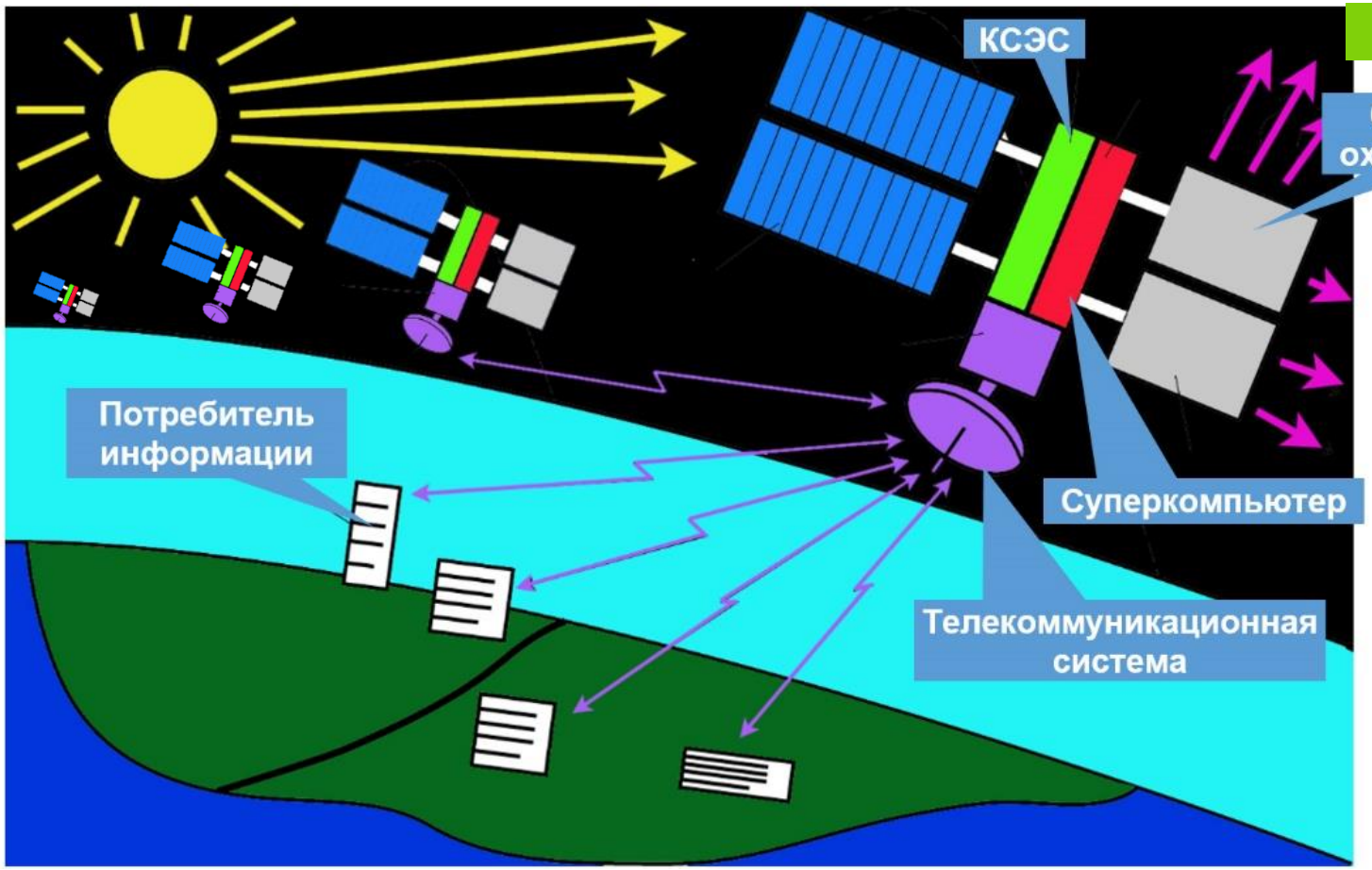
**Новый ЭПЦ– ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫЙ:**

Новый тип промышленного передела:
Цифровой передел – передел информации



# Распределенный энергоинформационный ТПК




**Необходима ССО**

**Мощности относительно невелики**

**Производство без логистики**

**Безопасно**

**Борьба с глобальным потеплением**

- Получение чистой энергии от Солнца созвездием космических суперкомпьютеров
- Использование энергии для обработки информации в космосе
- Передача на Землю ценной **информации**, вместо энергии
- Произведенное тепло не нагревает Землю


**Shcheglov G.A. Distributed solar powered supercomputer satellite. IAC-21,C3,1,7,x65722. 2021**

**Shcheglov G.A., Morozov L.L. Orbital HPC-center based on solar power satellite // AIP Conference Proceedings, 2021. Vol.2318, Paper ID 020022 DOI: 10.1063/5.0035819**

# Необходим системный подход

Необходимость перехода к новым принципам:

- разработки и производства МКА;

  сокращение сроков; повышение серийности;
- эксплуатации МКА;

  создание системы технического обслуживания и ремонта
- борьбы с техногенным засорением ОКП

  модернизация; повторное использование; утилизация.

**Zelentsov, V., Shcheglov, G., Mayorova, V., Biushkina, T. Spacecrafts service operations as a solution for space debris problem International Journal of Mechanical Engineering and Technology 2018 URL: https://iaeme.com/MasterAdmin/Journal_uploads/IJMET/VOLUME_9_ISSUE_7/IJMET_09_07_160.pdf**

Создание единой космической инфраструктуры сервиса КА, включающей:

- систему промышленной эксплуатации,
- систему технического обслуживания и ремонта (ТОиР) КА,
- систему утилизации космического мусора.

Компоненты данной системы - инструменты, материалы и исполнители могут иметь наземное или орбитальное базирование.

# АКТУАЛЬНАЯ ТЕНДЕНЦИЯ: ИНДУСТРИЯ 4.0 -> КОСМОС 4.0

Щеглов Г.А., 2020

Физика

Физическая реальность

4-я промышленная революция, 2011 г.

Виртуальная реальность

Кибернетика

Единое информационное поле

Дополненная реальность

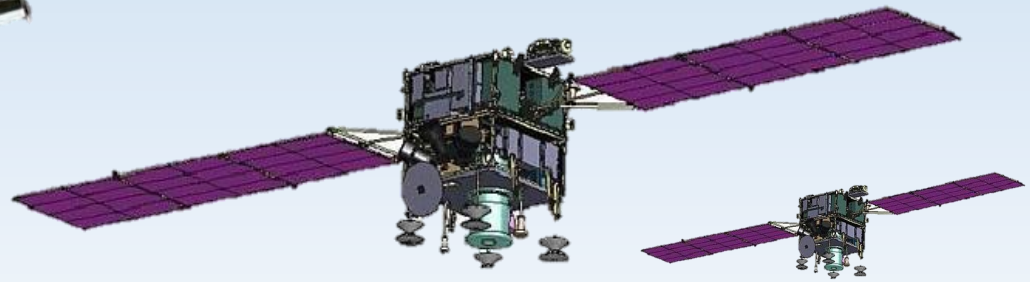
**КИБЕРФИЗИКА**

Интеграция вычислительных ресурсов в физические процессы

**Закон развития: повышение степени управляемости космических систем**

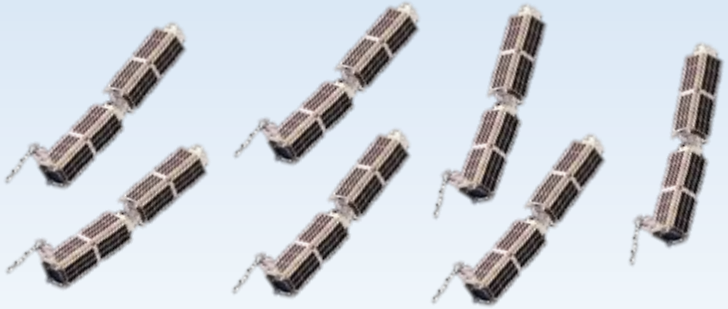
КА – электромеханическая машина

Жесткая программа работы



КА – электронный прибор с цифровым управлением

Гибкая программа работы



КА – программа, управляющая интернетом вещей

Искусственный интеллект

# Киберфизическая система КФС (cyber-physical system, CPS)

**интеллектуальная система, которая включает в себя инженерные взаимодействующие сети физических и вычислительных компонентов.**

**предварительный национальный стандарт РФ ПНСТ-417-2020**

- Физические элементы являются комплексом встроенных программируемых центральных и периферийных устройств – носителей ПО
- Физические элементы погружены при помощи ПО в информационные пространства, обеспечивающие синергетические связи.
- Виртуализация – отделение логики системы управления от аппаратной реализации.
- Распределенное функционирование компонентов.

Интернет вещей (IoT)

Встраиваемые вычислительные системы (ES)

Большие данные (Big Data)

Повсеместные вычисления (Ubiquitous computing)

Искусственный интеллект (AI)

# Архитектура КФС: 5 физ. Элементов + 5 уровней ПМО

Danda B. Rawat, Joel J.P.C. Rodrigues, Ivan Stojmenovic Cyber–Physical Systems From Theory to Practice. CRC Press 2016 579 p.

**Configuration** – уровень управления структурой, позволяющий производить оптимизацию и эволюцию системы.

**Cognition** – уровень искусственного интеллекта, дающий возможность гибкого целеполагания и принятия решений.

**Cyber** – уровень управления элементами и системой в целом на основе цифровых моделей (цифровых двойников).

**Conversion** – уровень данных, на котором реализуется наполнение информационного поля.

**Connection** – транспортный уровень, позволяющий организацию единого информационного поля.

**Информационное поле**

Сетевое оборудование

Датчики

Исполнительные органы

Встроенные контроллеры

Дата-центры

**Физическая система**

# Non Terrestrial Networks - NTN

## IoT – интернет вещей

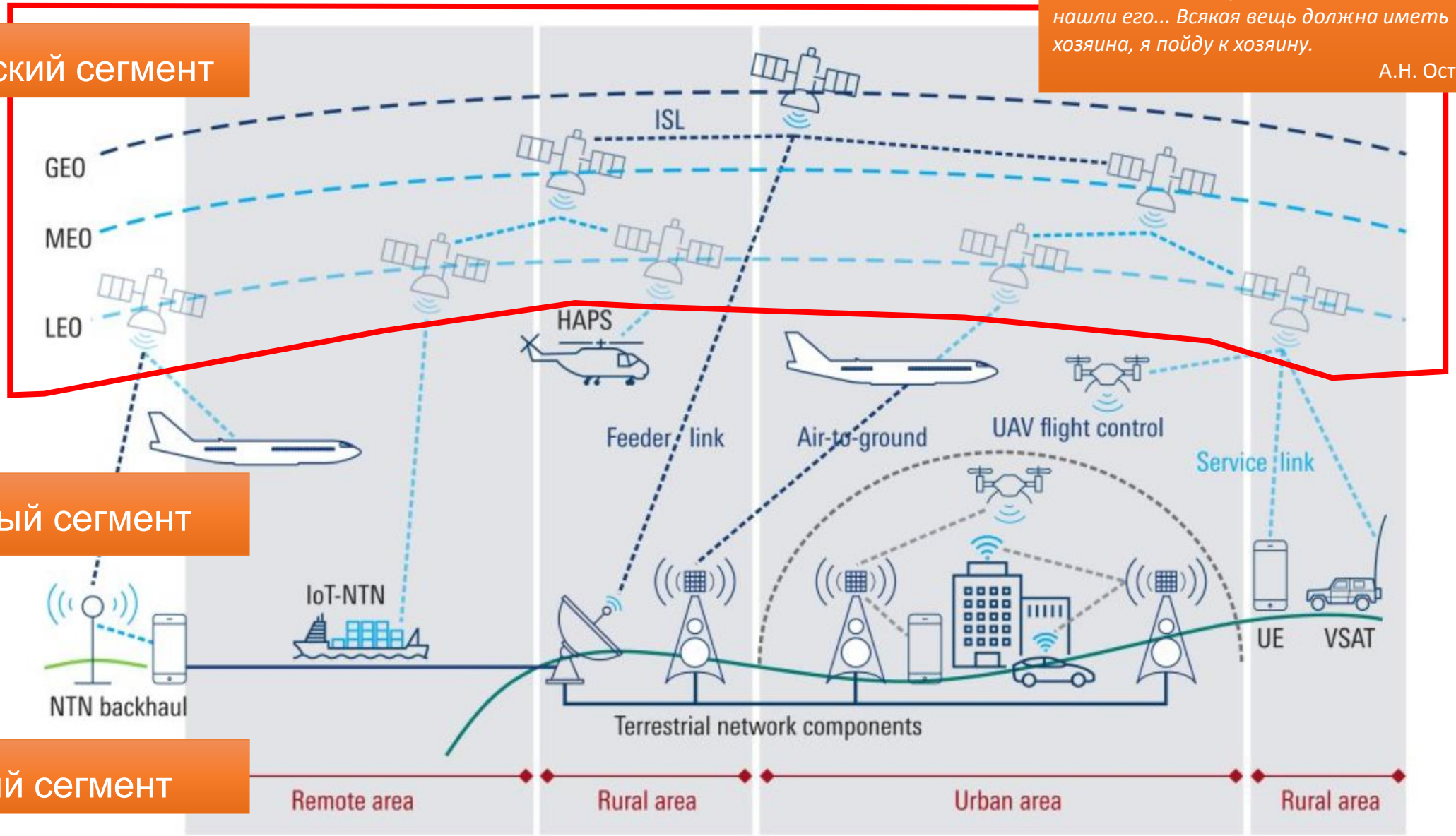
*— Вещь... да, вещь! Они правы, я вещь, а не человек... Наконец слово для меня найдено, вы нашли его... Всякая вещь должна иметь хозяина, я пойду к хозяину.*

А.Н. Островский

КС – космический сегмент

ВС – воздушный сегмент

НС – наземный сегмент

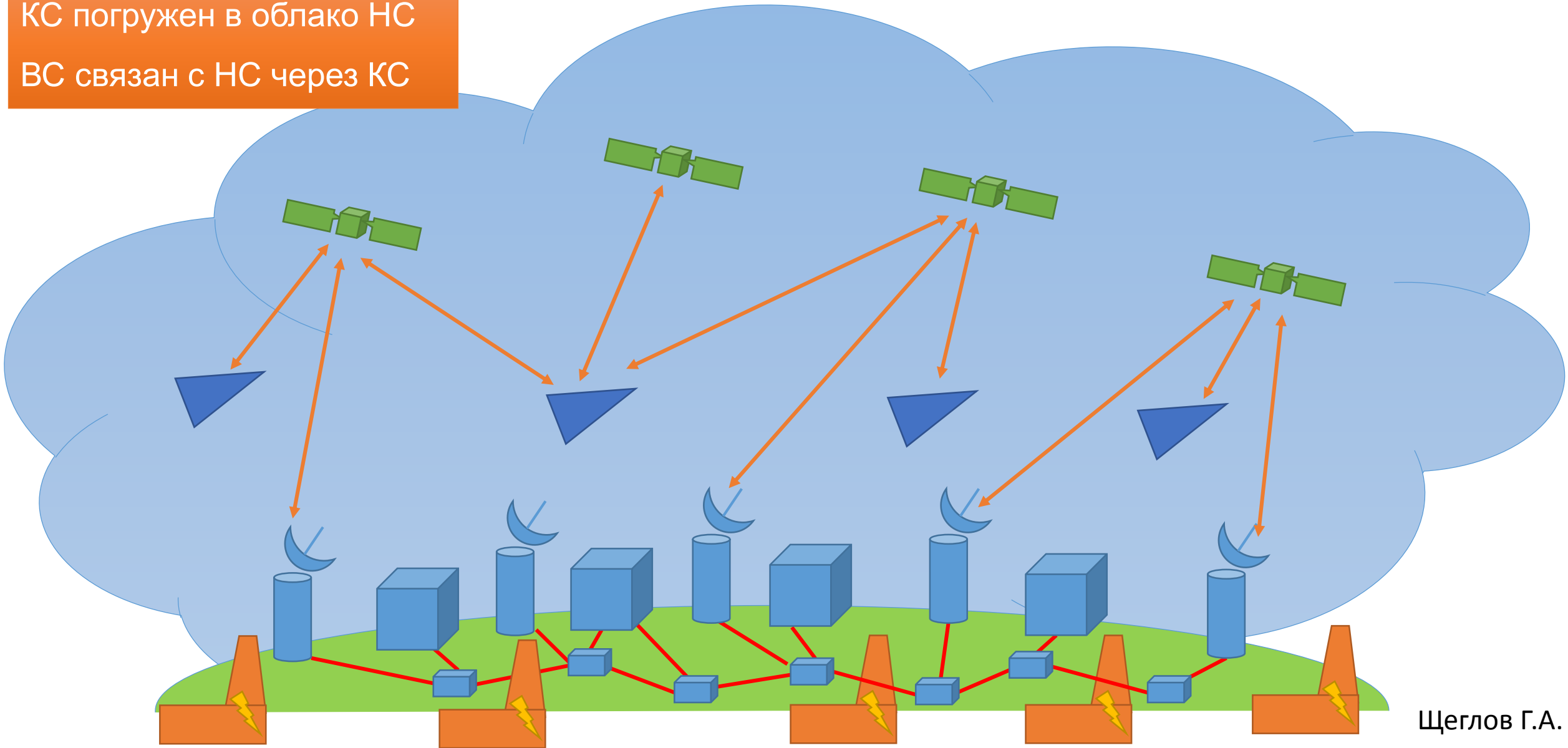



https://www.rohde-schwarz.com

# Варианты использования космического сегмента

КС погружен в облако НС

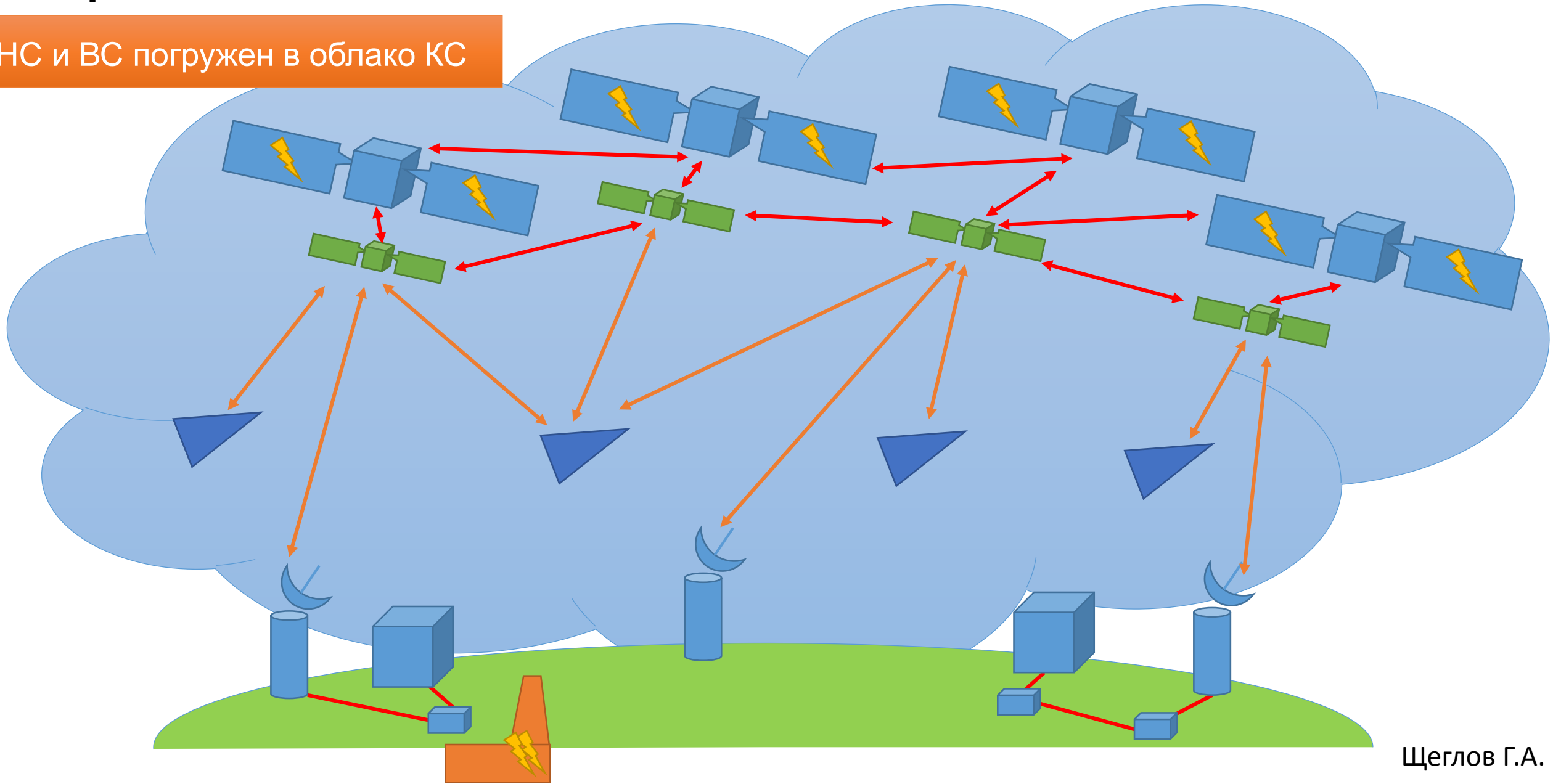
ВС связан с НС через КС



Щеглов Г.А.

# Варианты использования космического сегмента

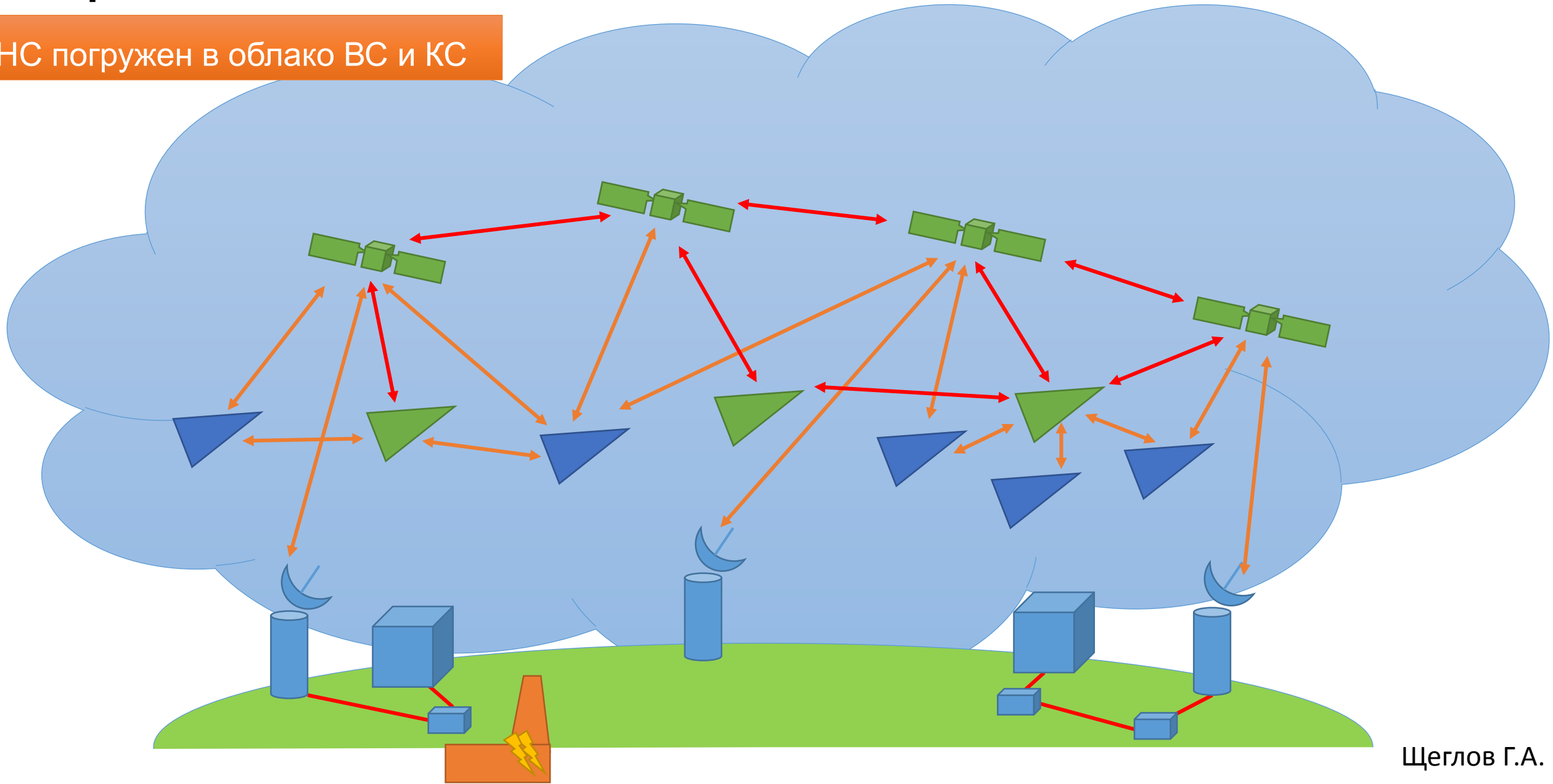
НС и ВС погружен в облако КС



Щеглов Г.А.

# Варианты использования космического сегмента

НС погружен в облако ВС и КС



Щеглов Г.А.

# Проблема выбора проектных параметров группировки IoT

Скорость передачи данных между спутниками, равной 24 Гбит/с ()
Размер передаваемого пакета не превышает 1 Мбайт,
Частоты радиоканала КА-КА 24 ГГц
Частота радиоканала КС-НС 6 ГГц
Время передачи — не более 1 с
НОО высотой 1000 км
Число КА не менее 45
Мощность СЭС КА, 11 кВт,
Площадь солнечных батарей 28,2 м$^2$.
Масса одного КА составит 780,4 кг,
Суммарная масса КА в группировке **35 118** кг

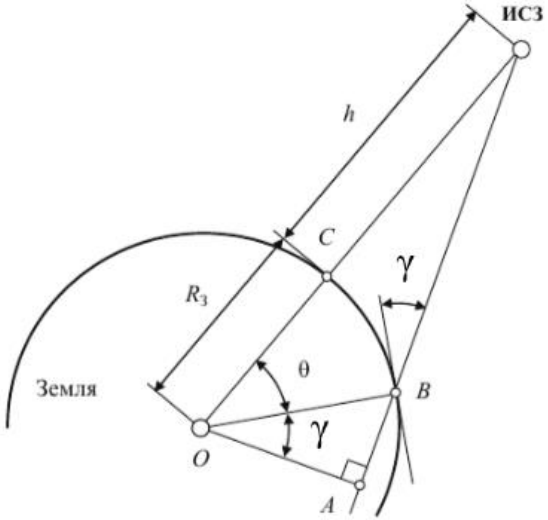
Если число спутников 91 КА
Частоты радиоканалов КА-КА и КС-НС 4,85 ГГц
Мощность СЭ СКА 4,3 кВт.
Площадь панелей солнечных батарей — 12,7 м$^2$
Масса одного КА 573 кг,
Суммарная масса КА в группировке **52 143** кг

То есть масса одного КА уменьшается в 1,4 раза,
Но суммарная масса группировки возрастает в 1,5 раза!

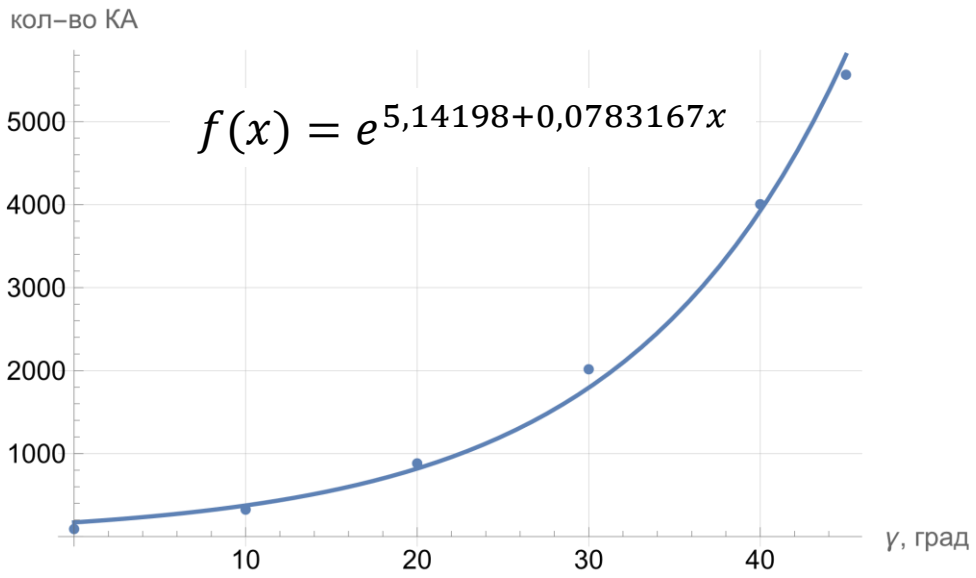
**Щеглов Г.А., Таратонкина В.С. Оценка проектных параметров группировки информационных спутников IoT 5G // Инженерный журнал: наука и инновации. 2023. №7(139). 25 с. [Электронный ресурс]. – URL: http://engjournal.ru/articles/2289/2289.pdf**

| Высота группировки | 200 км |
|---|---|
| Количество орбитальных плоскостей | 13 |
| Количество спутников в каждой плоскости | 25 |
| Общее кол-во КА в группировке | 325 |
| Время существования группировки | 5 лет |
| Потребляемая мощность | 2856 Вт |
| Площадь солнечных батарей | 6,8 кв. м |
| Двигатель | КМ-88 |
| Удельный импульс | 2100 с |
| Тяга двигателя КМ-88 | 72 мН |
| Масса топлива | 44,2 кг |
| Рабочий диапазон частот | 4,7-4,9 ГГц |
| Время нахождения в тени КА | 37,4 мин |
| Время нахождения КА в зоне радиосвязи | 3,6 мин |
| Период обращения КА | 88,5 мин |
| Масса КА | 400 кг |
| Площадь Миделя | 0,4 кв. м |
| Суммарная масса КА в группировке | **130 000кг** |

# Проблема выбора проектных параметров группировки IoT




Расчетная схема




| Угол места γ, град | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 45 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Наклонение орбиты, град | 76 | 83 | 86 | 87 | 88 | 88 |
| Диаметр зоны видимости спутника, км | 3153,6 | 1620,8 | 966 | 643,9 | 452,7 | 382,2 |
| Количество орбитальных плоскостей | 7 | 13 | 21 | 32 | 45 | 53 |
| Количество спутников в орбитальной плоскости | 13 | 25 | 42 | 63 | 89 | 105 |
| Общее кол-во КА в группировке | 91 | 325 | 882 | 2016 | 4005 | 5565 |

Увеличение угла места на 10 градусов приводит к увеличению количества спутников в 1,5-2 раза

**Щеглов Г.А., Таратонкина В.С. Оценка проектных параметров группировки информационных спутников IoT 5G // Инженерный журнал: наука и инновации. 2023. №7(139). 25 с. [Электронный ресурс]. – URL: http://engjournal.ru/articles/2289/2289.pdf**

# Открытые системы (ISO 7498)

**Сложные системы:**
Не могут быть полностью спроектированными или разработаны отдельными производителями.
Они должны быть разложены на реализованные отдельно, взаимодействующие элементы, которые затем должны быть интегрированы.

**Открытая система [open system]:** Система, реализующая открытые спецификации или стандарты на интерфейсы, службы и форматы данных, достаточные для того, чтобы созданное соответствующим образом приложение имело:

- возможность переноса с минимальными изменениями на широкий диапазон систем;
- взаимодействие с другими прикладными системами на локальных или удаленных платформах;
- взаимодействие с пользователями в стиле, облегчающим последним переход от системы к системе (мобильность пользователей).

**Основные отличия открытых систем от закрытых:**

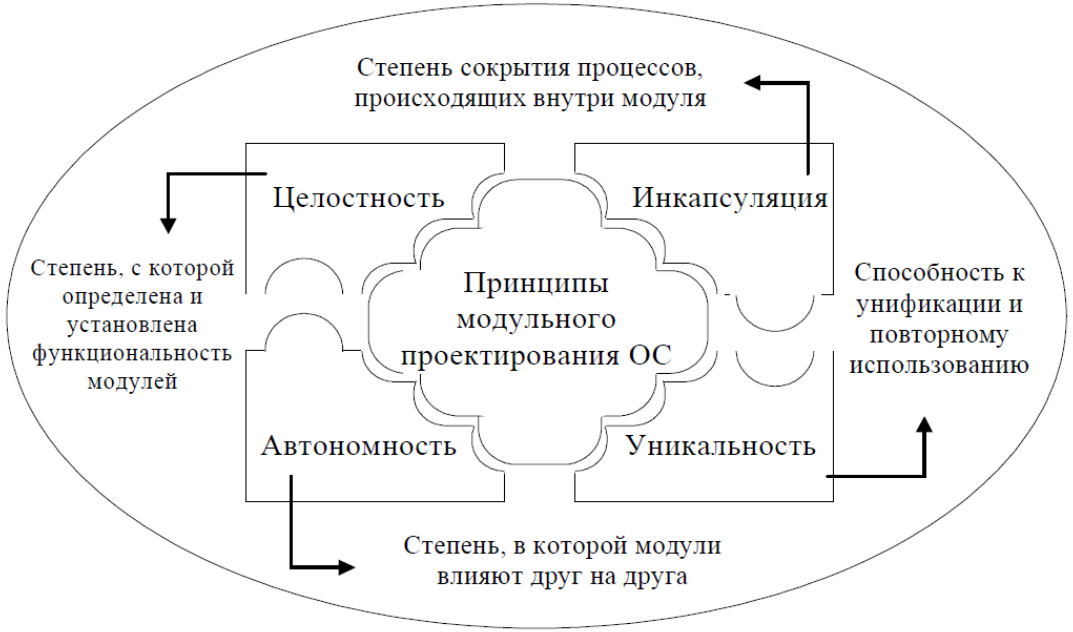
- Более широкий выбор производителей, поставщиков и интеграторов.
- Экономия издержек на инсталляцию и затрат на жизненный цикл здания.
- Более широкий выбор коммерческих возможностей.
- Улучшенные эксплуатационные характеристики системы.
- Больше характеристик, пользующихся спросом.

- Проект ТОС Россия, 2000 **Олейников А.Я. (Ред.). Технология открытых систем** URSS 2004. 288 с.
- Проект Modular Open System Architectures (MOSA) for Military Systems, 2016.

# Открытые системы

**Подход «разделяй и властвуй»:**
**- Выделение «самостоятельных проблем»**
**- Объектное разделение проектирования на элементы и интерфейсы**
**- Распределение требований к элементам между функциями и связями**
**- Задача разделения элементов по производителям**
**- Интероперабельность (взаимодействие)**
**- Интеграция системы после того, как элементы в основном отработаны**

**МОДУЛЬНОСТЬ**




**Батоврин В.К.** Использование принципов открытых систем в системной инженерии // Информационные технологии и вычислительные системы 2006. №3 с.19-41

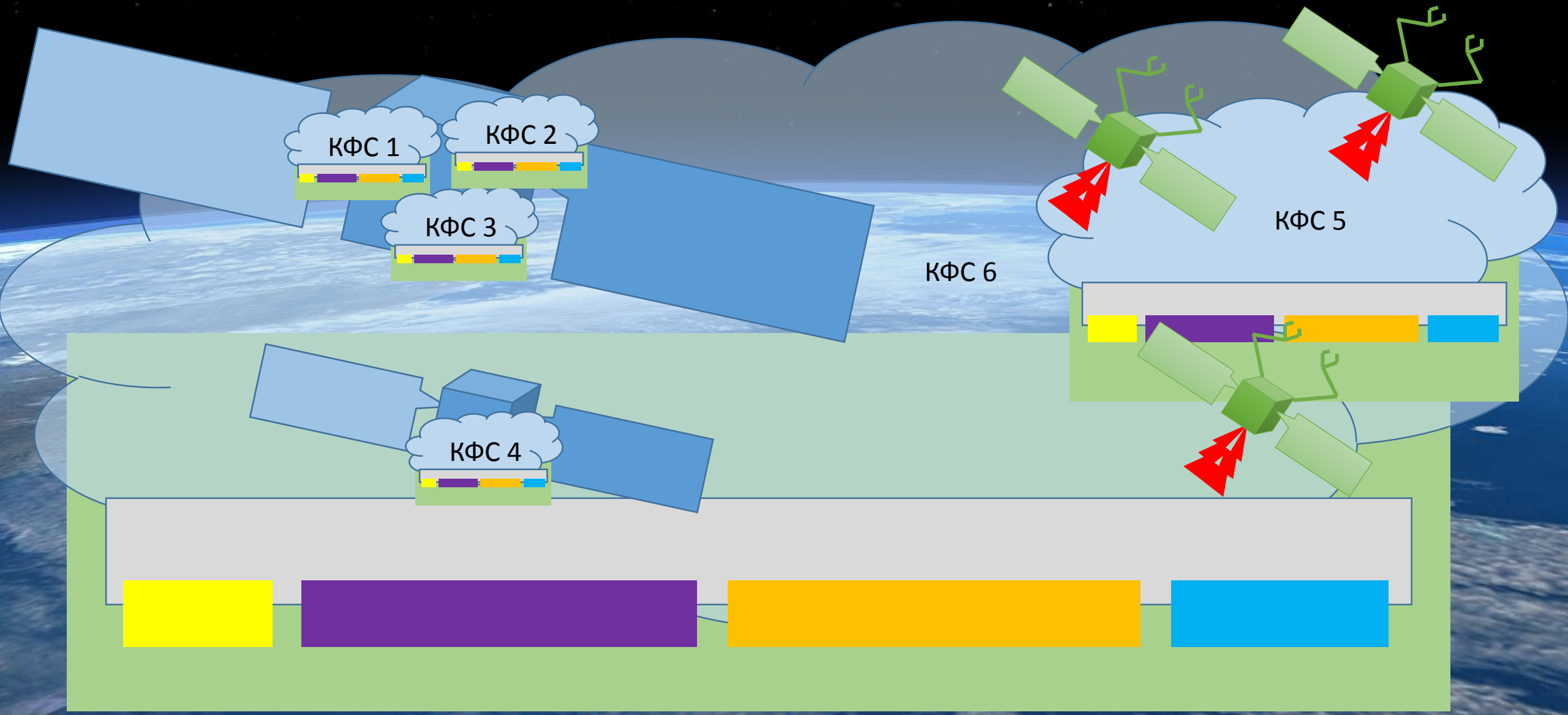
**Продукты COTS (Commercial Of The Shelf components)**

- изготавливаются, продаются, арендуются
- или лицензируются для широкого потребления;
- предлагаются продавцом для получения прибыли;
- поддерживаются и развиваются продавцом, сохраняющим за собой
- права интеллектуальной собственности;
- доступны во множестве идентичных копий;
- могут быть непосредственно, без модификации использованы в проекте

ACCEDE Workshop on COTS Components for Space Applications 6-8.11.2019

# Виртуализация – распределенный КА

Щеглов Г.А., 2020



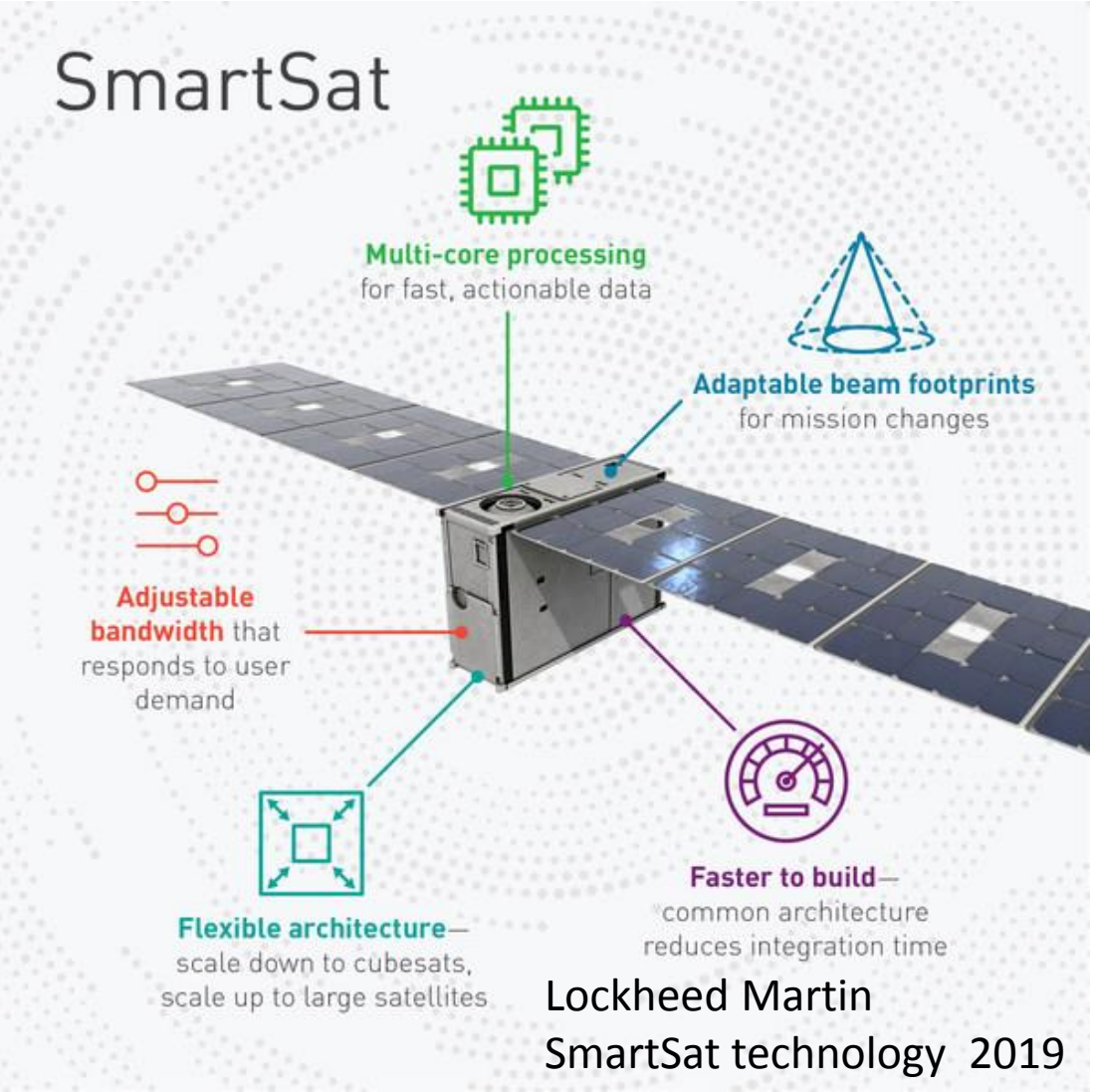
# Smart Satellite, Smart Spacecraft

Pony Express 1 (запущен 11.12.2019) Назначение: отработка программно-определяемой полезной нагрузки, которая будет тестировать инфраструктуру облачных вычислений и была разработана за девять месяцев.
https://www.lockheedmartin.com/en-us/products/satellite.html

In-space Upgrade Satellite System (LINUSS) 12U
https://news.lockheedmartin.com/linuss-small-sats-mission

Платформа LM50 для технологии SmartSat
https://www.lockheedmartin.com/en-us/products/satellite.html

SmartSat использует мощный, защищенный от радиации компьютер, разработанный National Science Foundation's Center for Space, High-performance, and Resilient Computing (SHREC).



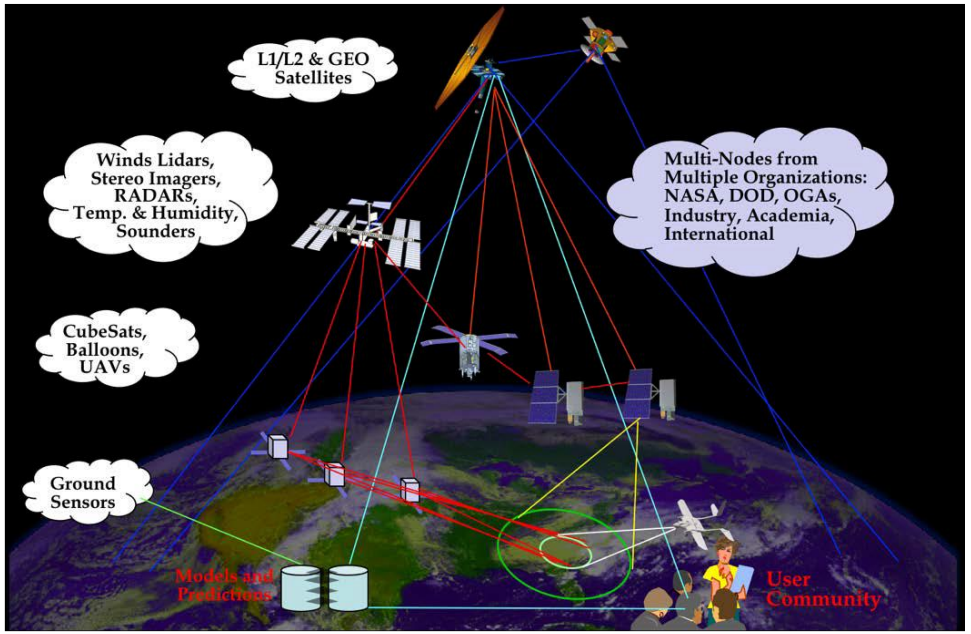

Lockheed Martin
SmartSat technology 2019

# Распределенный КА
# NASA Distributed Spacecraft Missions (DSM)

**08.10.2019** https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/20191008presentationsttrustedautonomylemoignenomoviesoctwebsite-final.pdf

## Constellations vs. Monolithic Missions

A Distributed Spacecraft Mission (DSM) is a mission that involves multiple spacecraft to achieve one or more common goals.




Technology Drivers

HARDWARE:

- Instrument Miniaturization (Freeform Optics, Photonic Integrated Circuits, etc.)
- Novel Components (Metamaterials, etc.)
- Smaller Spacecraft (CubeSats and Nanosats)
- High Performance Space Processors

SOFTWARE:

- Big Data Analytics
- Artificial Intelligence
- Autonomous Decision Making
- Onboard Computing
- Intelligent & Collaborative Constellations and Sensor Webs

# системы с открытой модульной архитектурой

Щеглов Г.А., 2020

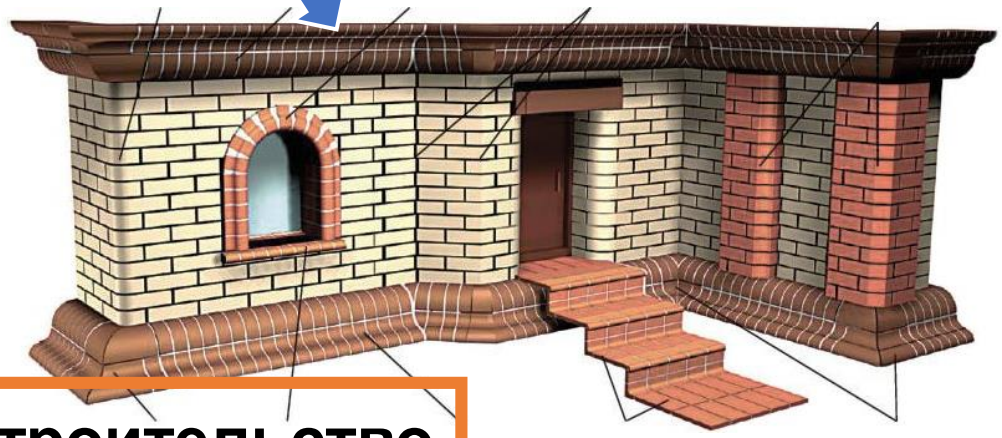
многоклеточные организмы

алфавиты

БУКВ МАЛО, А СЛОВ МНОГО

Эволюция оперирует без знания того, что должно прийти на смену (без проекта)

транспорт



строительство

Отделение логики модулей от логики их использования

Возможности блочного, агрегатного проектирования

электроника

# Необходимые уровни открытости модульной архитектуры МКА:

Салиев Е.Р., Тютюнник Н.Н., Щеглов Г.А. О проектировании малого космического аппарата на основе открытой модульной архитектуры // Космонавтика и ракетостроение. – 2019. №1(106), С.131-142

– открытость обеспечения;

открытое ПО, открытые стандарты

унификация, сочетаемость и взаимозаменяемость модулей, изготовленных различными производителями

– открытость состава модулей;

поддержка архитектуры сообществом производителей, доступность модулей, конкуренция производителей

– открытость топологии связей между модулями;

открытость состава модулей, децентрализованная система, масштабирование и реконфигурация системы

– открытость функциональных возможностей системы

изменение специализации системы по мере возникновения новых целевых задач

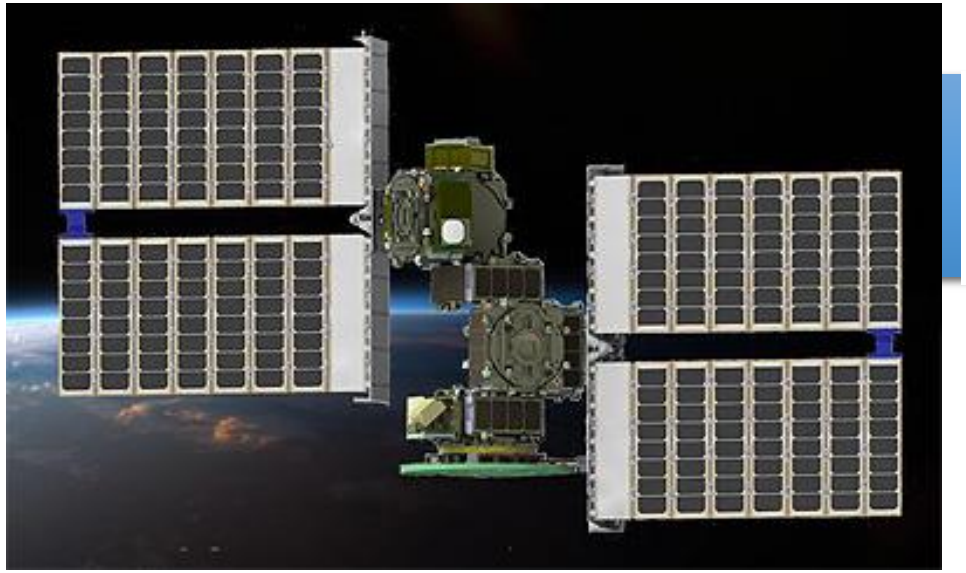
# Открытая модульная архитектура МКА на базе киберфизических систем

разделение физических и виртуальных компонентов МКА на эффективные с коммерческой точки зрения модули, которые могут изготавливаться серийно несколькими производителями в условиях конкуренции

- создание ИСЗ за счёт интеграции в единую систему независимо отлаженных модулей
- сборка модулей - по одинаковым принципам как в наземных условиях, так и в космосе
- открытость номенклатуры модулей дает расширение кооперации
- ускоренная разработка нового МКА – минимальное число вновь разрабатываемых модулей
- управление эксплуатационными характеристиками МКА за счёт замены модулей
- эффективное масштабирование КА открытость функциональных возможностей системы за счет реконфигурации.
- эволюционирующие по назначению МКА могут существовать на орбите неопределённо продолжительное время, экономя дефицитный орбитальный ресурс, что обеспечивает решение проблемы засорения ОКП.

**Салиев Е.Р., Тютюнник Н.Н., Щеглов Г.А. О проектировании малого космического аппарата на основе открытой модульной архитектуры // Космонавтика и ракетостроение. – 2019. №1(106), С.131-142**

Реализованные проекты:
2015 - SIMPL (“Satlet Initial-Mission Proofs and Lessons”)



**cellurized satellite** – «многоклеточный» КА
Один КА – 30..40 модулей-сэтлетов
Рынок модулей в год: 2000-8000 в США 10000 – 40000 в мире

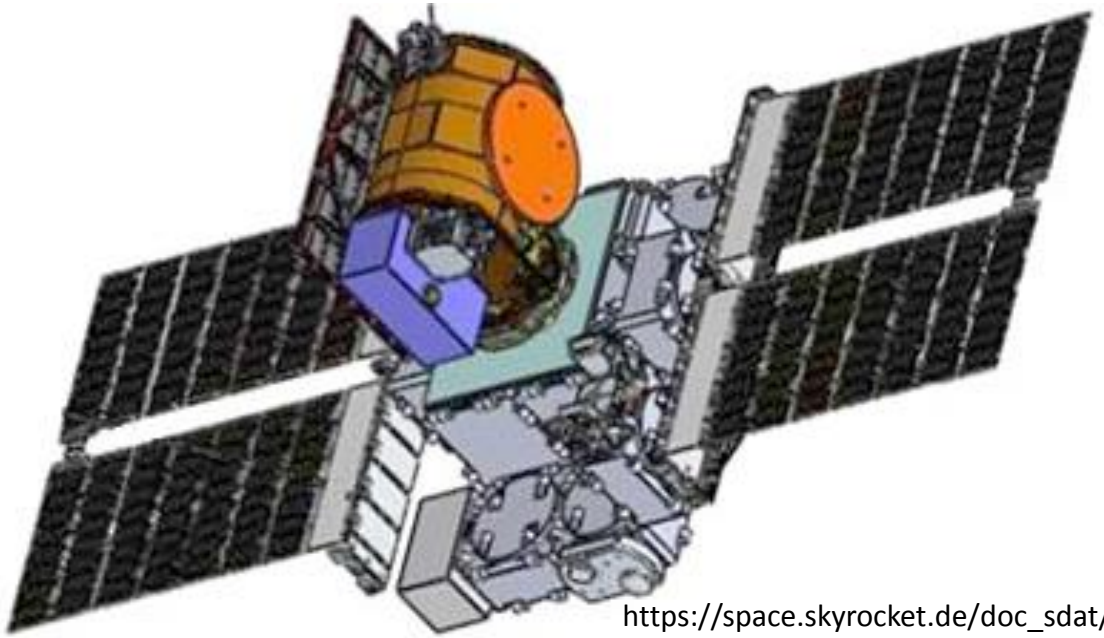
NovaWurks

# HiSat – «Сэтлэт»

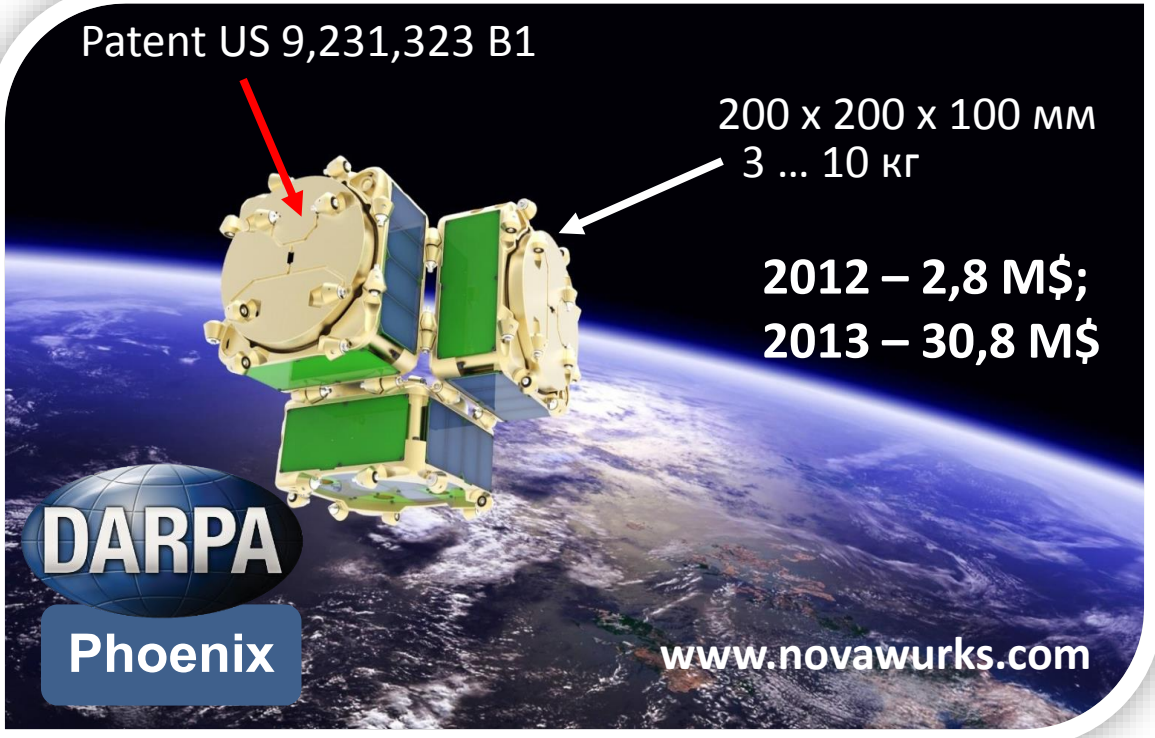
Hyper-Integrated Satlet

Реализованные проекты:
2015 - SIMPL (“Satlet Initial-Mission Proofs and Lessons”)
2018 - eXCITe (eXperiment for Cellular Integration Technologies)

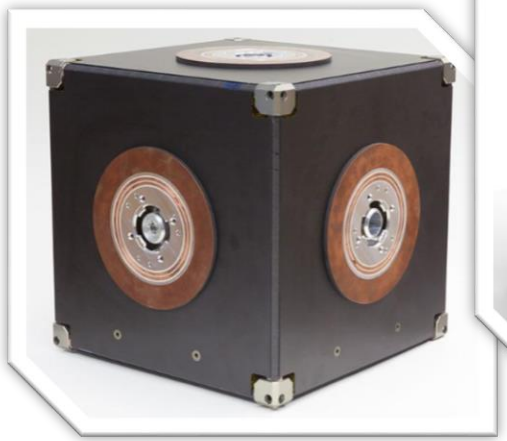
2018 - eXCITe (eXperiment for Cellular Integration Technologies)

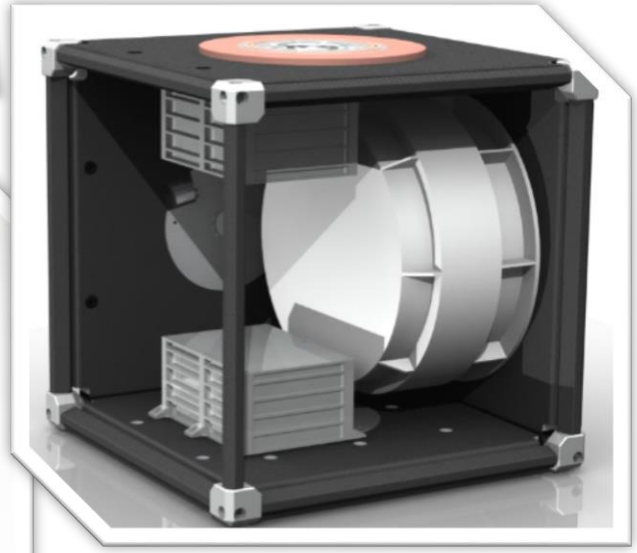


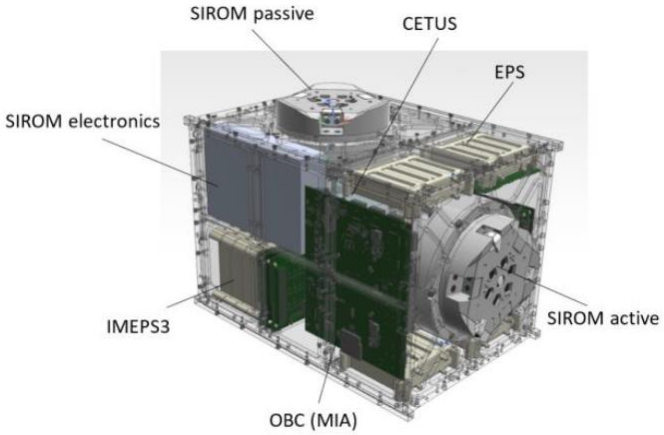
https://space.skyrocket.de/doc_sdat/excite.htm



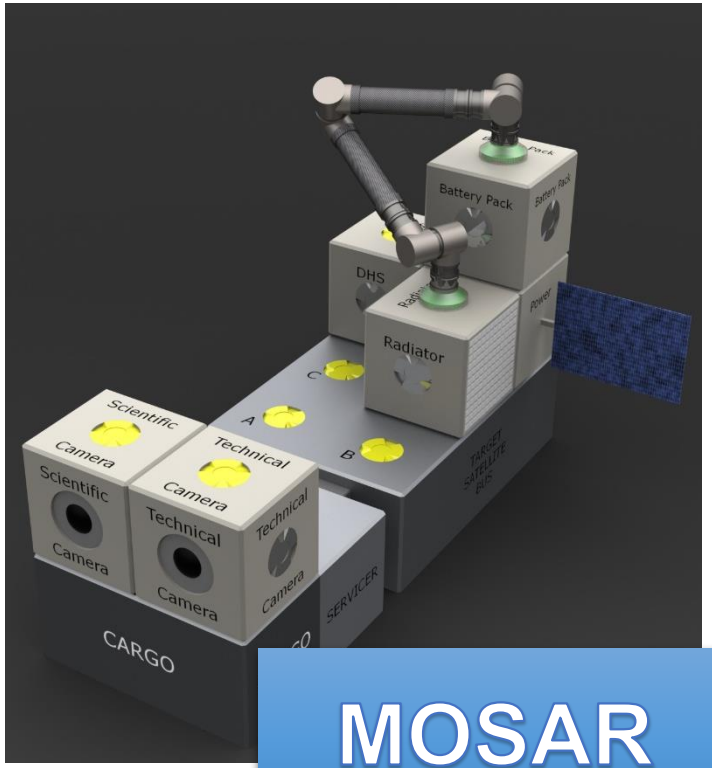
# Открытая модульная архитектура МКА



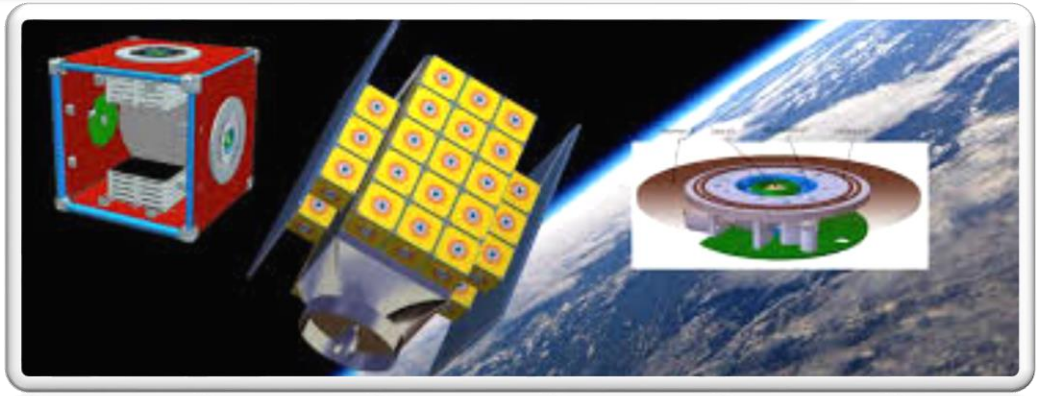


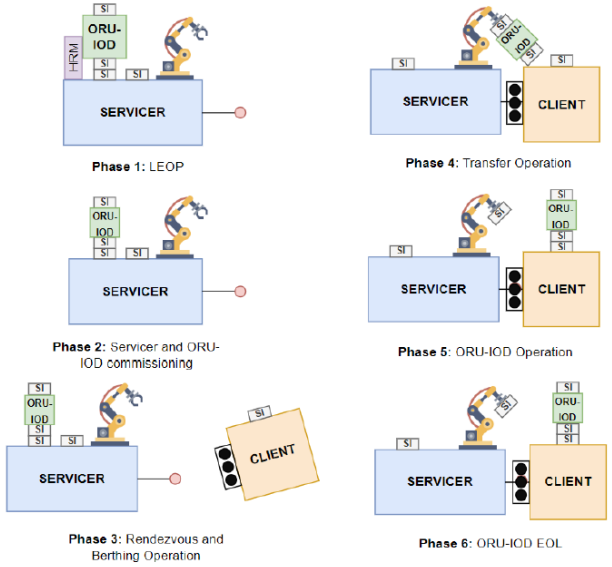



## ORU-BOAS

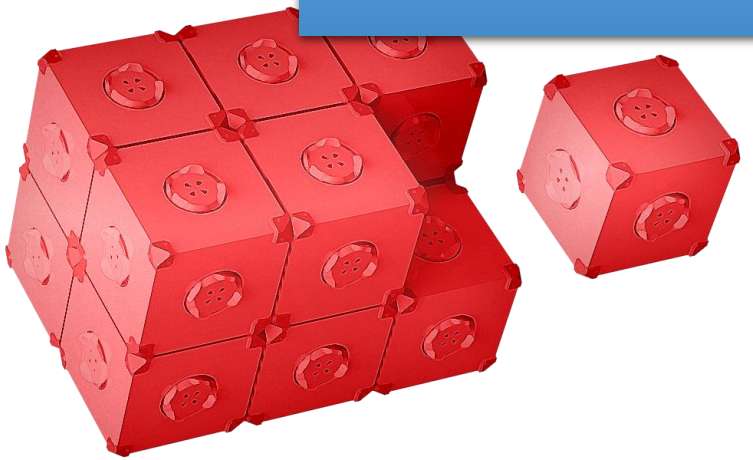



## iBoss – «Сэтлэт»






## MOSAR

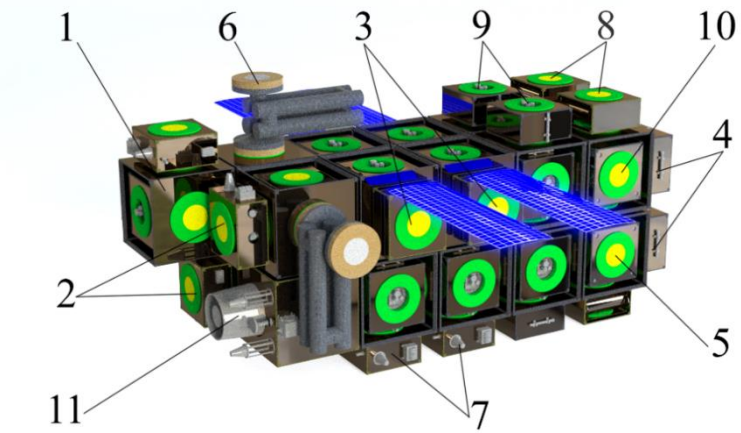


# ОБСЛУЖИВАЕМАЯ ГРУППИРОВКА МКА ДЗЗ НА ОСНОВЕ ОМА

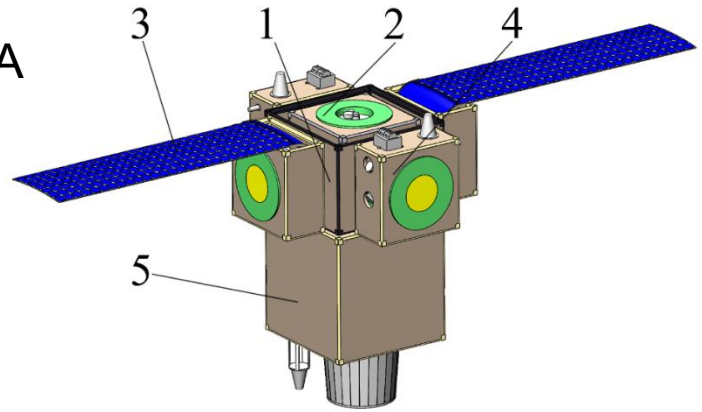
**Модуль размера 0,25 м. Модуль массы 5 кг.**

## БКА

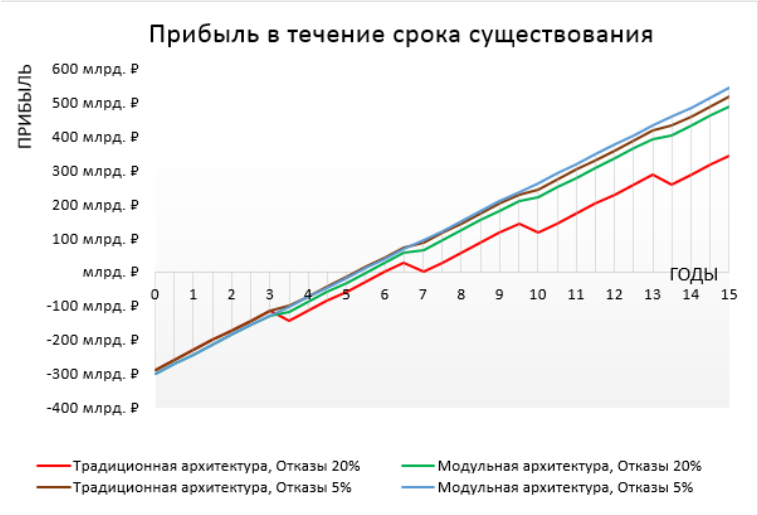
1 - СКА в транспортируемой конфигурации; 2 - бортовые модули ПМ; 3 - бортовые модули ЭМ; 4 – бортовые модули ДМ; 5 - бортовые модули УДМ; 6 - бортовой модуль ММ; 7 – сменные модули ПМ; 8 - сменные модули ЭМ; 9 - сменные модули ДМ; 10 - сменные модули УДМ; 11 - сменный модуль ПН

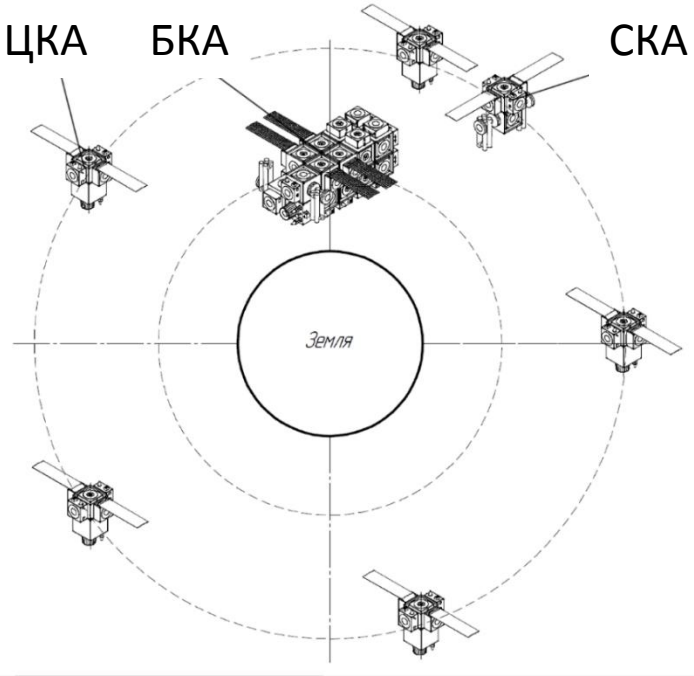



## ЦКА

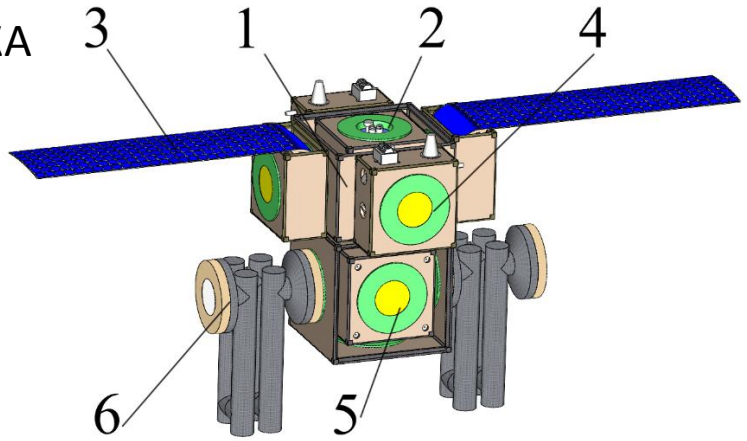



1 – силовой модуль;
2 – двигательный модуль;
3 – энергетический модуль;
4 – приборный модуль;
5 – модуль полезной нагрузки;
6 – манипулятор.



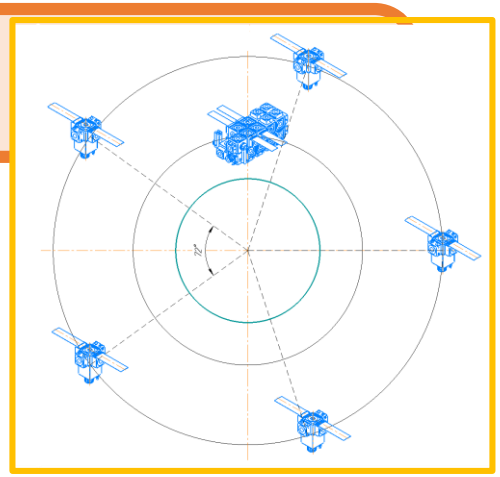




## СКА




**Салиев Е.Р., Тютюнник Н.Н., Щеглов Г.А. Концепция построения обслуживаемой группировки малых космических аппаратов на основе открытой модульной архитектуры// Космонавтика и ракетостроение. – 2020. №3(114), С.105-115**

# Описание работы комплекса



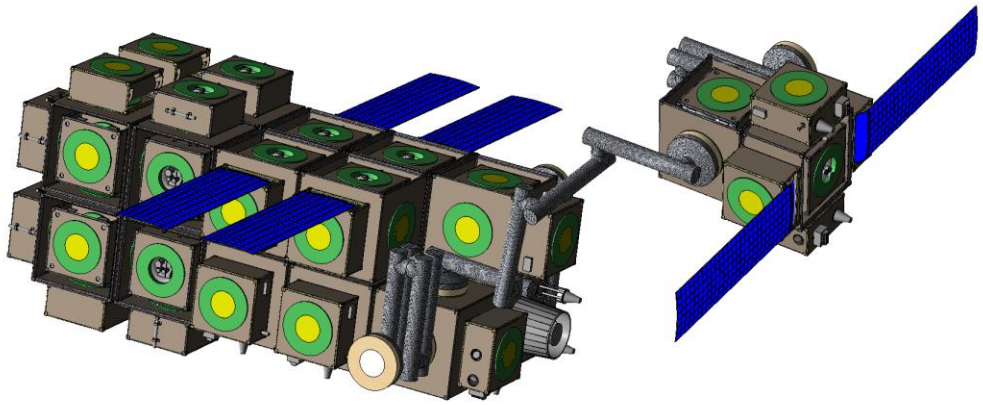
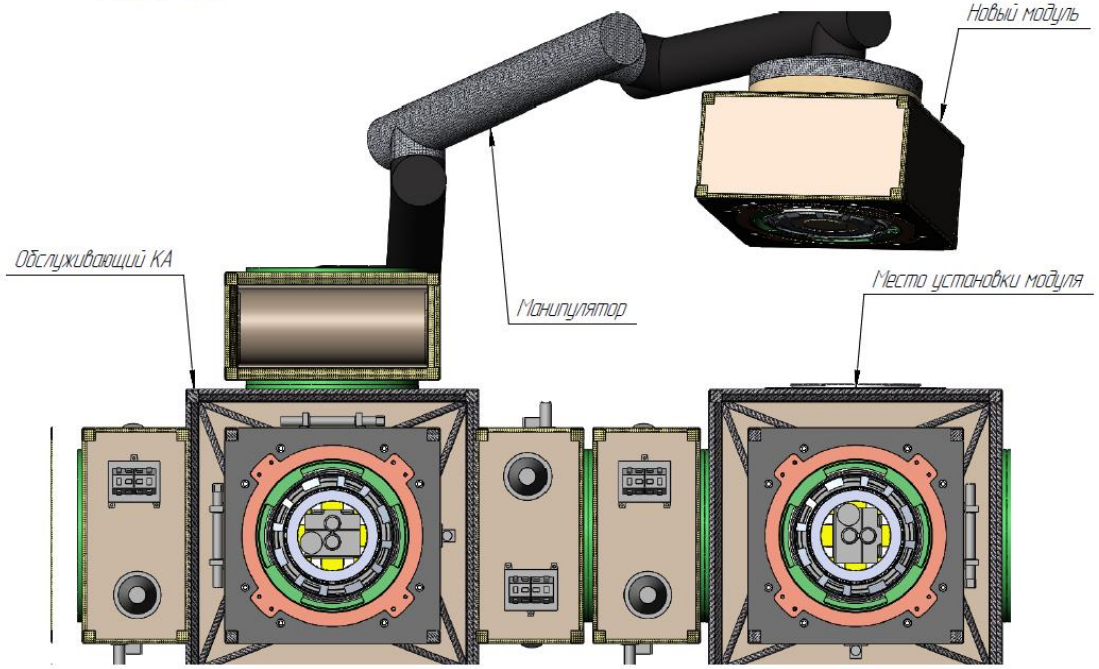


Схема стыковки

1. Сближение




**Циклограмма сервисной миссии:**

- **расстыковка СКА и БКА, посредством манипулятора;**
- **маневр встречи СКА с целевым МКА включающий дальнее наведение, ближнее наведение, и стыковку при помощи первого манипулятора;**
- **операции по замене модуля на МКА выполняемые вторым манипулятором;**
- **расстыковка СКА с МКА;**
- **маневр встречи СКА с БКА, включающий дальнее наведение, ближнее наведение, и стыковку;**
- **послеполетное обслуживание СКА, включающее перемещение при помощи манипуляторов вышедшего из строя модуля в хранилище на БКА.**

**Салиев Е.Р., Тютюнник Н.Н., Щеглов Г.А. Концепция построения обслуживаемой группировки малых космических аппаратов на основе открытой модульной архитектуры// Космонавтика и ракетостроение. – 2020. №3(114), С.105-115**

# ДВИГАТЕЛЬНЫЙ МОДУЛЬ - МРБ «БОТ»

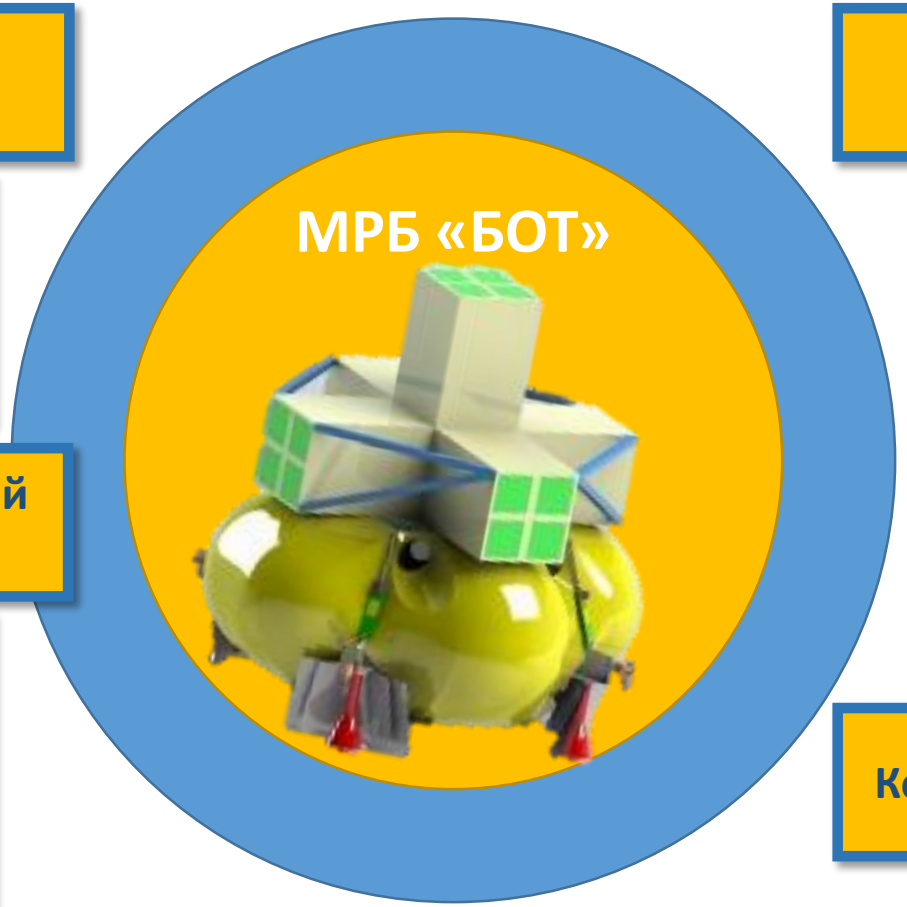
**При выборе облика МРБ «БОТ» сделан упор на его применение в максимально большом числе сегментов российских цепочек создания ценности космических услуг**

## Рынок пусковых услуг

Услуга выведения на орбиту при помощи СЛРН в качестве разгонного блока или апогейной ступени.
Услуга индивидуализации орбиты и фазирования ПН для РБ среднего класса

## Рынок услуг пилотируемой орбитальной станции

- запуск спутников с борта ОС;
- выполнение экспериментов вне станции;
- инспекция, транспортировка грузов, аварийное спасение экипажа и оборудования при внекорабельной деятельности;
- борьба с опасными фрагментами космического мусора, угрожающего работе ОС.




## Рынок космических аппаратов

МРБ - энергодвигательная платформа для маневрирующих КА различного назначения:
- научно-исследовательских аппаратов требующих коррекции орбиты;
- МКА, оснащенные сверхмалыми спускаемыми аппаратами;
- аппаратов для инспекции и орбитального обслуживания;
- аппаратов для борьбы с космическим мусором.

## Комплексирование рынков

Создание отдельной группировки МКА на базе выполнивших свою миссию МРБ с неотделяемой ПН

Рыжикова Т.Н., Щеглов Г.А., Шаповалов А.В. Создание коммерческого сегмента космических услуг: задачи, условия, экономика // Экономический анализ: теория и практика. 2023. Т. 22 №10 (541). С. 1850-1863

# ВЫВОДЫ

- План К.Э. Циолковского претворяется в жизнь. Человечество осваивает космическое пространство. Пока около Земли. Но место на НОО скоро будет также дорого как и на ГСО – дороже искусственных спутников, которые там находятся
- Вместо локальных спутниковых систем необходимо в соответствии с идеями Н.Н. Колосовского, рассматривать экономическую географию ближнего космоса, основанную на космическом энерго-информационном территориально-промышленном комплексе, включающем космические электростанции и средства производства и обработки информации
- Орбитальный ТПК необходимо строить как киберфизическую спутниковую систему на базе открытой модульной архитектуры позволяющей масштабирование, реконфигурацию и эволюцию по назначению как физической, так и кибернетической составляющих.
- Обслуживаемая Киберфизическая информационная спутниковая система позволяет наиболее полно освоить слой НОО, развернуть на НОО «умное производство информации» с возможностью индивидуализации предоставляемых сервисов

# Спасибо за внимание!!!

д.т.н., проф. Щеглов Георгий Александрович

SHCHEGLOV_GA@BMSTU.RU