



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



**Современное состояние и перспективы развития
аэрокосмической техники**

**Существующие и перспективные
многоспутниковые группировки**

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

Сравнение низкоорбитальных систем спутниковой связи и систем спутниковой связи на геостационарной орбите

Характеристика системы спутниковой связи	Значение характеристики для систем связи	
	на низкой околоземной орбите	на геостационарной (высокоэллиптической) орбите
Масса КА	< 200 кг	> 5000 кг
Дальность от КА до абонента	от 500 км до 1500 км	36 000 км и более
Минимально допустимый угол места приемной антенны	~ 15°-20° при использовании АФАР	> 50°
Стоимость абонентского терминала	100-300 \$ (?)	> 20 000 \$
Задержка сигнала	20 - 30 мс	> 600 мс
Ослабление сигнала	30 дБ	200 дБ

High Throughput Satellite (HTS) - высокопроизводительный спутник, спутник, производительность которого во много раз превышает производительность традиционных спутников, при одинаковом объеме выделенных спутнику частот. Производительность HTS-спутников достигается за счет:

- повторного использования частот (frequency reuse);
- использования большого набора высокоэнергетичных узконаправленных лучей;
- снижения стоимости передачи бита информации, независимо от спектральной емкости.

В чем бизнес-идея больших спутниковых группировок на низкой орбите?

- 1) Количество точек стояния спутников на геостационарной орбите (ГСО) ограничено (чтобы спутники не мешали друг другу, они не могут стоять ближе, чем на расстоянии 2°).
- 2) Основной недостаток спутниковой связи с использованием ГСО – спутниковая задержка: сигнал от абонентского терминала до спутника идет не меньше 300 миллисекунд и столько же обратно.
- 3) Большое расстояние от Земли до ГСО сильно ослабляет сигнал и скорость в спутниковом канале: чем ближе спутник к поверхности планеты, тем меньший размер антенны и мощность передатчика можно использовать в абонентском терминале (или при тех же размерах терминала значительно увеличить скорость передачи данных).
- 4) Сигнал с геостационарных спутников не виден на полюсах Земли. Практически связь выше полярного круга при работе с ГСО неэффективна.

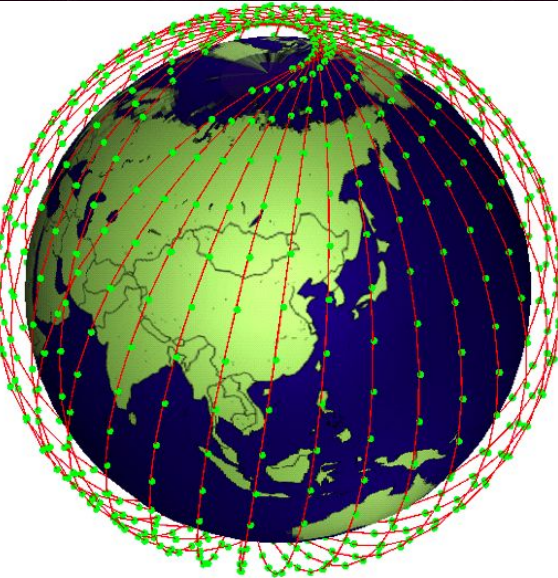
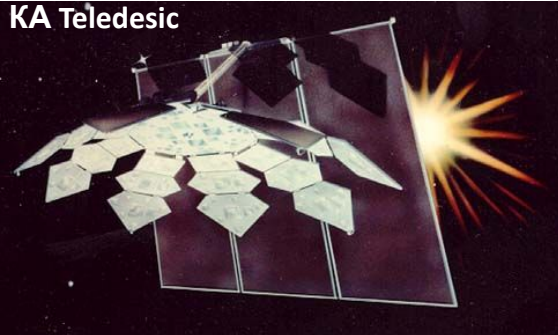
5) При стремительном развитии интернета и интернета вещей ресурса спутников на ГСО не хватит для всех потенциальных абонентов, и необходимо увеличить предложение



Проект первой широкополосной низкоорбитальной системы спутниковой связи и передачи данных TELEDESIC (США)

2

KA Teledesic



KA Teledesic T1



Оператор системы	Teledesic Corp. (США)
Зона обслуживания	Глобальная
Число ИСЗ (орбита)	288 (низкая круговая)
Параметры орбиты	$H=1375$ км, $i=98,2^\circ$
Срок службы ИСЗ	10 лет
Мощность солнечных батарей	11,6 кВт
Масса спутника	800 кг
Рабочий диапазон частот (Ka):	прием: 18.8-19.3 ГГц, передача - 28.6-29.1 ГГц
Число лучей	64
Пропускная способность ИСЗ,	13,3 Гбит/с
Межспутниковая радиолиния:	
рабочий диапазон частот	60 ГГц
пропускная способность	1,531 Гбит/с
Стоимость системы	9 млрд. долл.

В рамках системы Teledesic вся земная поверхность условно делится на фиксированные участки (~20 000) размером 160x160 км, каждый из которых в свою очередь состоит из 9 сот. Один спутник может одновременно обслуживать до 64 больших участков (то есть 576 малых) с поддержкой до 128 тыс. базовых каналов на одну соту. Реальное число обслуживаемых участков зависит от положения спутника на орбите. Фактически, он работает с наземными терминалами, попадающими в зону его передающего луча. Каждый спутник сможет обмениваться данными по каналам

межспутниковой связи ISL (Intersatellite Links, ISL) с ближайшими соседями. Проект привлек 10 компаний по всему миру, вложивших суммарно около 4 млрд долл. В феврале 1998 года на ракете-носителе Pegasus-XL был запущен прототип спутника системы Teledesic - Teledesic T1. Однако 01.10.2002 г. работы по созданию спутниковой системы Teledesic были официально приостановлены. **Причины неудачи проекта системы Teledesic:**

- активная экспансия сетей сотовой связи, которая оказалась дешевле, компактнее и доступнее спутниковой;
- отложенный запуск сервиса, не достаточное внимание дилеров к продвижению будущего продукта;
- банкротство аналогичных фирм Iridium (66 спутников) и Globalstar (48 спутников);
- проблемы с дешевым развертыванием спутниковой системы (провал варианта с выводением KA Teledesic на российских конверсионных РН SS-18 по цене 7 млн. долл. за пуск, стоимость спутника – 10 млн. долл.);
- ошибки управления (отсутствие единого мнения внутри управленческого аппарата, финансовая

Оператор системы	Iridium Satellite LLC
Зона обслуживания	Глобальная
Число ИСЗ (орбита)	66 + 6÷7 резервных
Параметры орбиты	$H=781$ км, $i=86,4^\circ$ (резервные спутники – на $H=650$ км), 6 плоскостей
Срок службы ИСЗ	7 лет
Мощность солнечных батарей	1430 Вт
Масса спутника	680 кг
Рабочий диапазон частот:	Телефон — спутник (L-диапазон) 1616 — 1626,5 МГц Спутник — наземная станция (K-диапазон) 19,4 — 19,6 ГГц Наземная станция — спутник (K-диапазон) 29,1 — 29,3 ГГц
Число лучей	48 лучей (6 АФАР по 8 лучей)
Пропускная способность ИСЗ,	Скорость передачи цифрового потока в L-диапазоне при телефонной связи составляет 4800 бит/с, при передаче данных — 2400 бит/с.

Межспутниковая радиоперехват:

Сегмент управления системой включает три основных элемента: четыре узла телеметрии, слежения и управления (ТТАС), расположенными в Аризоне и на Аляске (США), в Йеллонайфе и Иквалуите (Канада), сеть эксплуатационной поддержки и оперативный центр спутниковой сети (SNOC), расположенный в Вирджинии (США), со шлюзами в Аризоне и на Гавайях.



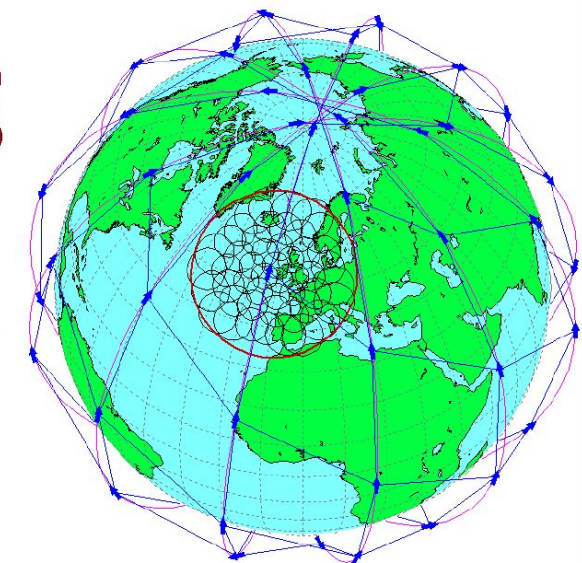
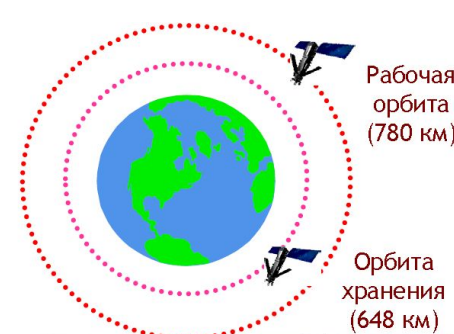
Спутник Iridium

Система Iridium была введена в эксплуатацию 1 ноября 1998 года. Группировка КА состояла из 66 основных и 6 резервных спутников. Однако через 9 месяцев, - 13 августа 1999 года, - компания Iridium Communications начала процедуру банкротства.

Сервис был снова запущен в 2001 году вновь созданной компанией Iridium Satellite LLC, принадлежавшей группе частных инвесторов. Несмотря на оценку спутников, оборудования и собственности Iridium в 6 млрд. долл. инвесторы приобрели компанию за 25 млн. долл.

Сигнал, поступивший с телефонной трубки на ближайший спутник, передается на наземную базовую станцию, которая проверяет право использования услуг системы и вновь направляет сигнал на ближайший спутник Iridium.

Сигнал, полученный от наземной базовой станции, по каналам межспутниковой связи передается абоненту, который может находиться в любом месте Земли.



Оператор системы	Iridium Satellite LLC
Зона обслуживания	Глобальная
Число ИСЗ (орбита)	66 + 9 резерв
Параметры орбиты	H=780 км, i= 86,4° , 6 плоскостей
Срок службы ИСЗ	15 лет
Мощность солнечных батарей	2200 Вт
Масса спутника	860 кг
Рабочий диапазон частот:	Телефон — спутник (L-диапазон) 1616 — 1626,5 МГц Наземная станция — спутник (К-диапазон) 29,1 — 29,3 ГГц
Число лучей	48 лучей (6 АФАР по 8 лучей)
Пропускная способность ИСЗ,	До 128 кбит/с для мобильных терминалов и до 1,5 Мбит/с для терминалов класса Iridium Pilot marine (L - диапазон); до 8 Мбит/с для фиксированных/мобильных терминалов (Ka-диапазон)
Межспутниковая радиолиния:	
рабочий диапазон частот:	К-диапазон: 23,18 — 23,38 ГГц
пропускная способность:	10 Мбит/с
Стоимость системы	2,9 млрд. долл.

Iridium NEXT сохранит существующую «ячеистую» архитектуру орбитальной группы из 66 взаимосвязанных низкоорбитальных спутников, обеспечивая высокое качество передачи голоса и данных на всей поверхности планеты с покрытием океанов, линий воздушного сообщения и полярных широт.

В космосе каждый спутник Iridium NEXT взаимосвязан с 4-мя другими (с 2-мя в той же орбитальной плоскости и 2-мя в соседних плоскостях), образуя при этом единую динамическую ретрансляторную сеть с маршрутизацией трафика между спутниками, которая обеспечивает непрерывность соединения с сетью в любой точке Земли.

Эта **уникальная конфигурация без промежуточного приземления сигнала на наземные станции защищает соединения, делая их не подверженными таким стихийным бедствиям как ураганы, цунами и землетрясения, от которых всегда в первую очередь страдают**



Новые услуги:

- Гибкое использование пропускной способности.
- Передача голосовых данных повышенного качества.
- Услуги спутникового вещания и сетевого сервиса.
- Услуги диапазонов Ka-band.
- Частные сетевые станции сопряжения.
- Новое поколение спутников полностью совместимо со спутниками первого поколения.



- 1 – аппаратура AireonSM (глобальное слежение за воздушными судами)
- 2 – панель солнечной батареи
- 3 – антенна межспутниковой связи (Ka-диапазон)
- 4 – антенна основной нагрузки (L-диапазон)
- 5 антенны фидерного тракта (Ka-диапазон)

Аппараты Iridium NEXT также будут нести дополнительную полезную нагрузку для Aireon, Inc., которая получает данные системы ADS-B (англ. Automatic Dependent Surveillance-Broadcast – автоматическое зависимое наблюдение-вещание, используемое летчиками и авиадиспетчерами для управления воздушным движением) и сервиса FlightAware – для использования авиакомпаниями.

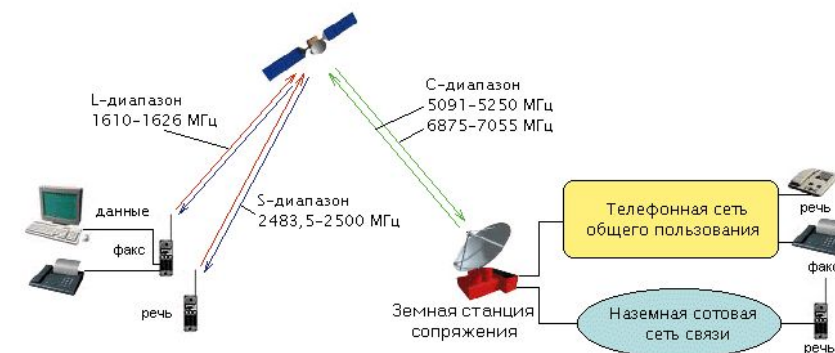
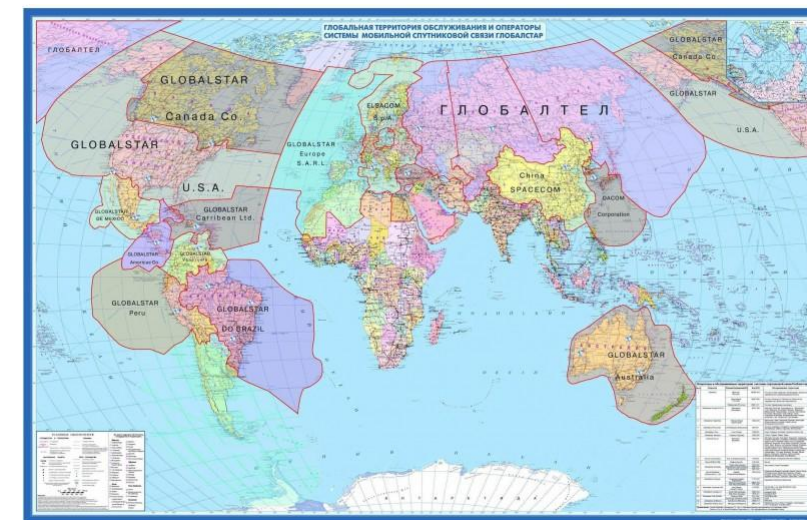
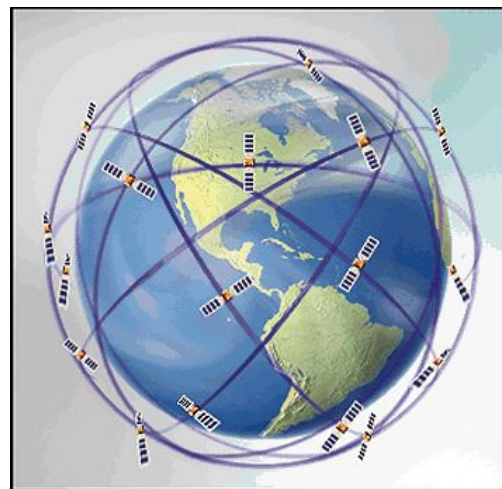
Оператор системы	Globalstar, Inc
Зона обслуживания	Квазиглобальная: 80% поверхности Земли (от 70° N до 70° S).
Число ИСЗ (орбита)	48 + 4 резервных
Параметры орбиты	H= 1414 км, i = 52°, 8 плоскостей
Срок службы ИСЗ	7,5 - 10 лет
Мощность солнечных батарей	1100 Вт
Масса спутника	450 кг
Рабочий диапазон частот:	Прием: 1610,0 — 1626,5 МГц (L- диапазон) и 5091,0 — 5250,0 МГц (S-диапазон). Передача: 2483,5 — 2500,0 МГц (S-диапазон) и 6875,95 — 7052,9 МГц (C - диапазон).
Число лучей	16 лучей
Пропускная способность ИСЗ,	Голосовая связь и низкоскоростной Интернет (9,6 Кб/с).
Задержка сигнала	< 150 мс

Межспутниковая радиолиния:

Связь между спутниками отсутствует

К 2007 г. выявилась проблема деградация усилителя S-диапазона вследствие прохождения спутников через **Бразильскую магнитную аномалию** на высоте орбиты 1414 км

Проект Globalstar был запущен в 1991 году как совместное предприятие корпораций Loral и Qualcomm. 24 марта 1994 года два спонсора объявили о формировании ТОО Globalstar с финансовым участием восьми других компаний, в том числе Alcatel, AirTouch, Deutsche Aerospace, Hyundai и Vodafone. В 2000 г. началась коммерческая эксплуатация 48 спутников и 4 резервных в Северной Америке, Европе и Бразилии. В феврале 2002 г. компании-операторы подали добровольные ходатайства в о банкротстве. После реструктуризации в 2004 г. была образована фирма Globalstar, Inc. В 2007 Globalstar запустила восемь дополнительных запасных спутников первого поколения в космос.



Наземный сегмент включает центр управления наземной сетью (GOCC), центр управления орбитальным сегментом (SOCC), сеть национальных и региональных станций сопряжения. Станции сопряжения являются важнейшей составной частью системы спутниковой связи Globalstar. С помощью них предоставляются надежные телекоммуникационные услуги связи для абонентов по всей зоне обслуживания.

Станции сопряжения осуществляют соединение абонентов через спутники со стационарными и сотовыми сетями телефонной связи. Т.е. они являются пунктами соединения между спутниковой системой связи Globalstar и существующими наземными сетями. Станции сопряжения содержат центры коммутации с базами данных, обеспечивают регистрацию и доступ абонентов к сети.

ОЗВ - первая действующая негеостационарная (среднеорбитальная) НТС-система

Оператор системы	SES (O3b Networks)
Зона обслуживания	Зона обслуживания в широтной полосе до 45 град (граничный угол места 20 град)
Число ИСЗ (орбита)	До 16
Параметры орбиты	$H = 8063 \text{ км}$, $i = 0^\circ$,
Срок службы ИСЗ	7,5 - 10 лет
Мощность солнечных батарей	1100 Вт
Масса спутника	700 кг
Рабочий диапазон частот:	Вверх: 27,6 – 29,1 ГГц Вниз 17,8 – 19,3 ГГц (Ka - диапазон).
Число лучей	16 лучей
Пропускная способность ИСЗ,	До 16 Гбит / с на спутник
Задержка сигнала	< 150 мс



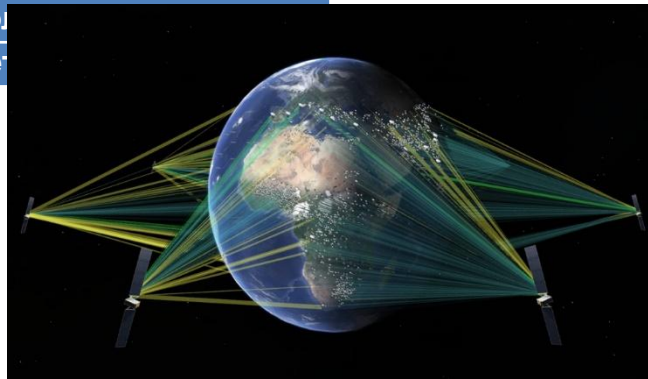
O3b – космическая группировка коммуникационных спутников компании “O3b Networks”, для обеспечения высокоскоростного недорогого доступа в интернет и услуг мобильной связи. Спутники разрабатывались на заказ компанией “Thales Alenia Space”.

В апреле 2016 года O3b Networks продала контрольный пакет акций спутниковому оператору **SES** (Société Européenne des Satellites, Люксембург).

Главное достоинство O3b – малая задержка сигнала по сравнению с геостационарными спутниками (по оценкам экспертов SES до 20% международного рынка передачи данных для систем правительственной, мобильной и корпоративной связи сильно зависит от степени задержки сигнала).

SES планирует нарастить группировку до глобальной системы **O3b mPOWER** следующего поколения. В сентябре 2017-го компания заключила контракт с американской корпорацией Boeing на строительство первых 7 сверхмощных спутников этой системы. После запуска в 2021-ом они должны покрыть 80 % поверхности Земли. Аппараты обеспечат около 10 терабит общей пропускной способности.

В гарантированную зону радиовидимости (ГЗРВ) группировки (угол места 20 град) входят 7 станций сопряжения



Сравнение орбиты O3b с орбитой ГСО

- в 4.8 раза ближе к Земле по сравнению с ГСО (высота орбиты 8,062 км)
- более низкая стоимость запуска, несколько спутников на один запуск
- на 13 дБ ниже потери распространения по сравнению с ГСО
- улучшение бюджета радиолинии
- в 20 раз ниже требования к мощности по сравнению с ГСО, основываясь на снижении потерь распространения
- меньшие по размеру спутники, меньше вес солнечных панелей, батарей и т.д.
- Задержка менее 150 мс (туда-обратно)
- становятся возможными большее количество услуг и применений
- Использует следящие земные станции
- Предназначены для определенных типов фиксированных и всех подвижных применений

Многофункциональная система персональной спутниковой связи (МСПСС) «Гонец-Д1М»

7

Оператор системы	АО «Спутниковая система «Гонец»
Зона обслуживания	Глобально
Число ИСЗ (орбита)	24
Параметры орбиты	$H = 1350-1500$ км, $i = 82,5^\circ$, 4 плоскости
Срок службы ИСЗ	5 лет
Мощность солнечных батарей	200 Вт
Масса спутника	280 кг
Рабочий диапазон частот:	«Космос – Земля» 387 – 390 МГц «Земля – Космос» 312 – 315 МГц
Число лучей	16 лучей
Скорость передачи данных	«Космос – Земля» 9,6; 38,4; 76,8 кбит/с «Земля – Космос» 2,4; 4,8; 9,6 кбит/с
Объем сообщения	До 500 Кбайт
Межспутниковая радиолиния:	
Связь между спутниками отсутствует	



Назначение системы:

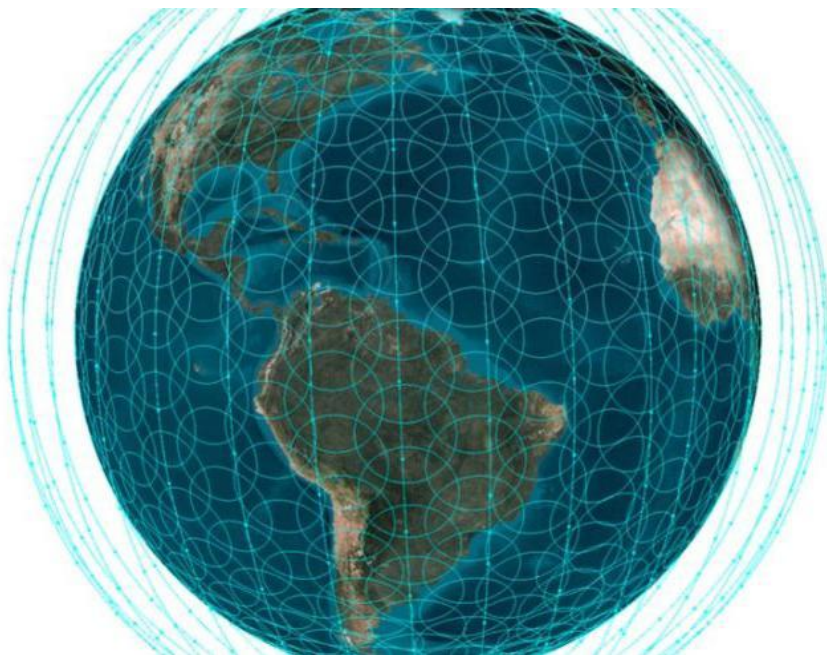
1. Обмен сообщениями в глобальном масштабе
2. Циркулярная передача сообщений группам пользователей
3. Передача данных ГЛОНАСС/GPS местоположения объектов
4. Передача телеметрической информации с контролируемых объектов в центры мониторинга



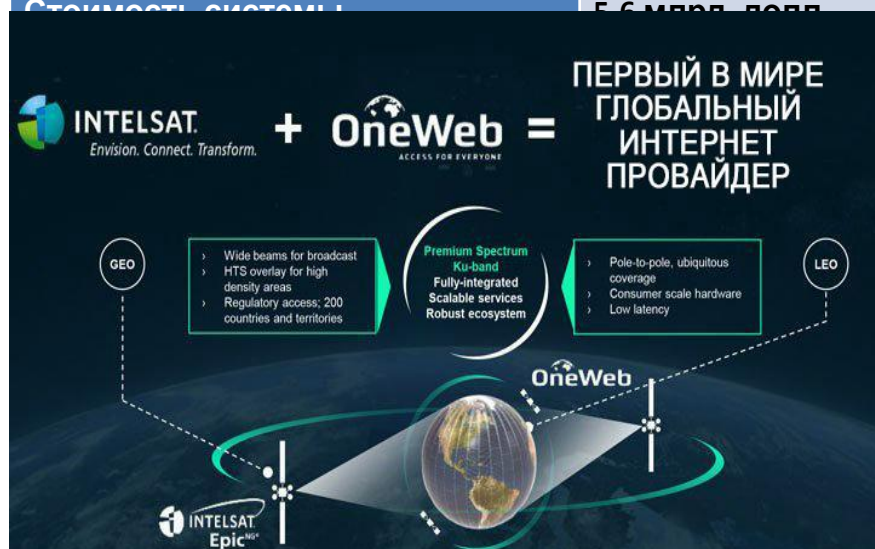
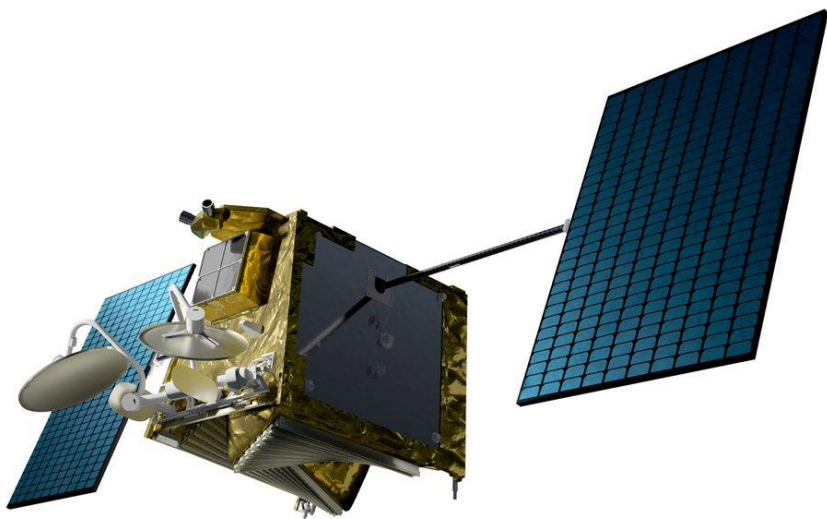
Планы по развертыванию многоспутниковых низкоорбитальных систем космических аппаратов связи

Разработчик	Предлагаемое количество спутников	Срок службы спутника (лет)	Наклонение орбиты, град.	Дата подачи заявки в FCC ⁽¹⁾	Номер заявки в FCC	Дата одобрения заявки FCC	Утвержденное количество спутников
OneWeb LEO	720	7	88	04.28.2016	SAT-LOI-20160428-00041	06.22.2017	720
	1 260	7	88	03.19.2018	Дополнительный запрос из-за изменения правил развертывания.		
OneWeb MEO	1 280	10	45	03.01.2017	SAT-LOI-20170301-00031		
	1 280	10	45	01.04.2018	Дополнительный запрос из-за изменения правил развертывания.		
SpaceX LEO	3 200	5 to 7	53, 54	11.15.2016	SAT-LOA-20161115-00118	3.29.2018	3 200
	1 225	5 to 7	70, 74, 81				1 225
SpaceX VLEO	7 518	5 to 7	42, 48, 53	03.01.2017	SAT-LOA-20170301-00027	11.15.2018	7 518
Boeing LEO	1 948	10	45, 55	06.22.2016	SAT-LOA-20160622-00058		
	1 008	10	88				
Boeing MEO	60	15	63	11.15.2016	SAT-LOA-20161115-00109		
Boeing LEO MEO	132	10	54	03.01.2017	SAT-LOA-20170301-00028		
	15	10	63				
SpaceNorway	2	15	63	11.15.2016	SAT-PDR-20161115-00111	11.03.2017	2
Telesat	45	10	37	11.15.2016	SAT-PDR-20161115-00108	11.03.2017	45
	72	10	99				72
LeoSat	84	10	99	11.15.2016	SAT-PDR-20161115-00112	11.05.2018	78
Viasat	24	20	87	11.15.2016	SAT-PDR-20161115-00120		
Karousel	12	15	63	11.15.2016	SAT-LOA-20161115-00113		
O3b	32	15	0	11.15.2016	SAT-AM D-20161115-00116 SAT-AM D-20171109-00154	06.04.2018	32
	10	15	70				10
Audacy	3	12	25	11.15.2016	SAT-LOA-20161115-00117	06.07.2018	3
Kepler	140	10	90	11.15.2016	SAT-PDR-20161115-00114	11.15.2018	140
Theia Holdings A	120	12	98, 99	11.15.2016	SAT-LOA-20161115-00121		
Astro Digital U.S.	30	15	98	05.08.2017	SAT-LOA-20170508-00071		
Total	20 220						13 045

Широкополосная низкоорбитальная система спутниковой связи и передачи данных OneWEB (Великобритания, ранее- WorldVu)



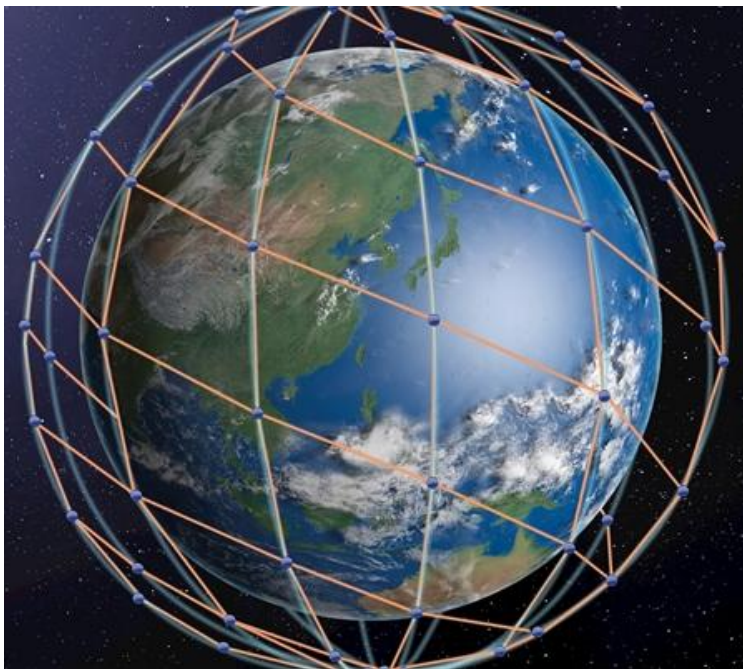
Изготовитель спутников	Airbus Defense and Space (Тулуза, Франция). После отработки технологии основное производство КА передадут в США
Зона обслуживания	Глобальная
Число ИСЗ (орбита)	720 (низкая круговая)
Параметры орбиты	H=1200 км, i=87° (18 орбитальных плоскостей по 40 КА)
Срок службы ИСЗ	7-10 лет
Мощность солнечных батарей	11,6 кВт
Масса спутника	125-150 кг
Рабочий диапазон частот:	Ku диапазон (10.7-12.7 и 14-14.5 ГГц); Ka диапазон (17.8-18.6, 18.8-19.3 и 27.5-29.1, 29.5-30.0 ГГц)
Число лучей (транспондеров)	16
Пропускная способность ИСЗ,	8,0 Гб
Пропускная способность орбитальной группировки	7,0 Тб
Межспутниковая радиолиния	Нет
Скорости, получаемые абонентом	до 50 Мбит на абонентский терминал
Стоимость системы	5-6 млрд. евро



28 февраля 2017 был опубликован сенсационный пресс релиз о предполагаемом слиянии OneWEB и Intelsat – второго спутникового оператора в мире. Слияние пока блокируется советом акционеров Intelsat.

Дата первого запуска тестового ИСЗ: начало 2019 года с десятью тестовыми ИСЗ, собранными на заводе Airbus в Тулузе, на борту ракеты "Союз", стартующей с космодрома Куру.

Широкополосная низкоорбитальная система спутниковой связи и передачи данных LeoSat (США)



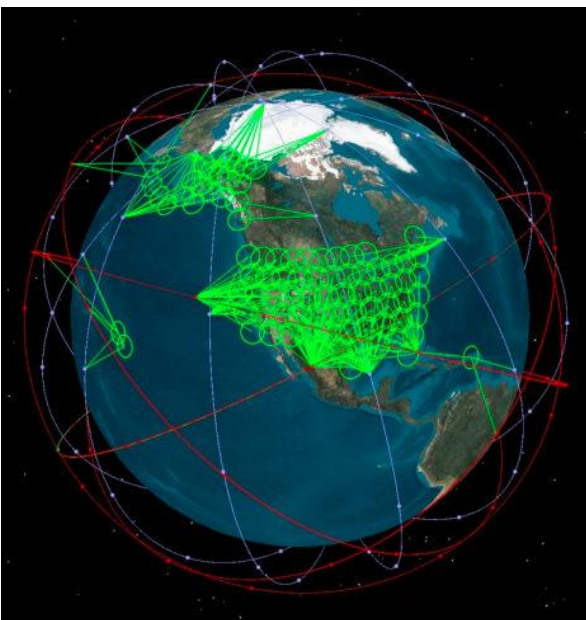
Изготовитель спутников / оператор	Thales Alenia Space (Франция-Испания), LeoSat (США)
Основные инвесторы:	Sky Perfect JSAT (Япония), HISPASAT (Испания)
Зона обслуживания	Глобальная
Число ИСЗ (орбита)	84 (78 рабочих и 6 резервных, в перспективе до 108) в 6 плоскостях на полярной орбите
Параметры орбиты	H=1400 км, i~90°
Срок службы ИСЗ	10 лет
Потребная мощность целевой аппаратуры	2,5 кВт
Масса ИСЗ при запуске	1250 кг
Рабочий диапазон частот:	Ка диапазон (18/30 ГГц)
Межспутниковая радиолиния	Есть: лазерные оптические линки на скоростях до 10 Гбит
Скорости, получаемые абонентом	От 50 Мбит до 1,6 Гбит
Наземная инфраструктура	1 или 2 гейтвея
Антенна для наземного терминала	Плоская фазированная решетка площадью 1 м ² , производитель Phasor. Стоимость - более 10 тыс. долл.
Стоимость системы	3,6 млрд. долл.



Дата первого запуска: 2 тестовых ИСЗ (Early Bird) – 2019 год, развертывание сети с 2021 по 2022 год. По последним данным, по финансовым соображениям запуск тестовых ИСЗ отменен и заменен наземными испытаниями.

LeoSat имеет самую вменяемую бизнес-модель, ориентируется на транснациональные компании (видимо, в первую очередь нефтегазовые) и предлагает им создать корпоративную сеть в космосе, полностью независимую от местных операторов и, в силу минимума гейтвеев и отсутствия точек входа в публичный интернет, максимально кибербезопасную. Для этого LeoSat пошел на очень мощные каналы межспутниковой связи, что сильно усложняет конструкцию ИСЗ. Система сможет обслуживать полярные области – Арктику и Антарктику.

Широкополосная низкоорбитальная система спутниковой связи и передачи данных Telesat LEO (Канада)



Тестовый ИСЗ LEO Vantage 1 (SSTL), массой 168 кг, запущенный 12.01.2018 индийской РН PSLV-XL на орбиту

Изготовитель спутников / оператор	Для первых 2-х тестовых ИСЗ – SSTL (британская дочка Airbus Defence and Space - Airbus), в последующем - Thales Alenia Space (Франция-Италия), MAXAR (Канада-США) / Telesat LEO (Канада)
Основные инвесторы:	Telesat (Канада), Loral Space (США)
Зона обслуживания	ИСЗ на полярной орбите обеспечивают системе глобальное покрытие, а ИСЗ на наклонной орбите ориентированы на регионы, где проживает большая часть населения планеты.
Число ИСЗ (орбита)	117 (72 на полярной орбите на высоте 1000 км и 45 ИСЗ на наклонной 37,40 градусов на высоте 1200 км). Анонсировано расширение до 259 и до 512 ИСЗ
Орбитальное построение системы	6 плоскостей на полярной орбите имеют по 12 ИСЗ каждая. 5 плоскостей на наклонной орбите по 9 ИСЗ.
Параметры орбиты	$H=1000 - 1200$ км, $i \sim 90^\circ$, $37,4^\circ$
Масса спутника	160-170 кг
Рабочий диапазон частот:	Ка-диапазон (18/30 ГГц)
Межспутниковая радиолиния	Есть
Скорости, получаемые абонентом	Не менее 1 Гбит
Наземная инфраструктура	50 гейтвеев
Антенна для наземного терминала	Планируется использовать параболические антенны диаметром от 65 см и плоские антенные фазированные решетки компании ThinKom (США)

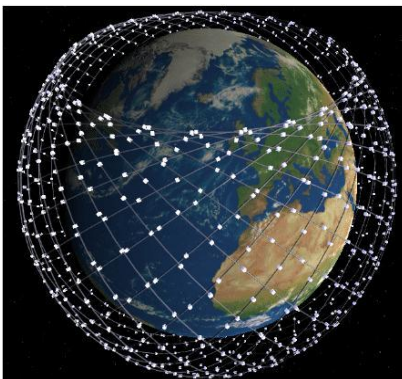
Инженерные решения, используемые в Telesat LEO (на данный момент являются самыми технологически продвинутыми и эффективными: независимый анализ, проведенный учеными MIT (Massachusetts Institute of Technology) показали, что Telesat LEO будет располагать в 4 раза большей пропускной способностью чем система StarLink (Space X) и в 10 раз больше чем OneWEB.

В ноябре 2018 года Telesat выиграл грант в размере 117 млн. долл. от DARPA по созданию разведывательной группировки на основе существующих модулей/платформ связных низкоорбитальных гражданских ИСЗ (до 90 единиц) путем оснащения их дополнительной целевой нагрузкой. За счет серийности производства гражданских ИСЗ ожидается значительное снижение стоимости разведывательной группировки. Программа получила название **Blackjack**.

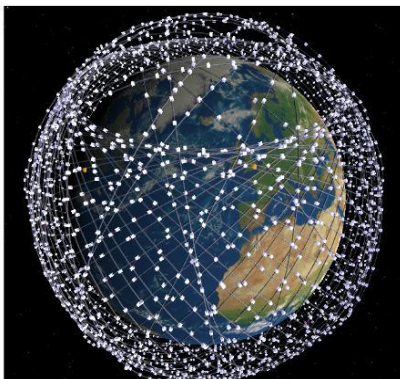
30 млрд. долл. (до 90 единиц) путем оснащения их дополнительной целевой нагрузкой. За счет серийности производства гражданских ИСЗ ожидается значительное снижение стоимости разведывательной группировки. Программа получила название **Blackjack**.



Широкополосная низкоорбитальная система спутниковой связи и передачи данных StarLink (США)



Фаза 1



Фаза 2



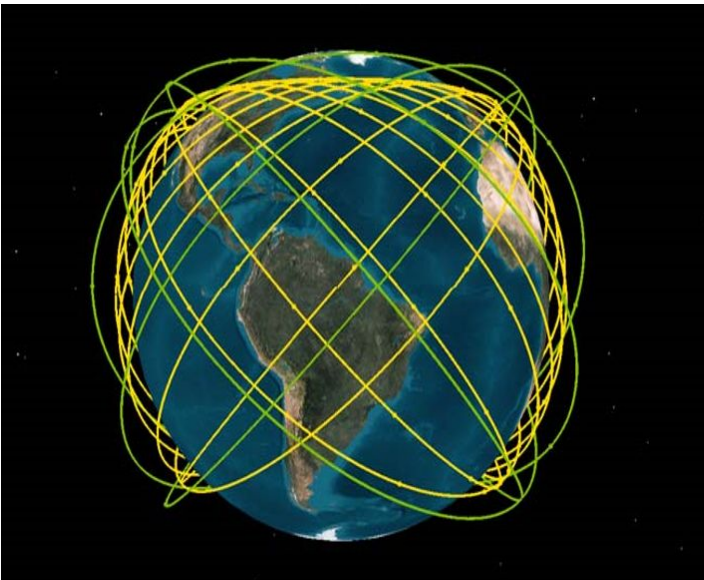
Первые два тестовых спутника – Microsat-2a и Microsat-2b – были успешно запущены 22.02.2018 г. ракетой носителем F9 как попутная нагрузка. Впоследствии они были переименованы в TinTin A и TinTin B.

Цель проекта Starlink — создание дешёвого и высокопроизводительного спутникового интернет-канала связи и технических передатчиков для приёма и передачи сигнала с Земли и орбиты. Разработка проекта началась в 2015 году. В прошлом году были успешно запущены тестовые прототипы спутников. К 2017 году SpaceX представила нормативные документы для запуска в общей сложности почти 12000 спутников на орбиту Земли к середине 2020-х гг. Первичное использование спутников намечено в период 2019-2020 гг.

SpaceX также планирует продавать спутники системы Starlink для исследовательских и научных целей.

Изготовитель спутников	SpaceX (завод в Рэдмонде)
Основные инвесторы:	SpaceX и его акционеры (Google и Fidelity)
Зона обслуживания	В перспективе глобальная, но на первом этапе - без приполярных областей.
Число ИСЗ (орбита)	4425 (первая итерация проекта, ноябрь 2016 г.) 7518 (вторая заявка, март 2017 г.) В настоящее время – 1574 (первая фаза)
Орбитальное построение системы	24 орбитальных плоскости по 66 ИСЗ (первая фаза)
Параметры орбиты	H=550 км, $i \sim 53^\circ$ (первая фаза)
Масса ИСЗ при запуске	386 кг (тестовый)
Рабочий диапазон частот:	Ку-диапазон (10.7-12.7 и 14-14.5 ГГц) для передачи сигнала от ИСЗ на абонентский терминал; Ка-диапазон (17.8-19.3 и 27.5-30.0 ГГц) для передачи информации от наземного телепорта (гейтвея) на ИСЗ; V диапазон – на второй фазе проекта
Межспутниковая радиолиния	В первой заявке предполагалась, но в последнем варианте, одобренном FCC в ноябре 2018 для первого этапа, SpaceX от них отказался.
Скорости, получаемые абонентом	Не менее 1 Гбит
Наземная инфраструктура	До 3500 гейтвеев на узлах ВОЛС для подключения к интернету. Станции управления TT&C (tracking, telemetry and commands) параболическими антеннами диаметром 5 м должны быть равномерно распределены по всему земному шару.
Пропускная способность системы	20-21 Тбит и при наличии межспутниковых каналов связи, и 10 Тбит при отсутствии межспутниковых каналов
Количество лучей (транспондеров)	8 в направлении от ИСЗ к гейтвею, 4 - в направлении от гейтвея к ИСЗ
Антенна для наземного терминала	Плоские антенные фазированные решетки
Стоимость системы	10,0 млрд. долл. (по данным СМН)
Стоимость терминала	От 100 до 300 долл.

Широкополосная низкоорбитальная система спутниковой связи и передачи данных Boeing NGSO (США)



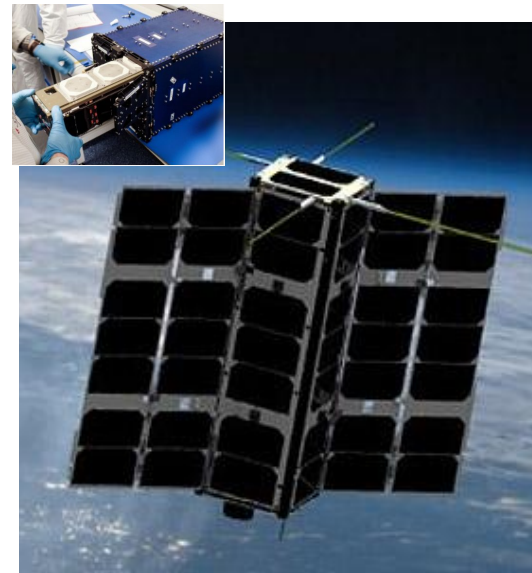
Изготовитель спутников	Boeing
Основные инвесторы:	Boeing, Apple (?)
Зона обслуживания	Глобальная
Число ИСЗ (орбита)	1 этап – 1396, 2 этап - 2956
Орбитальное построение системы	35 круговых орбитальных плоскостей с наклоном 45° и 6 дополнительных круговых орбитальных планов с наклоном 55°
Параметры орбиты	H=1030 - 1082 км, i = 45° и 55° (первая фаза) H= 970 км, i = 88° (вторая фаза)
Рабочий диапазон частот:	V-диапазон: 37,5–42,5 ГГц (космос-Земля) и 47,2– 50,2; 50,4–52,4 ГГц (Земля-космос)



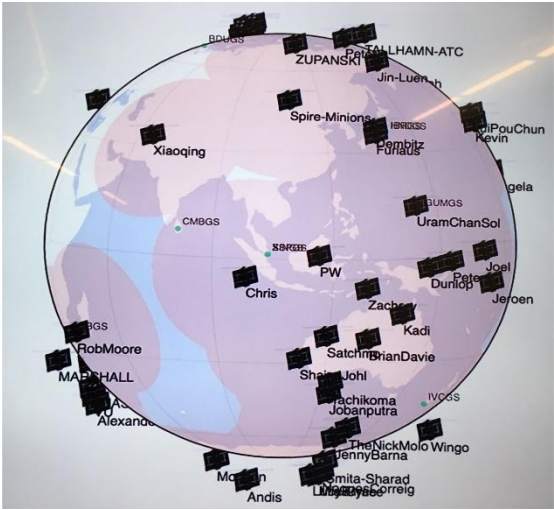
Каждый спутник системы будет формировать лучи, соответствующие диаметрам сот от 8 до 11 км на поверхности Земли в пределах общей площади покрытия КА. Системные шлюзы NGSO будут работать в том же V-диапазоне, что и земные терминалы. Эти шлюзы будут использовать как частотную, так и поляризационную селекцию сигналов (с режимами LNCР и RNCР). Кроме того, антенные сайты шлюзов доступа могут содержать более одной антенны, тем самым обеспечивая одновременный доступ к множеству спутников NGSO, видимых со шлюза.

Космическая система ДЗЗ (метео- и АИС) компании Spire Global (МКА

Лемур 1-2)

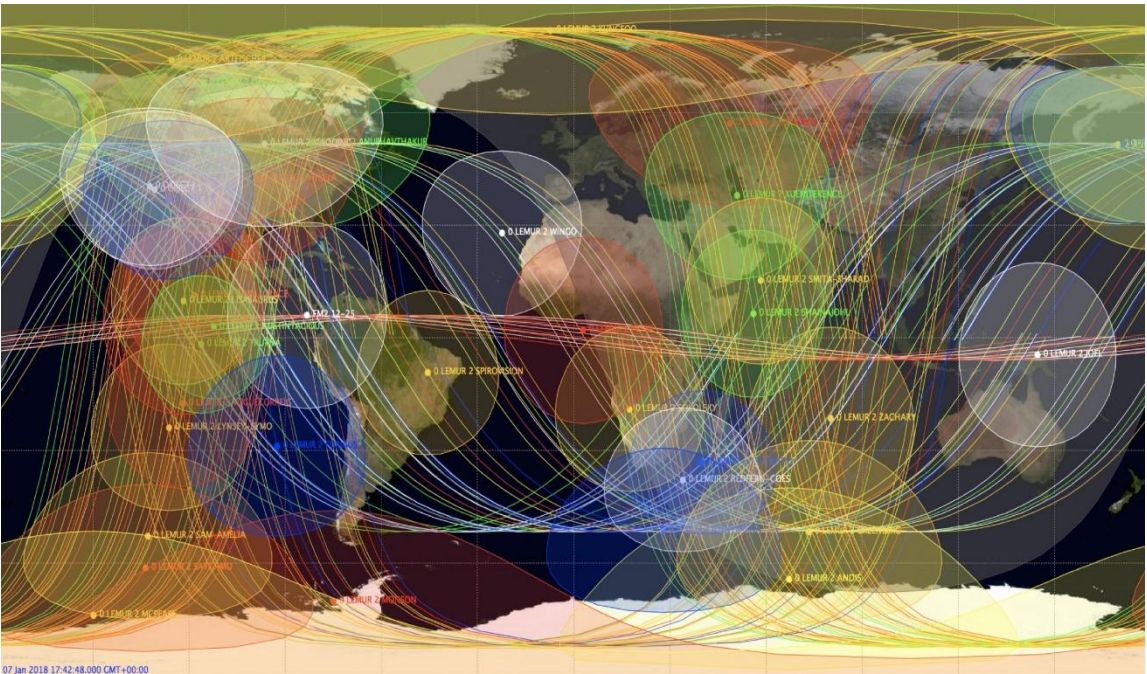


Спутник Lemur-2

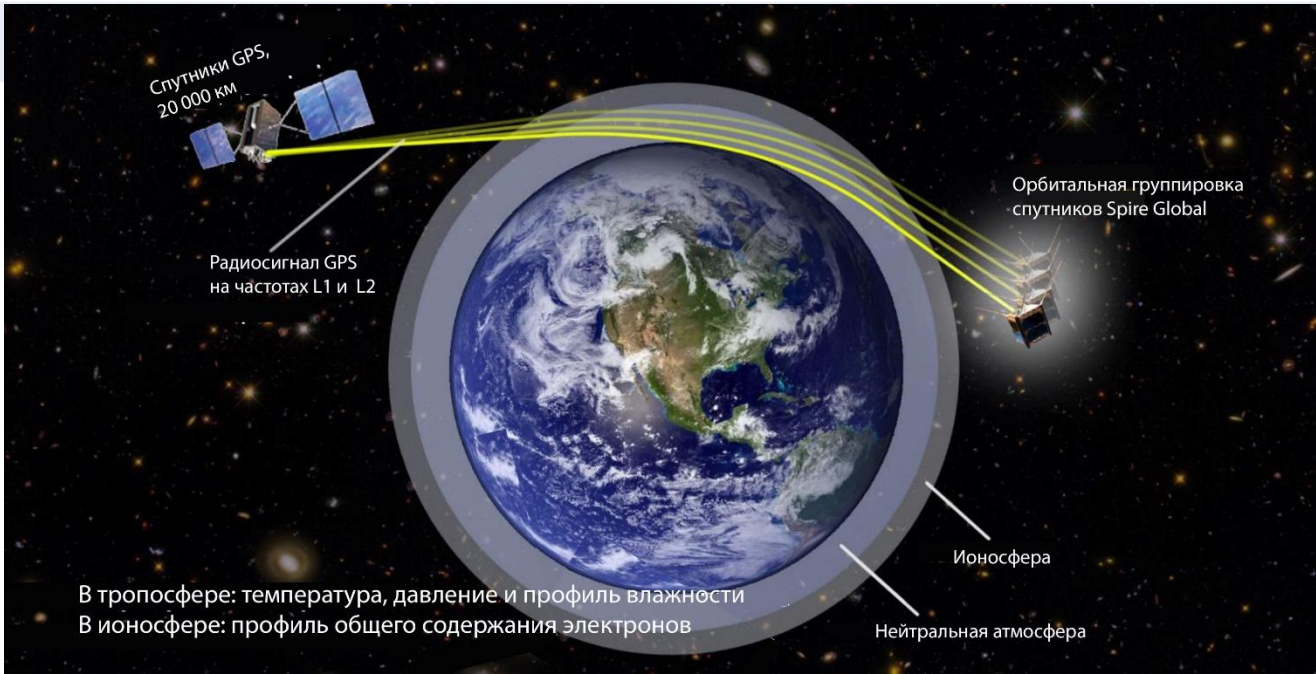


Группировка спутников Spire на 10 января 2019 г.

Разработчик	Spire Global Inc., Сан-Франциско, Калифорния, США
Разрешение:	порядка 3...5 м.
Полезная нагрузка	STRATOS - аппаратура GPS-радиозатменного зондирования атмосферы SENSE - аппаратура системы идентификации судов и самолетов (АИС)
Орбиты:	Высота орбиты - 400-600 км Наклонение орбиты - 0°, 51,6°, 83° и 85°
Численность орбитальной группировки	76 (175 наноспутников - в полностью развернутом состоянии)
Способ выведение на орбиту	Попутный запуск с борта МКС и практически на любых доступных ракетах-носителях
Масса	4,6 кг
Габариты (при старте)	34,5 x 10 x 10 см (кубсат 3U)



28 наземных станций Spire



Принцип радиозатменного зондирования атмосферы

Космическая система ДЗЗ компании Planet (МКА Flock-1,2,3,4)

1
5



170 спутников расположены на орбите равномерно таким образом, чтобы обеспечить непрерывную съемку поверхности Земли



Сеть земных станций

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 ¼ литра. **Эксперты прогнозируют до 2022 года запуск нескольких тысяч малых спутников наблюдения**

Земная станция S/X-диапазона в Brewster, шт. Вашингтон



Разные антенны на одной площадке



Разработчик:	Planet, Сан-Франциско, Калифорния, США.
Разрешение:	порядка 3...5 м.
Ширина полосы захвата	20 км
Орбиты:	а) орбита МКС, б) солнечно-синхронная, высотой порядка 600 км
Численность орбитальной группировки	170 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)

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 ¼ до 9/10.



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)

Ценовые проблемы перспективных низкоорбитальных систем передачи данных

Основные элементы спутниковой системы	Заявленная цена	Способ достижения заявленных ценовых показателей
Стоимость производства спутника	500 тыс. долл. и ниже	Создание завода для серийного производства спутников
Стоимость абонентского терминала Проблемы:	100–300 долл. для системы SpaceX 250 долл. для системы OneWeb	Серийное производство фазированных антенных решеток для абонентских терминалов

1. Большое количество спутников в системе определяет уровень начальных инвестиций, - не менее 3 млрд. долл. Но скорее всего инвестиции в создание орбитальной группировки и наземное оборудование должны будут превышены в несколько раз (именно так и произошло при создании более простых систем Iridium (77 спутников) и Globalstar (52 спутника); конечные инвестиции в эти системы превзошли плановые в 6-7 раз).

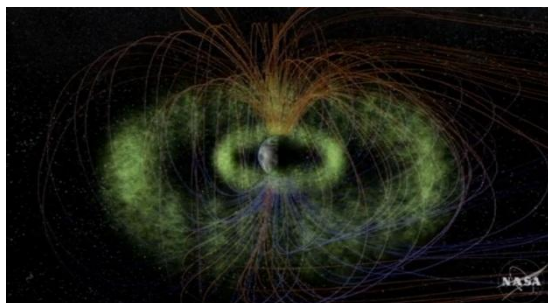
2. Себестоимость антенной системы абонентского терминала (результаты анализа):

- для системы OneWeb - 7700 долл. (ФАР передающая 18x18см, АФАР приемная 36x36 см);
- для системы SpaceX - 750 долл. (ФАР передающая 13x13 см, АФАР приемная 22x22 см).

Заявленная стоимость абонентского терминала 100–300 долл. недостижима в обозримой перспективе. Компания Kymeta разрабатывает антенны типа ФАР с электронным управлением лучом, цена которой для приемо-передающего режима не менее 2 тыс. долл. (1 тыс. долл. за антенну).

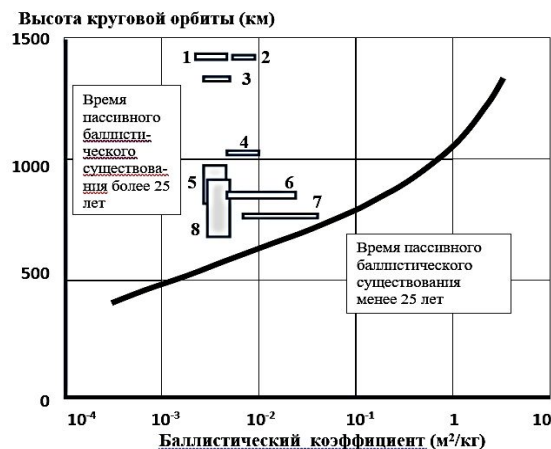
Проблема техногенного загрязнения околоземного космического пространства

Выбор орбит для низкоорбитальных спутниковых систем передачи данных



Внутренний (протонный) радиационный пояс - в области орбит высотой от 2 до 6,5 тыс. Внешний (электронный) пояс - в области высот примерно от 13 до 42 тыс. км. На высотах от 19 до 22 тыс. км формируется третий пояс.

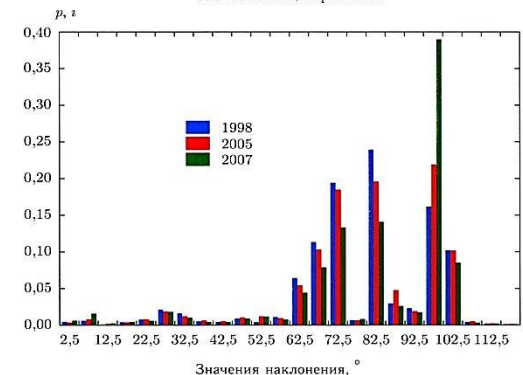
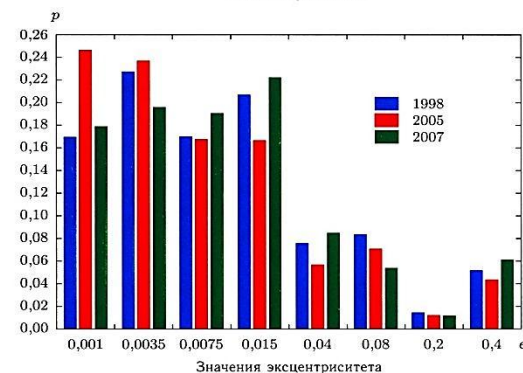
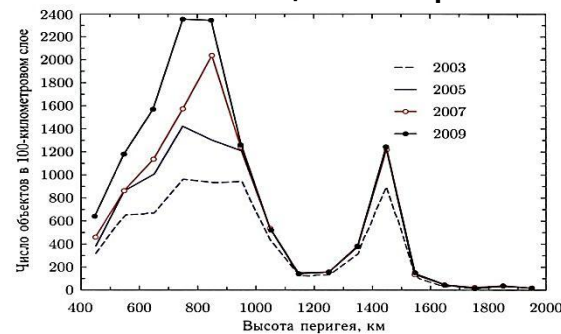
Рабочие высоты низкоорбитальных спутниковых систем связи лежат в диапазоне от 700 км до примерно 1600 км. Нижнее значение ограничено торможением в остаточной атмосфере, верхнее – радиационными поясами.



Времена пассивного баллистического существования малых космических аппаратов:

1 - Globalstar; 2 - Гонец; 3 - KitSAT-1, S80/T; 4 - Badr B, Maroc Tubsat; 5 - ITAMSAT, TEMISAT (проекты); 6 - Orbcomm; 7 - Picosats; 8 - PoSAT, VoSAT, KitSAT-2

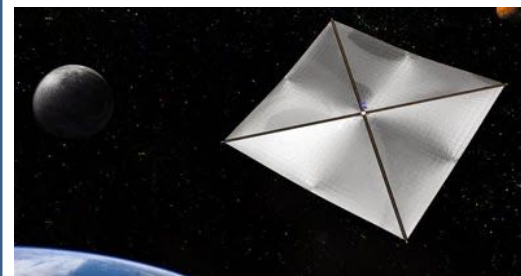
Оценка засоренности низких орбит



Из распределения высот перигея видно, что число КО наиболее интенсивно увеличивалось в диапазоне высот 600-900 км. В высотном слое от 700 до 900 км число каталогизированных КО выросло за 6 лет в 2.5 раза.



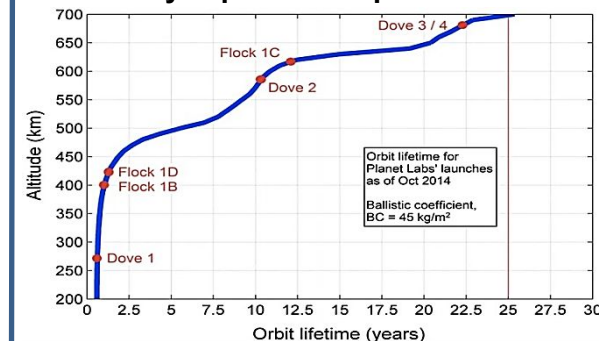
Многие учёные считают, что в некоторых орбитальных областях и для некоторых классов космического мусора (например, на высотах 900–1000 км и 1500 км) начался каскадный эффект (эффект Д.Кesslera)



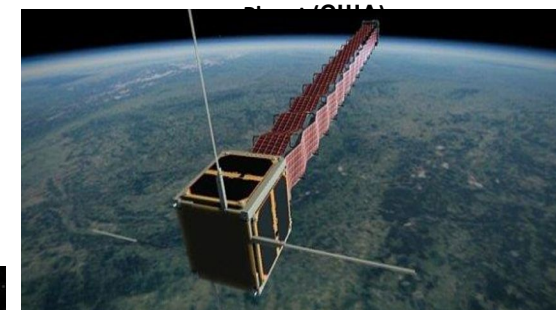
Солнечный парус безопасности для увода МКА NanoSail-D2, прекративших активное существование, с рабочей орбиты (ЕКА)

Закончившие активное функционирование низкоорбитальные объекты должны быть уведены на орбиту с расчетной продолжительностью пассивного баллистического существования не более 25 лет (Рекомендации МКМ), ГОСТ ГОСТ Р 52925-2018).

Пути решения проблемы



Срок пассивного существования КА Flock и Dove, созданных и запущенных компанией Planet Labs



МКА PW-Sat с атмосферным парусом, напоминающем гравитационную штангу (Польша)

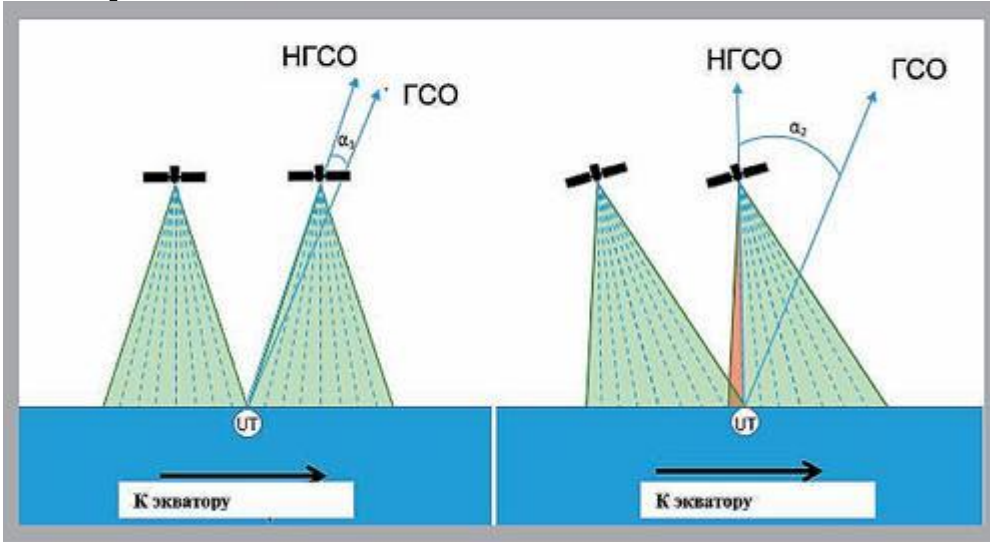


Аэродинамическое устройство увода КА с рабочей орбиты по технологии Gossamer Orbit Lowering Device (США): а – уводимый с орбиты космический аппарат; б – надувной баллон.

Проблема электромагнитной совместимости низкоорбитальных систем спутниковой связи с системами спутниковой связи на геостационарной и высокоэллиптических орбитах (по В.Р.Анпилову)

Низкоорбитальные спутники связи и передачи данных создадут помехи для земных станций (выше норм, определенных в регламенте радиосвязи). Особо значима эта проблема в диапазоне частот Ku (12,5-18 ГГц).

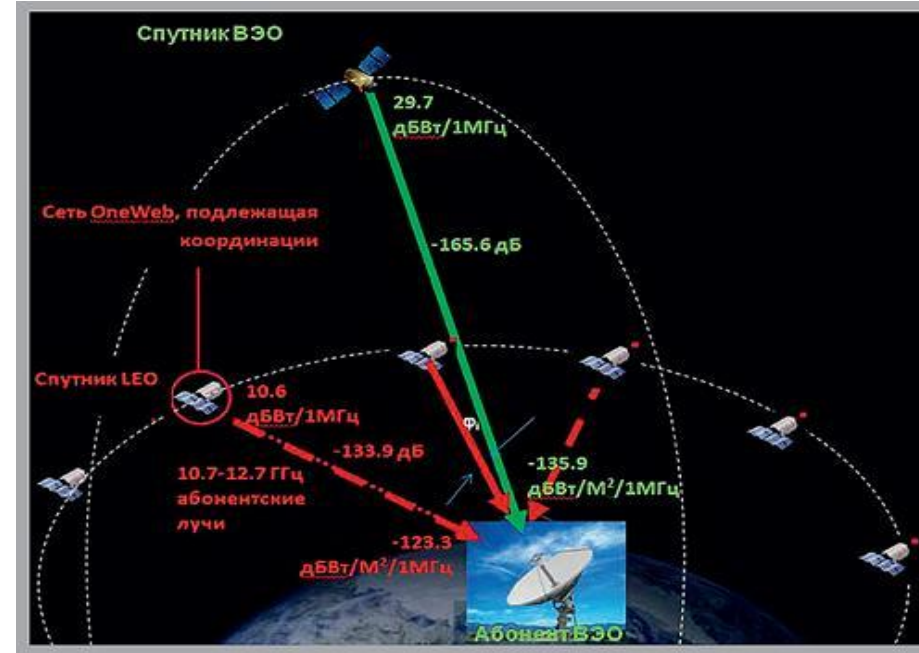
Проблема ЭМС для систем на



Способ решения проблемы

Компания OneWeb предложила решить эту задачу путем подворота спутников по тангажу в период их пролета в экваториальной зоне. До момента подлета спутника к экваториальной зоне КА переориентируется по тангажу примерно на 10 град. с целью обеспечения необходимого угла α . После пролета экватора спутники подворачиваются по тангажу в противоположную сторону. В момент пересечения плоскости экватора все лучи спутника выключаются. Однако операторы геостационарных систем не согласились с этим решением компании OneWeb.

Проблема ЭМС для систем на



Результат оценки уровня помехи в Ku-диапазоне, создаваемой спутником OneWeb, для земных станций приема информации со спутника на орбите типа «Тундра»

Помеха даже от одного спутника OneWeb на 12,6 дБ превышает уровень принимаемого сигнала: $I/C = +12,6$ дБ. В таких условиях прием информации со спутника ВЭО невозможен.

Для обеспечения приема следует снизить помеху примерно на 22 дБ: $I/C < -10$ дБ. Это достигается, если угол между осевым излучением луча OneWeb и направлением на приемную станцию (антенна 0,4 м) спутника ВЭО будут более 6 град., т.е. $\theta_i > 6$ град. Однако из-за большого числа спутников выполнить это условие в любой момент времени невозможно.

Проблема ЭМС между собственными спутниками на НОО не имеет

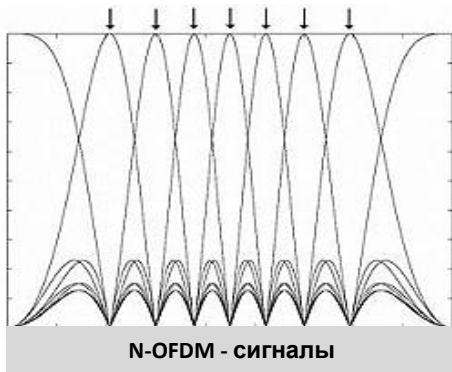
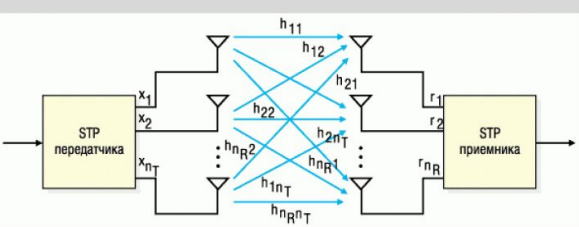
Проблема электромагнитной безопасности низкоорбитальных группировок космических аппаратов передачи данных, использующих стандарт 5G

Частотные диапазоны в 5G



Ключевые технологии для реализации сетей сотовой связи

Блок-схема системы MIMO



3. Технология N-OFDM - вид частотного мультиплексирования (Non-Orthogonal Frequency Division Multiplexing - неортогональное мультиплексирование с разделением частот). Отсутствие жесткой привязки частот поднесущих к максимумам АЧХ синтезированных с помощью БПФ частотных фильтров создает предпосылки для повышения помехозащищенности радиолиний передачи данных.

Технология 5G предполагает использование крайне высокочастотного, сложно модулированного сигнала частотой до 90 ГГц, цифровые антенные фазированные решетки и более плотную сеть базовых станций (с частотой 200-300 метров). Реализация сетей 5G означает постоянное воздействие КВЧ-излучений на человека.

№ пп	Частота, ГГц	Результат исследований	Пояснения
1		Электросмог	Постоянная насыщенность зоны обитания КВЧ и СВЧ полями
2	60	Влияние на кожу. Физическая боль, кожные заболевания, рак	Более 90% передаваемой мощности поглощается в слое эпидермиса
3	60	Влияние на глаза	Повреждение хрусталика и сетчатки
4	53-78	Влияние на сердце	Аритмия
5	42	Эффекты иммунной системы	Нарушение неспецифического иммунитета
6		Влияние на скорость роста клеток E-coli и других бактерий	Подавление роста
7		Влияние на устойчивость патогенных микроорганизмов к антибиотикам	Комбинация КВЧ-излучений и антибиотиков приводит к резистентности патогенов по отношению к антибиотикам
8		Влияние на растения	Симптомы некроза листьев растений. Признаки того, что 5G для растений более опасен, чем для человека
9		Вредное воздействие на окружающую среду космических запусков	Количество пусков ракет, загрязняющих окружающую среду и разрушающих озон, резко увеличится
10		Нарушение состояния естественных экосистем	Сокращение популяции пчел. Поражение, нарушение путей миграции и местообитаний птиц

указывает на специфическую особенность взаимодействия живых систем с излучением миллиметрового диапазона и глубинную природу данного явления. Однако до настоящего времени не сформирована общепринятая научная точка зрения на физическую природу механизма взаимодействия КВЧ-излучения с биологическими объектами.

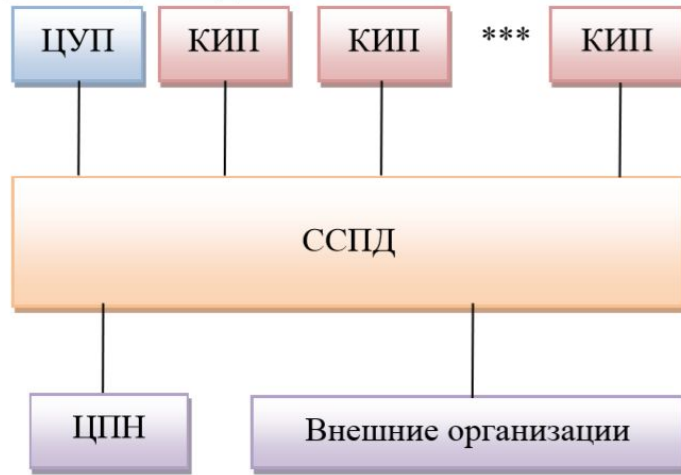
В 2011 году Международное агентство по изучению рака, входящее во Всемирную организацию здравоохранения, классифицировало радиочастотное излучение как потенциальный канцероген.

Международное общество «Врачи за охрану окружающей среды» и его отделения в 27 странах призывают остановить развитие сетей 5G с их радиочастотным излучением. Медики называют 5-е поколение сотовых технологий грандиозным экспериментом над здоровьем человека.

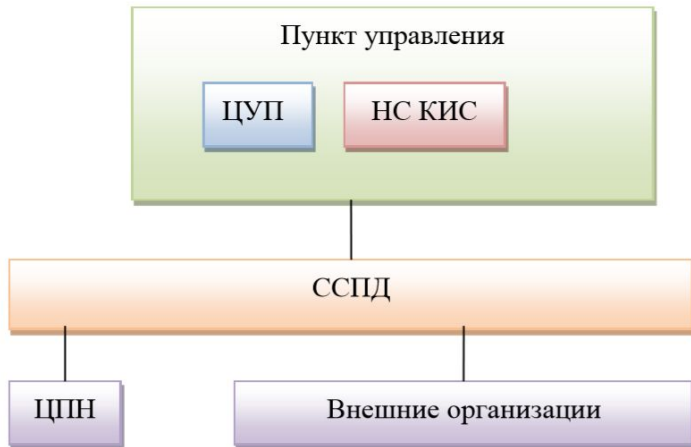
1. Технология Massive MIMO (Massive Multiple-Input-Multiple-Output) - метод пространственного кодирования сигнала, позволяющий увеличить полосу пропускания канала и скорость передачи трафика. Для передачи данных используются две и более цифровые антенные решетки и такое же количество антенных решеток для приема. Передающие и приёмные антенны размещены настолько близко, чтобы достичь минимального взаимного влияния друг на друга между соседними антеннами.

2. Технология beamforming - автоматическое формирование луча диаграммы направленности в сторону абонента.

Проблема управления большой орбитальной группировкой космических аппаратов



Структурная схема многопунктных НКУ



Структурная схема однопунктного НКУ

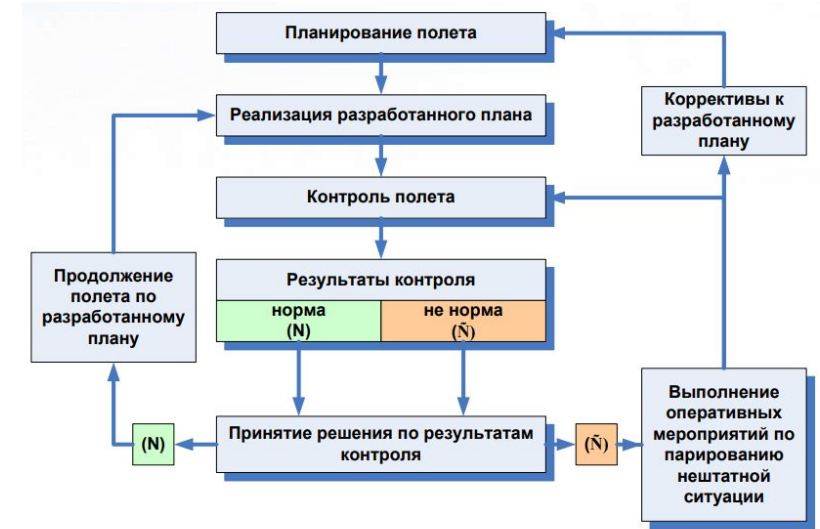
Функциональные задачи наземного контура управления:

1. Автономно решаемые задачи:

- непрерывный телеметрический и обобщенный тестовый контроль БКУ и функционирования бортовых систем;
- непрерывный контроль решения навигационных задач на борту по информации контрольных станций и функционирования навигационно-временного комплекса;
- метрологическое обеспечение согласования единиц измерения в системе;
- вычисление положения земной системы координат и относительной спутниковой;
- моделирование функционирования бортовых систем, подготовка программных решений целевых задач.

2. Неавтономно решаемые задачи:

- поиск неисправностей и восстановление бортовых комплексов;
- целевое программирование бортовых систем;
- совмещение решения целевых задач и задач управления;
- закладка новых программ и новых алгоритмов управления.



Управление полетом КА

Командно-программное управление КА – это реализация запланированных операций КА наземным комплексом управления с использованием командной радиолинии и бортового комплекса управления КА. Под операциями в данном случае нужно понимать совокупность управляющих воздействий на КА, «объединённых единым замыслом и направленных на достижение заданной цели».



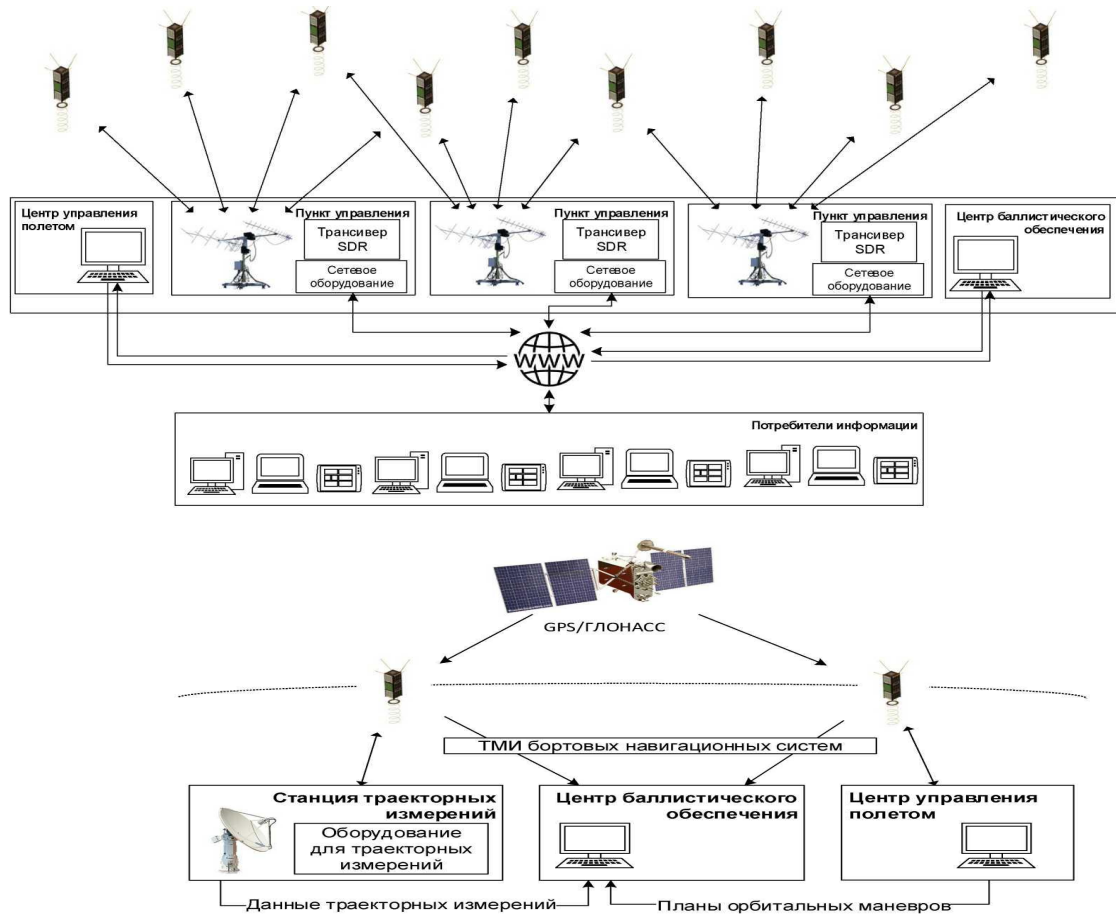
Обобщенная схема радиотехнической приемно-передающей системы

КИП - командно-измерительный пункт
ССПД - система связи и передачи данных
ЦПН - центр планирования наблюдений
НС - наземная станция
КИС - командно-измерительная система

Проблема управления большой орбитальной группировкой космических аппаратов

Проблема управления крупномасштабными группировками космических аппаратов (>100) не решена !

2
1



Наземный комплекс управления:

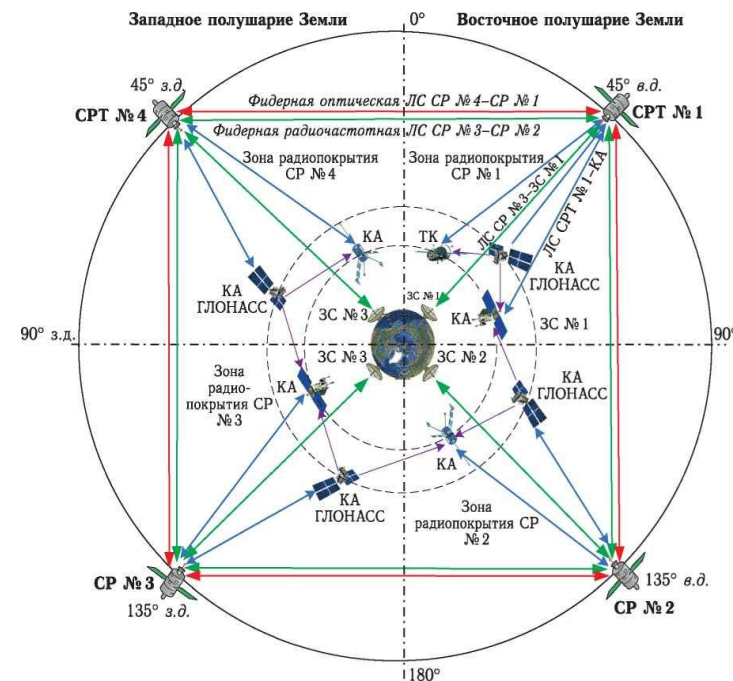
- Единая сеть спутниковых станций
- Информационная инфраструктура обеспечения коллективного доступа к управлению и целевой информации

Баллистический центр – задачи:

- Одновременное обслуживание большого числа спутников
- Унифицированный управляемый доступ к спутникам большого количества пользователей
- Баллистическая координация спутников

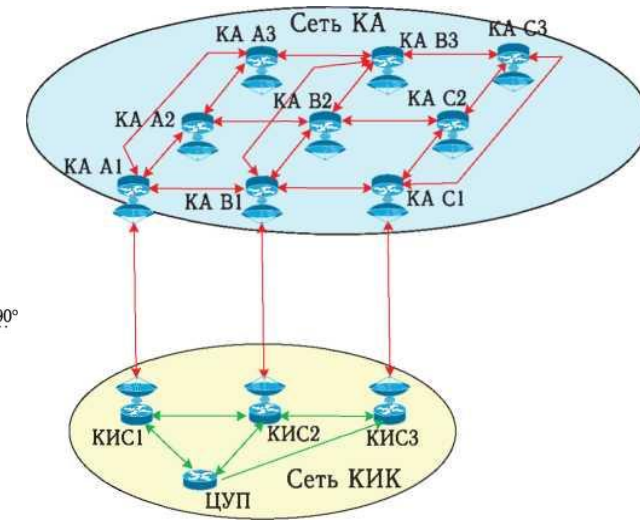
Прогнозирование опасных сближений

Перспективная наземная инфраструктура управления многоспутниковой орбитальной группировкой на основе использования интернет-портала с защищенными каналами удаленного доступа (предложения АО «РТИ»)



Орбитальный сегмент схемы организации связи с КА через 4 геостационарных спутника-ретранслятора

Концепция создания орбитальных группировок, КА которых связаны межспутниковыми радиолиниями, позволит управлять всей орбитальной группировкой в режиме квазиреального времени. Таким образом, орбитальная группировка будет представлять собой цифровую сеть передачи данных, каждый КА которой будет выступать в роли спутника-ретранслятора для передачи информации управления на любые КА, а также в роли объекта управления.



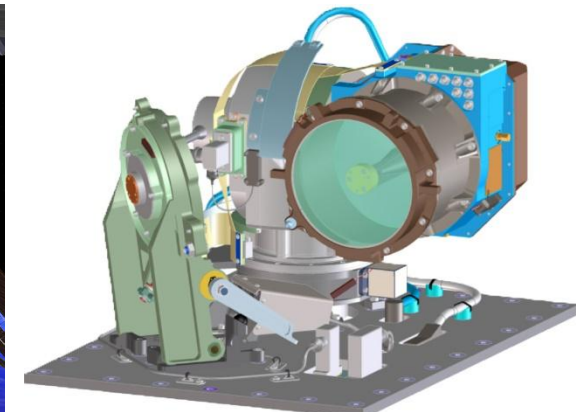
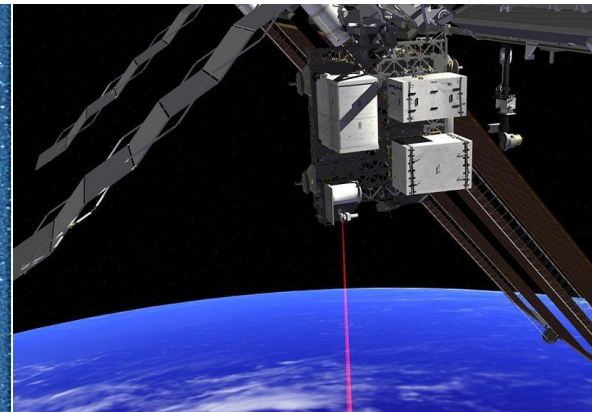
Сетевая архитектура сети управления полетом орбитальной группировки

Управление полетом космических аппаратов одной орбитальной группировки с применением межспутниковых радиолиний (предложения АО «РКС»)

Лазерные спутниковые системы передачи данных

2

Проект	Концепция проекта	Среда	Сценарий передачи данных	Скорость передачи данных	Разработчик	Статус
Европейская система передачи данных (European Data Relay System, - EDRS)	Передача данных на спутники GEO со спутников наблюдения Земли LEO и для разведывательных, наблюдательных и разведывательных миссий	GCO, HOO	Космос-космос	1.8 Гбит/с	Tesat-Spacecom	Экспл.
Лазерная связь (Laser Light Communications)	Спутниковая группировка для глобальных телекоммуникаций, создающая оптическую магистраль передачи данных в космосе	Средняя орбита	Космос-космос, космос-Земля	100 Гбит/с	Ball Aerospace & Technologies	Создание
BridgeSat	Прямая передача данных дистанционного зондирования с низкой орбиты на Землю	HOO	Космос-Земля	1 Гбит/с	Surrey Satellite Technology	Создание
Cloud Constellation	Безопасное хранение данных на спутниках и безопасные межспутниковые соединения	HOO	Космос-космос			Создание
LeoSat	Большая спутниковая группировка для глобальных телекоммуникаций	HOO	Космос-космос		Thales Alenia Space	Создание
SpaceX Starlink	Большая спутниковая группировка для глобальных телекоммуникаций	HOO	Космос-космос			Создание
Telesat LEO constellation	Большая спутниковая группировка для глобальных телекоммуникаций	HOO	Космос-космос			Создание
Analytical Space	Космическая гибридная радиочастотная / оптическая сеть ретрансляции данных спутников наблюдения Земли	HOO	Космос-Земля			Создание
Google Loon	Телекоммуникации для сельских и отдаленных районов на основе сети стратосферных аэростатов	Стратосфера	Воздух-воздух	0,155 Гбит/с		Создание
Facebook Aquila	Телекоммуникации для сельских и отдаленных районов на основе сети стратосферных платформ	Стратосфера	Воздух-воздух, Воздух-земля	10 Гбит/с	Mynaric	Создание
Airborne Wireless Network	Телекоммуникации и развлечения в полете, предоставляемые сетью коммерческих самолетов	Тропосфера	Воздух-воздух	10 Гбит/с	Mynaric	Создание



Первая система спутниковой лазерной связи Laser Light

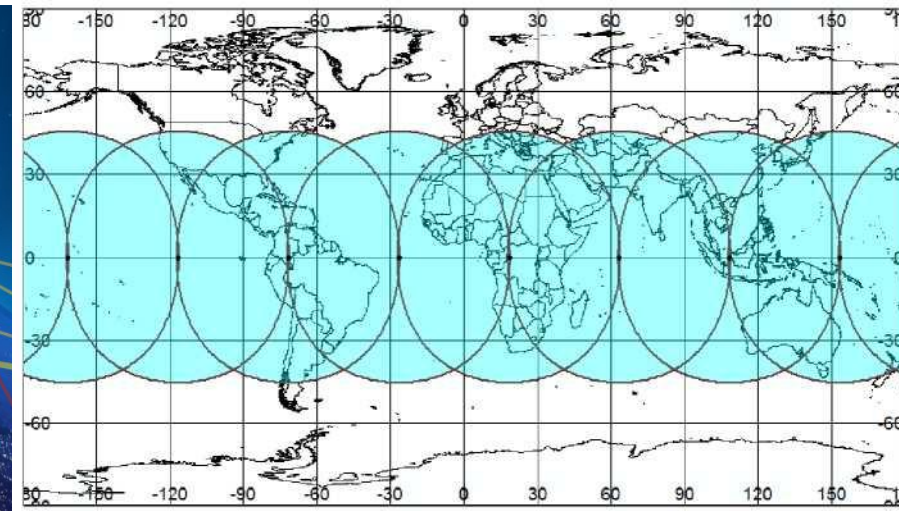
2
3

Оператор системы	Iridium Satellite LLC
Зона обслуживания	Глобальная
Число ИСЗ (орбита)	8-12
Параметры орбиты	$H=8050$ км, $i=0^\circ$, 1 плоскость
Срок службы ИСЗ	15 лет
Мощность солнечных батарей	? Вт
Масса спутника	? Кг
Рабочий диапазон частот:	191.6 - 196.5 ТГц (1525-1565 нм)
Число линий	72 лазерных абонентских линии на скоростях до 100..200 Гбит/с (вверх и вниз)
Пропускная способность системы	6 Тбит/с
Межспутниковая связь:	
Лазерная, 48 межспутниковых лазерных линий	
пропускная способность	200 Гбит/с (для одной линии)

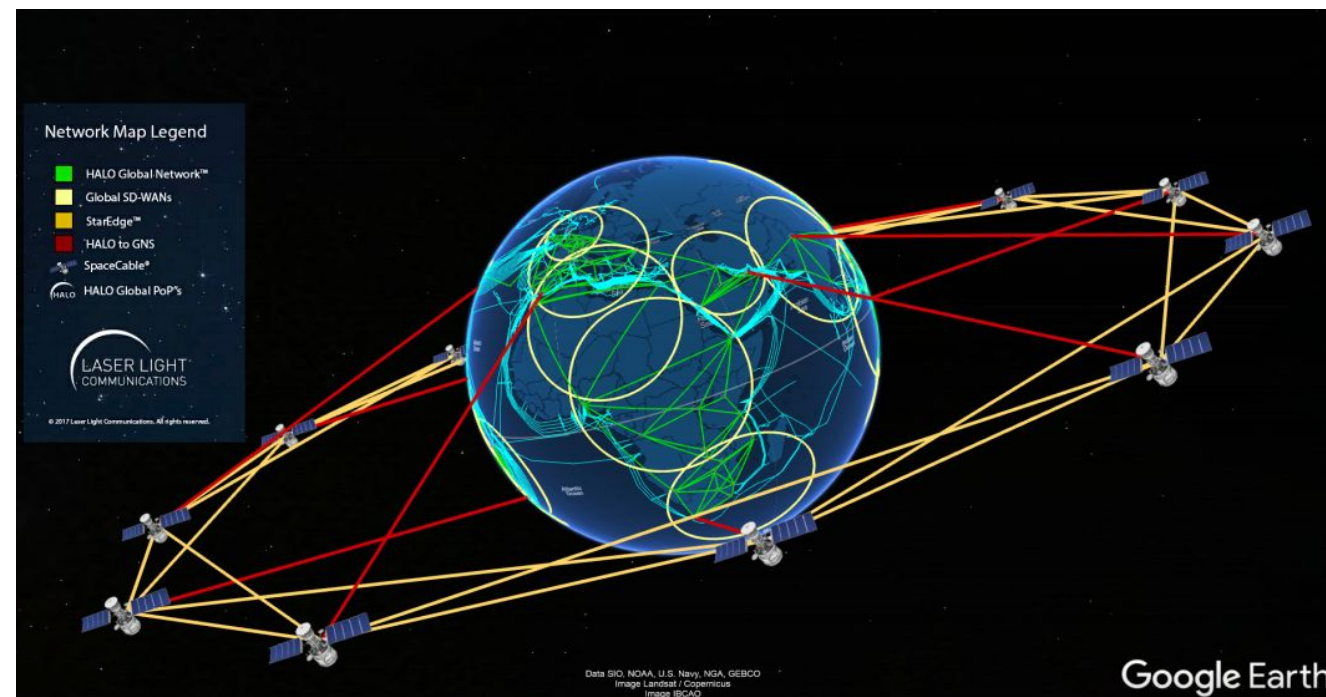
В 2014г фирма Laser Light Communication сообщила о начале работ по созданию полностью оптической космической системы связи, включающей в себя от 8 до 12 КА, расположенных на экваториальной орбите высотой 10000км. Скорость передачи информации в системе - 200Гбит/с, как между КА, так и между КА и наземными пунктами. Вывод первых КА должен состояться в 2019-2021 гг.

Характеристики наземного сегмента:

- число шлюзовых станций: 48 - 96;
- интеграция спутниковой и наземной лазерной сети;
- доступность канала - от 20% до 99% в зависимости от местности и числа станций сопряжения.



Мгновенная зона видимости системы (угол места=20 град)



Структура ОГ системы Laser



Спасибо за внимание!

