

Основные направления концепции создания системы спутниковой связи на низкоорбитальных спутниках ретрансляторах

Докладчик: Пантелеймонов И.Н.

Авторы: д.т.н. проф. Потюпкин А.Ю., Пантелеймонов И.Н., Боцева В.В.



Существующие в настоящее время проблемы по обеспечению широкополосного доступа (ШПД) в Internet с носимого (персонального) абонентского терминала (АТ):

- отсутствие радиопокрытия СПС 2G, 3G и 4G в малонаселенных и малодоступных местах (горная местность, моря и океаны, полярные и приполярные области);
- высокая степень уязвимости БС СПС при природных и техногенных катастрофах, при ведении боевых действий;
- в существующих СППСС на персональные АТ осуществляется только низкоскоростная передача данных;
- высокоскоростная передача данных возможна только через крупногабаритные стационарные или автомобильные терминалы.

Существующие в настоящее время проблемы по обеспечению управления полетом ОГ КА:

- ❑ традиционная технология управления полётом КА позволяет выдавать управляющие воздействия на один КА только во время нахождения КА в ЗРВ КИС, что не позволяет обеспечить выполнение требований к непрерывности и оперативности управления, а также - неэффективна при управлении многоспутниковыми ОГ;
- ❑ применение СР на ГСО решают эту проблему, но вырастают задержки и энергозатраты в ЛС.

Существующие в настоящее время проблемы по обеспечению управления полетом БПЛА:

- низкий радиус действия наземных станций - до 100 км;
- отсутствие глобальности;
- высокая уязвимость наземных станций при природных, техногенных катастрофах.

Все зарубежные СПСС обладают следующими недостатками:

нельзя применять для обеспечения связи в силовых ведомствах;
опасность отключения абонентов в случаях объявления санкций.

Конкурентами данного проекта являются следующие действующие зарубежные СПСС:

1) “Thuraya”, имеющая следующие недостатки:

применяет в качестве СР геостационарные СР и поэтому не может применяться в приполярных и полярных областях, качество связи сильно зависит от рельефа местности, обладает большими задержками и высокими энергетическим затратами:

не обеспечивает ШПД в Internet или ведомственные сети;

2) “Globalstar”, недостатками которой является:

– не обеспечивает глобальности покрытия Земного шара, т.к. не имеет МЛС и имеет наклонение орбиты 52°;

– не обеспечивает ШПД в Internet или ведомственные сети;

3) “Iridium”, имеющая следующие недостатки:

точки доступа к широкополосному спутниковому каналу связи, работающие на остронаправленную антенну типа фазированная антенная решетка (ФАР) в L-диапазоне, которые имеют значительные массогабаритные характеристики, делающие их не носимыми, а возимыми и, кроме того, обеспечивающие не высокую скорость передачи информации (до 1 Мбит/сек);

4) “Inmarsat”, недостатками которой является:

– не обеспечивает ШПД в Internet или ведомственные сети.

5) Действующие системы подвижной спутниковой связи (СПСС) “Orbcomm” и “O3b”, а так же развертываемая СПСС “OneWeb” не обеспечивают прием информации на малогабаритный носимый АТ и являются сетями коллективного доступа.

Проектируемая отечественная СПСС «Марафон IoT» не обеспечивает режим телефонии и не предоставляет ШПД в Internet или ведомственные сети.

- создание единой многоярусной (гибридной) системы подвижной персональной связи и системы персональной спутниковой связи;
- применение группировки низкоорбитальных (НО), выведенных на полярную (солнечносинхронную) орбиту, для обеспечения полного радиопокрытия Земли ;
- создание персонального АТ, обеспечивающего широкополосный доступ в сеть Internet и ведомственные ЛВС в любой точке Земного шара;
- применение и адаптация современных радиоинтерфейсов и сетевых протоколов.

Новизна проекта:

Создание отечественной СППСС, обеспечивающей современными сервисами услуг связи (широкополосный доступ в сеть Internet или ведомственные сети, цифровая телефония, SMS-сообщения и IoT/M2M) в любой точке Земного шара для широкого круга потребителей на небольшой носимый АТ.

Цель работы

- ❖ создание в околоземном пространстве спутниковой цифровой сети передачи данных (SatWAN);
- ❖ интеграция сети персональной подвижной спутниковой связи с наземной сетью подвижной связи на правах функционального дополнения СПС в местах отсутствия базовых станций (БС);
- ❖ создание единой многоярусной системы связи:
 - 1 ярус – наземные проводные и радиосети (ВОЛС, СПС и РРЛ);
 - 2 ярус – СППСС на низкоорбитальных спутниках ретрансляторах (НСР);
 - 3 ярус – сети подвижной спутниковой связи на среднеорбитальных спутниках ретрансляторах (ССР);
 - 4 ярус – сети подвижной спутниковой связи (ССС) на геостационарных и высокоэллиптических спутниках ретрансляторах (ГСР и ВСР)

- телефония, передача SMS-сообщений со скоростью до 12 кбит/с для коммерческих абонентов и государственных служб;
- доступ в сеть Интернет, передача данных, IP-телефония, видеоконференцсвязь (ВКС) со скоростью до 2 Мбит/с на носимый АТ;
- защищенный доступ в ведомственные сети передачи данных (СПД);
- передача информации АТ, работающим только на прием;
- ретрансляция ИУ полетом и ЦИ БПЛА, самоходных радиоуправляемых машин, механизмов и роботов;
- ретрансляция ИУ полетом и ЦИ КА многоспутниковых ОГ,
- прием информации от радиодатчиков и автономных телеметрических систем и передача информации измерений в центр обработки (IoT, M2M, телемедицина, трекинговые системы наземного транспорта);
- мониторинг морского транспорта по сигналам автоматической идентификационной системы (АИС);
- мониторинг воздушного транспорта автоматического зависимого наблюдения в широкоэвещательном режиме (АЗН-В).

Применение технологий

- ❖ защиты канала удаленного управления работой каналаобразующего оборудования;
- ❖ применение технологии защиты информации и аутентификации;
- ❖ применение технологии зональной регистрации;
- ❖ применение технологии запроса на предоставление канала связи, высокий коэффициент доступности всем абонентам в служебном канале передачи;
- ❖ способ назначения IP-адресов :
- ❖ применение технологий приоритезации трафика, приоритезации абонентов и много путевой маршрутизации);
- ❖ применение технологий автоматической регулировки мощности излучения, видов модуляции и скорости кодирования;
- ❖ применение протоколов много путевой адаптивной маршрутизации;
- ❖ применение технологии выбора спутника-ретранслятора для регистрации;
- ❖ применение двух модульного модема спутниковой связи в составе АТ :
- ❖ применение технологии приема на МНА в S-диапазоне баллистической информации о движении СР для наведения ОНА в Ka-диапазоне на выбранный спутник-ретранслятор «безшовной» эстафетной передачи;
- ❖ управления полетом много спутниковых группировок по межспутниковым линиям связи (МЛС);
- ❖ применение SCADA-системы для сбора обработки и трёхуровневой технологии отображения информации в ЦУП и ЦУС;
- ❖ применение технологии управления полетом много спутниковых группировок с использованием в качестве ретрансляторов низкоорбитальных спутников, связанных между собой межспутниковыми линиями связи

Сетевая архитектура:

- 1) каждый НСР в сети межспутниковой связи имеет связь с четырьмя соседними НСР, находящимися как в одной ОП так и в соседних ОП;
- 2) поверхность Земного шара покрывается сетью НСР с глобальным покрытием;
- 3) сети передачи данных:
 - локальная сеть каждого НСР – это его абонентская радиолиния с АТ;
 - глобальная сеть – это межспутниковые и фидерные радиолинии;
- 3) Логическое значение НСР:
 - для АТ – это БС и ЛК, шлюз по умолчанию (DG), DNS-сервер, сервер баз данных зарегистрированных абонентов, сервер баллистической информации НСР;
 - для других НСР и шлюзовых станций (ШС) – это маршрутизатор;
- 4) Назначение портов маршрутизатора НСР:
 - 1 порт в локальной сети, состоящий из множества подинтерфейсов, представляющие собой лучи многолучевой АС абонентской радиолинии (АРЛ) – для связи с АТ;
 - 4 порта в глобальной сети – для связи с другими НСР;
 - 1 порт в глобальной сети – для связи с ШС.

Назначение абонентской радиолинии – линии связи между НСР и АТ.

2) Диапазоны:

- S-диапазон – для низкоскоростной передачи данных: передача данных в служебном канале и передачи SMS-сообщений, цифровая телефонии.
- Ka-диапазон – для высокоскоростной передачи данных, обеспечивающей широкополосный доступ в сеть Internet.

Бортовые антенные систем (АС):

- приемные и передающие многолучевые АФАР на каждый диапазон по две АС, всего 4-е АФАР;
- размещение антенных систем (АС) на борту НСР - по оси +Z;
- тип: аналоговые конформные 4-х модульные АФАР по 12-18 лучей с коэф. усиления по 25 дБ; многолучевая система шедовых антенн или система многолучевых зеркальных антенн

Схема организации связи ССС на НСР

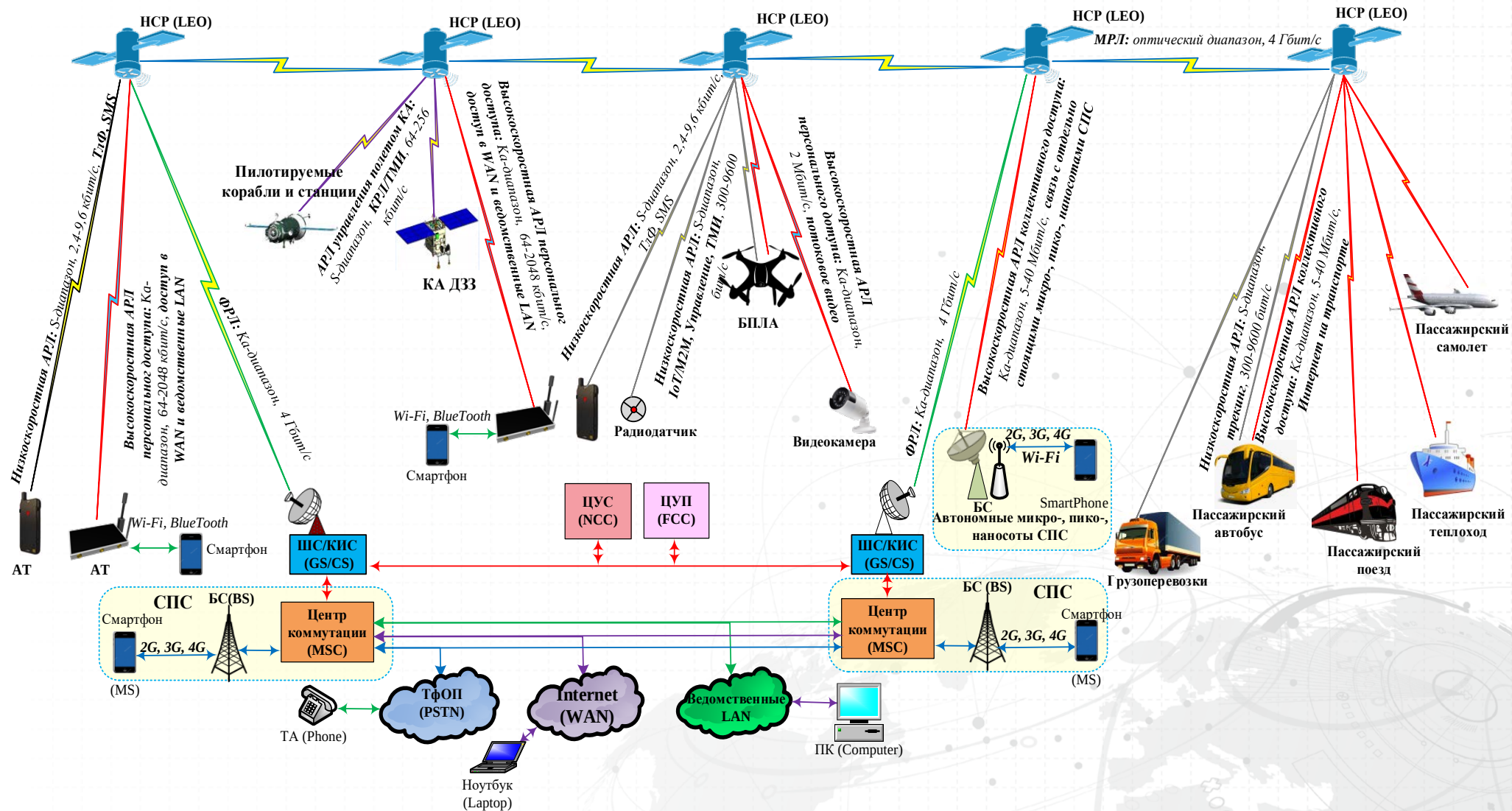
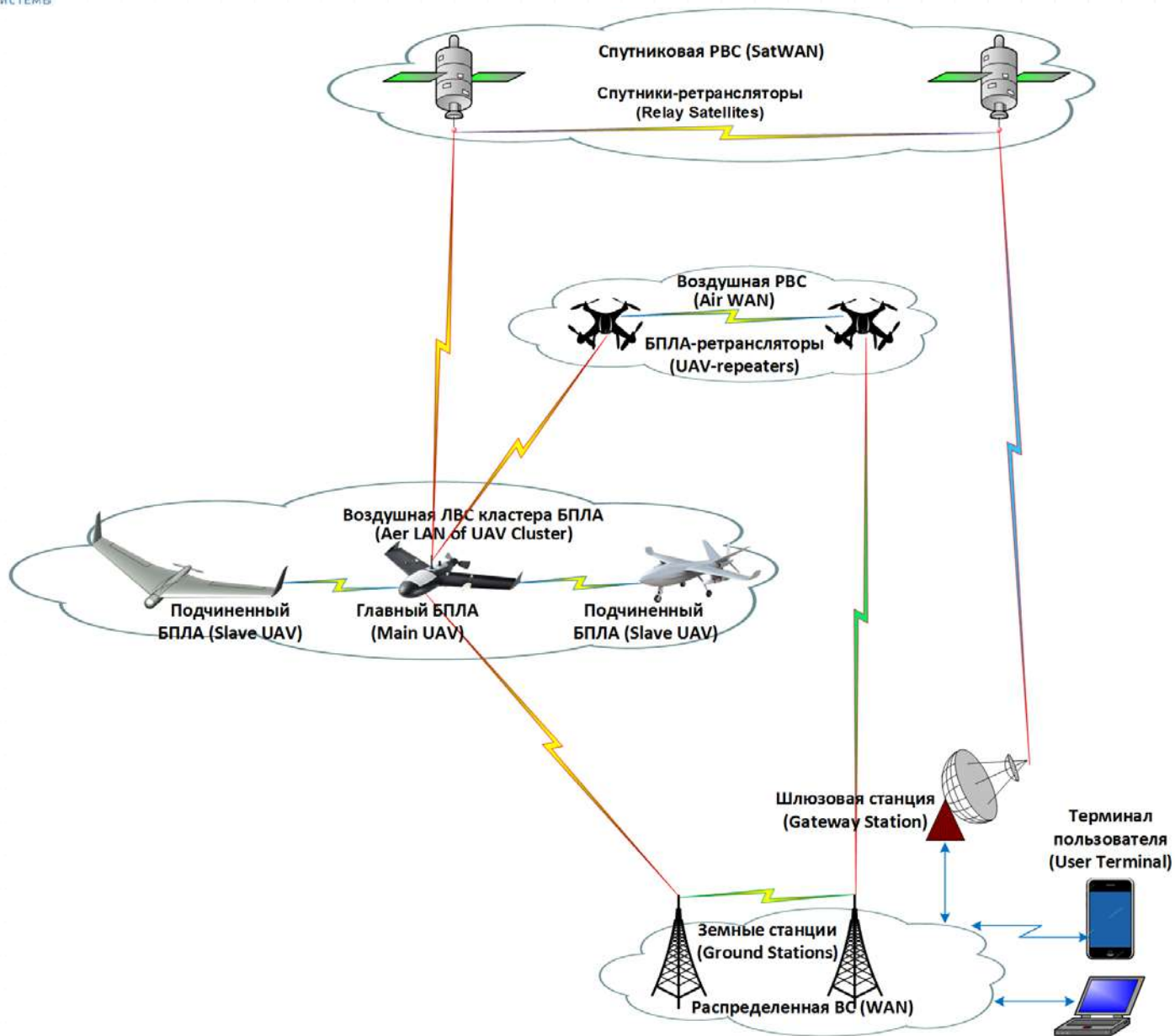
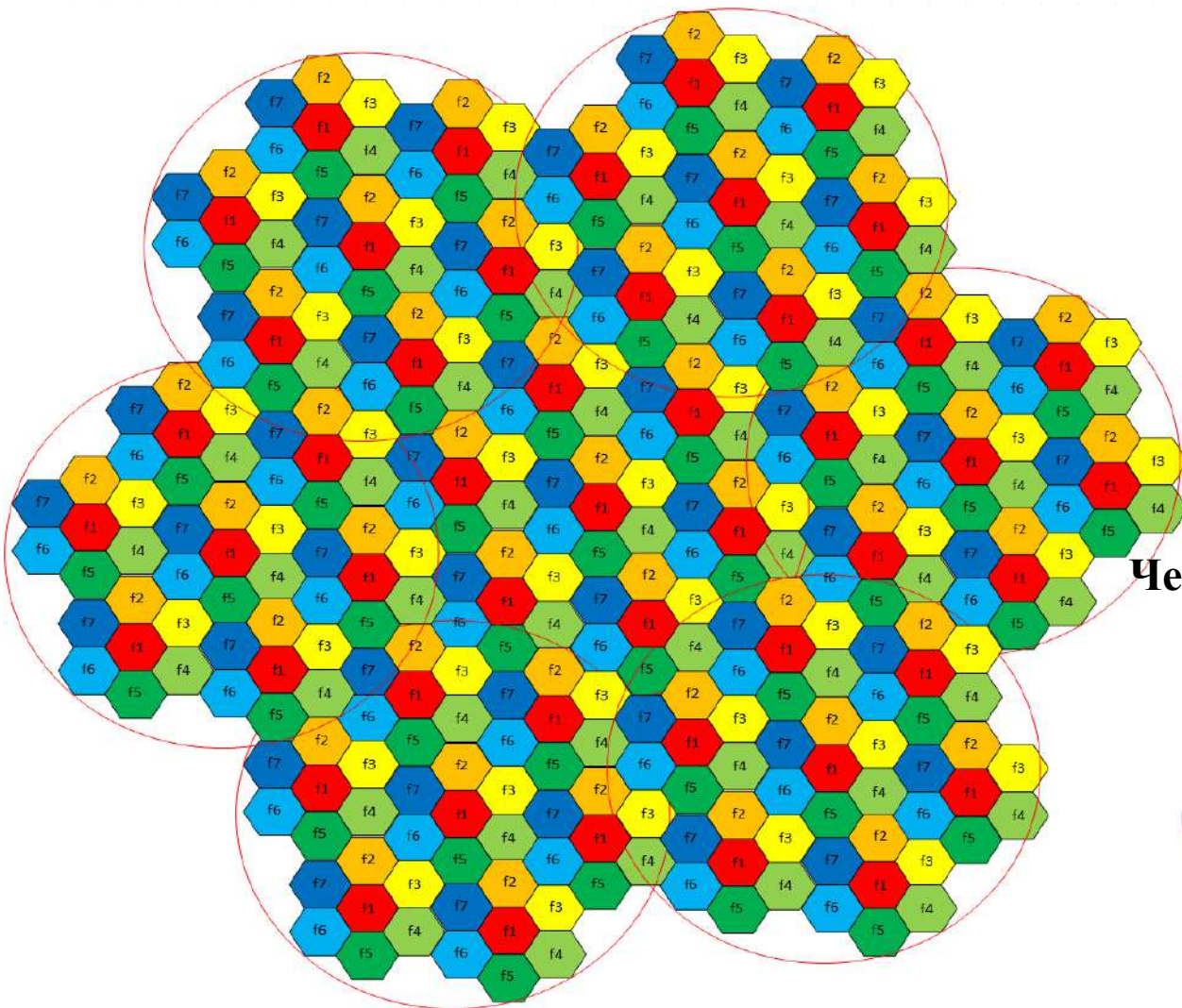


Схема комплексного применения наземных, воздушных, спутниковых сетей и ведущих БПЛА для организации связи

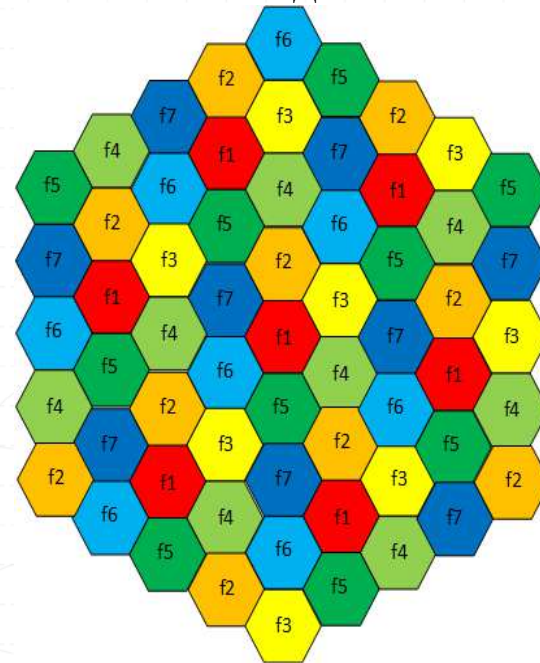


Семицветное ЧТП

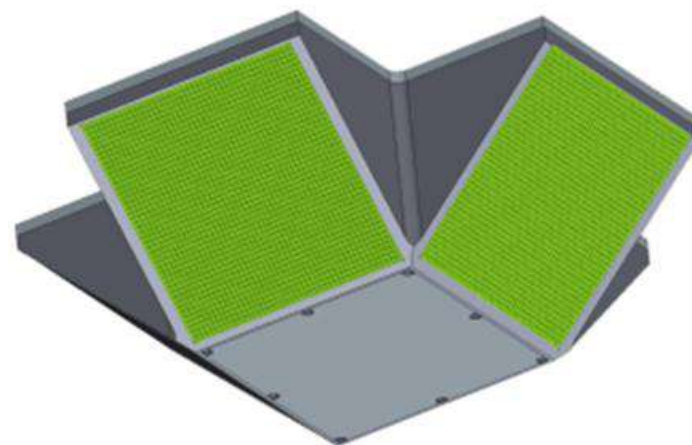
ЧТП ЗРВ семи соседних СР



ЧТП ЗРВ одного СР



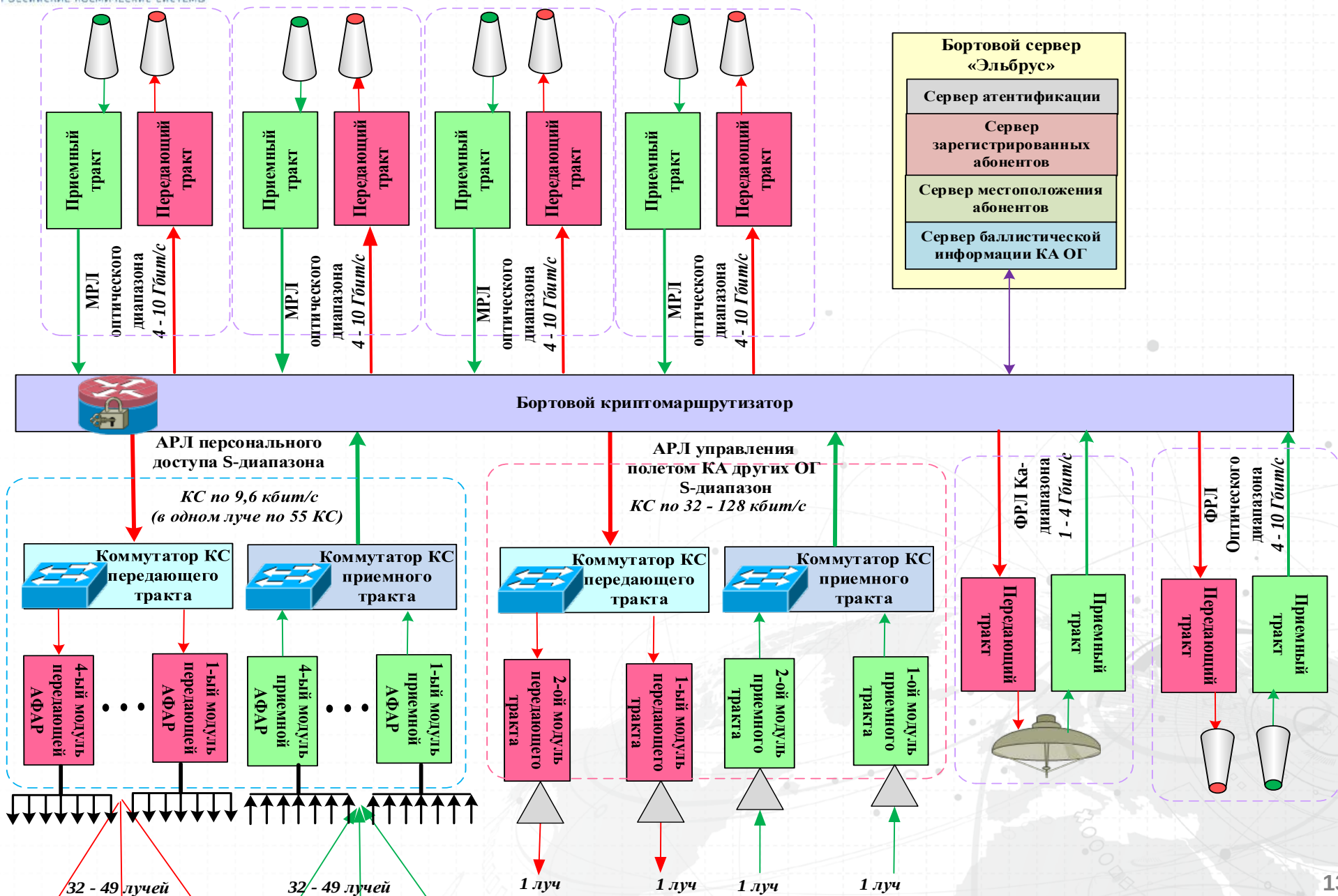
Четырехмодульная конформная АФАР



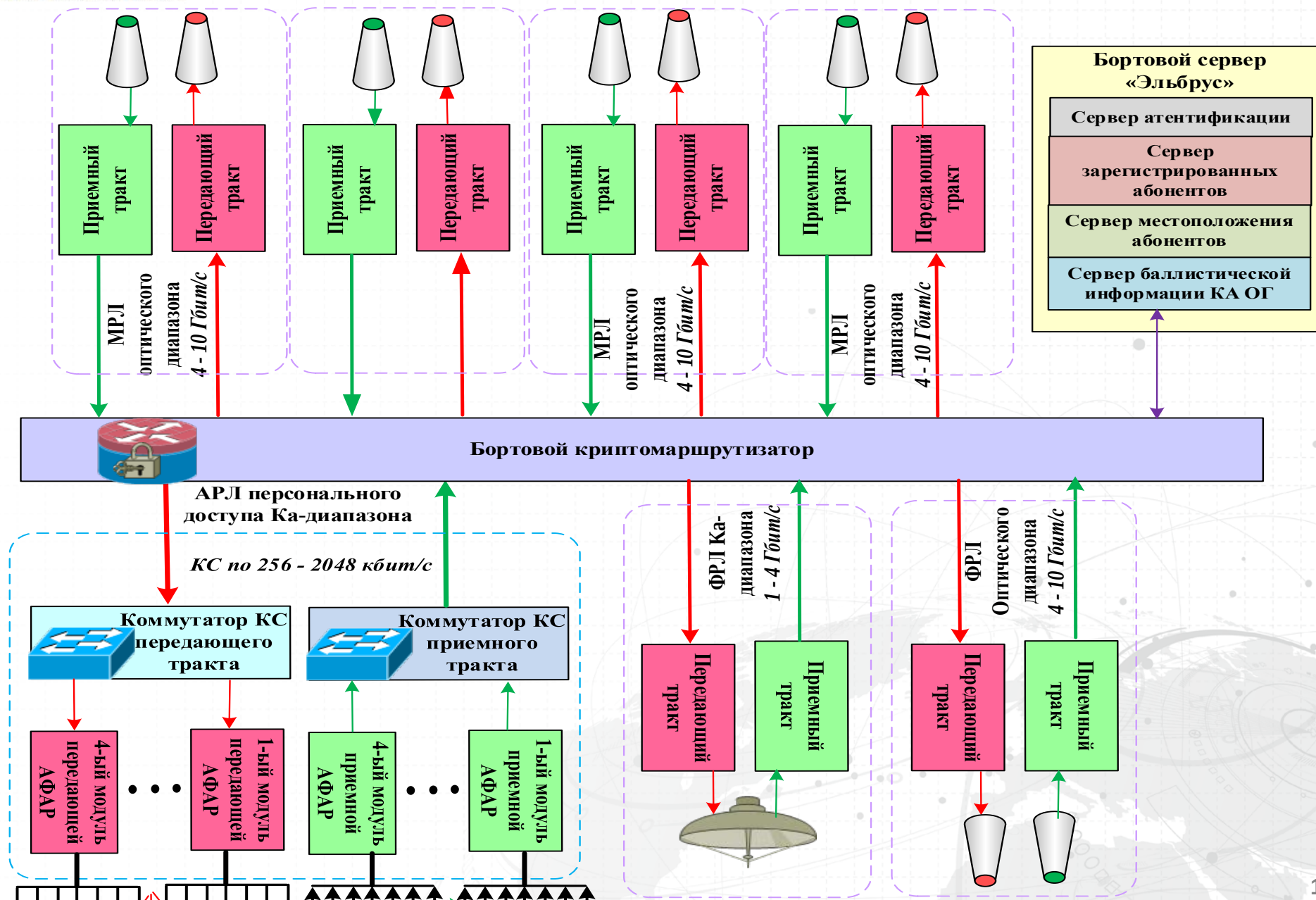
Распределение диапазонов частот для РЛ

S-диап.		Ka-диапазон							V-диап.
Низкоскор. КС		Высокоскоростной канал связи							
АРЛ ПД стац. и подв. АТ	АРЛ УП КА	АРЛ ПД стац. АТ	АРЛ КД (ФСС и ПСС) АТО		ФРЛ	АРЛ ПД (ППСС) АТ		АРЛ гос. служб	МРЛ
ПСС	Меж- спутн. связь	ФСС				ПСС			Меж- спутн. связь
З – Б	прямой	Б – З	Б – З		Б – З	Б – З		Б – З	Б–Б
2000–2010 МГц	2025–2110 МГц	17,7–17,8 ГГц	17,8–18,6 ГГц	18,8–19,3 ГГц	19,3 –19,7 ГГц	19,7–20,1 ГГц	20,1–20,2 ГГц	20,2–21,2 ГГц	59,3–64 ГГц
10 МГц	85 МГц	100 МГц	800 МГц	500 МГц	400 МГц	400 МГц	100 МГц	1 ГГц	4,7 ГГц
Б – З	обратный	З – Б	З – Б		З – Б	З – Б		З – Б	
2190–2200 МГц	2200–2290 МГц	27,5–27,6 ГГц	27,6–29,1 ГГц		29,1–29,5 ГГц	29,5–29,9 ГГц	29,9–30 ГГц	30–31 ГГц	
10 МГц	90 МГц	100 МГц	1,5 ГГц		400 МГц	400 МГц	100 МГц	1 ГГц	

Функциональная схема БРТК КА S-диапазона



Функциональная схема БРТК КА Ка-диапазона



1. Применение двух диапазонов :

- О в S-диапазоне влияние атмосферных осадков на прохождение радиоволн не существенно и поэтому связь будет при любых условиях, в то время как в Ка-диапазоне могут быть перебои;
- О в S-диапазоне связь возможна на малонаправленную АС для приема пилот-сигналов, сигнала вызова в служебном канале, низкоскоростной передачи данных и телефонии;
- О в КА-диапазоне связь возможна только на остроуправленную АС для высокоскоростной передачи данных.

Преимущества применения двух диапазонов позволят:

- с одной стороны обеспечить широкополосный доступ в сеть Internet,
- а с другой стороны – обеспечит связь в любых погодных условиях.

2. Способ разделения каналов - с кодовым доступом.

Преимущества:

- ✓ лучше подходит для выполнения требований по ЭМС в условиях большой загрузки полос частот;
- ✓ обладает большей помехозащищенностью и скрытностью информации;
- ✓ предъявляет меньшие требования к качеству синхронизации по сравнению с временным разделением каналов;
- ✓ дает экономию энергоресурса БРТК за счет:
 - увеличения к.п.д. усилителей мощности передающего тракта, т.к. позволяет работать в квазилинейном режиме работы Е в следствии минимального ПИК-фактора;

Недостатки:

- Повышенные требования к выравниванию мощности сигналов от АТ на входе приемного тракта БРТК;
- Высокая сложность цифровой обработки сигналов и как следствие повышенные энергозатраты на цифровую обработку сигналов

Особенности выбора НСР для отправки запроса на регистрацию

АТ выбирает НСР для регистрации по двум критериям:

- 1) значения соотношения сигнал/шум должно быть выше заданного порога;
- 2) значение доплеровского сдвига частоты должно быть максимальное, в таком случае НСР приближается к АТ, а не удаляется и его ЗРВ максимальная

Зональная регистрация АТ

Т.к. НСР постоянно сменяются над АТ, то АТ регистрируется в зоне радиосвязи (ЗРС), а не в БС как в СПС.

Непосредственно в НСР АТ регистрируется, только тогда, когда ему необходимо передать информацию, а именно:

- перед установлением связи с другим АТ,
- для выхода в телефонную сеть общего пользования (ТФОП) или для выхода в Интернет.

Для осуществления зональной регистрации:

- поверхность земного шара разбивается на зоны радиосвязи (ЗРС),
- ЗРС делятся на подзоны (ПРС), количество которых равно количеству лучей АС АРЛ – 49 ПРС,
- размер самой большой ЗРС (у экватора) – не больше зоны радиопокрытия (ЗРП) низкоорбитального спутника-ретранслятора (НСР).

Отличие от аналогов

1) *Состоит из трех модулей:*

1.1) смартфона, или планшета, или ноутбука;

1.2) точки доступа к низкоскоростному (ТДН) спутниковому каналу связи, работающему в S-диапазоне для приема на малонаправленную спиральную антенну: пилот-сигналов, сигналов вызова и синхронизации в служебном канале и для обеспечения режима телефонной связи и SMS-сообщений;

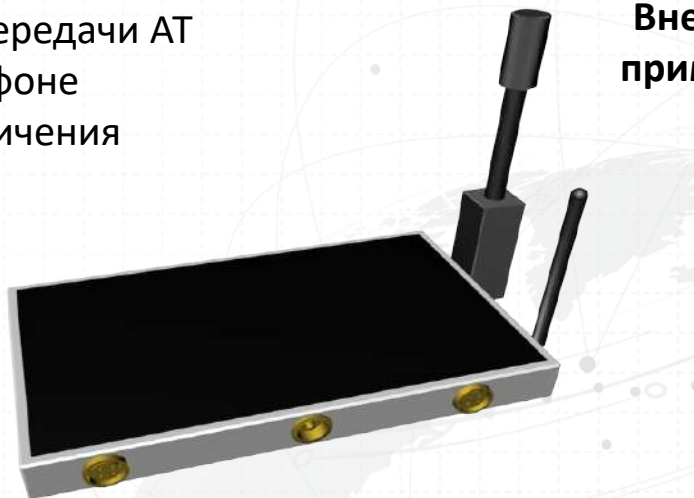
1.3) точки доступа к высокоскоростному (ТДВ) спутниковому каналу связи работающему в Ka-диапазоне для обеспечения широкополосного доступа в сеть Internet через СППСС с использованием АФАР;

2) *не содержит* встроенного модуля для работы в сети СПС 2G, 3G и 4G, а подключается к любому смартфону, планшетному компьютеру или ноутбуку по беспроводным соединениям Blue Tooth или Wi-Fi, - **это позволяет:**

- ❖ уменьшить стоимость АТ,
- ❖ пользователю не держать при себе АТ СППСС, а достаточно находиться в зоне действия радиосетей BlueTooth или Wi-Fi,
- ❖ разрешает увеличить мощность передачи АТ выше допустимой в мобильном телефоне санитарными требованиями для увеличения скорости передачи информации;

Содержит интерфейсы

- USB;
- Blue Tooth;
- Wi-Fi;
- Ethernet.



Внешний вид АТ, состоящего из двух модулей: ТДН и ТДВ

Внешний вид АТ, в виде адаптера на примере модели AT Thuraya SatSleeve



Структура IP-адреса АТ ГМИСС

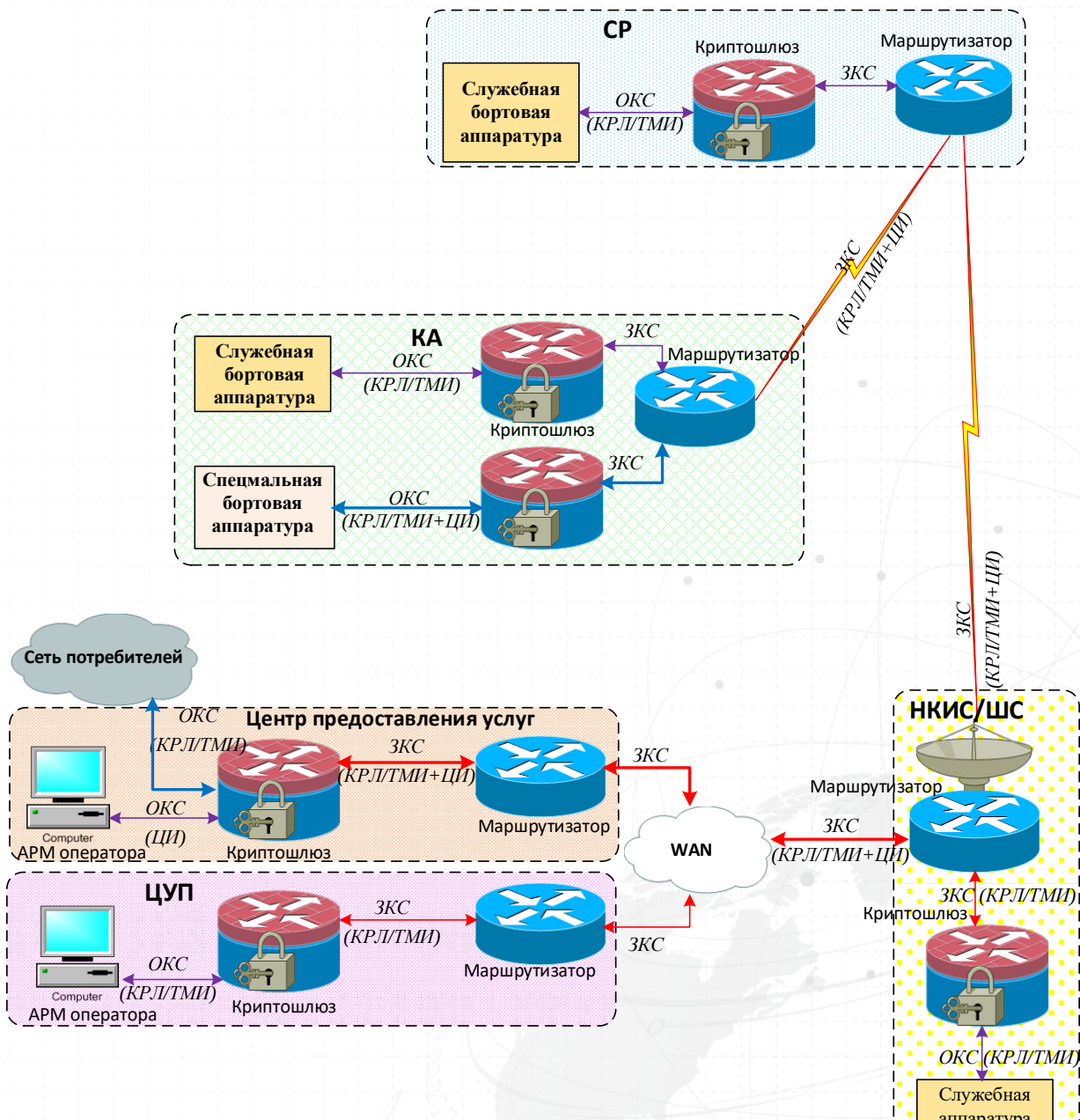
1				2				3				4				5				6				7				8							
1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4								
сеть												подсеть				узел																			
48												16				64																			
сеть СППСС												№ ЗРС 0-15				№ подзоны РС 0-15				приоритет				код страны +7				код оператора СПС 916, 926, 903				№ телефона - формат E.164: 608-06-77			
																				абонета 0-7				трафика 0-7											

квартет

Порядковый
№ числа в
квартете

Алгоритм маршрутизации потоков информации при передаче информации от одного АТ к другому АТ ГМИСС:

1. В АТ при вызове другого АТ:
 - 1.1) определение НСР для регистрации;
 - 1.2) регистрация АТ к НСР.
2. В АТ при работе - передача информации в канале связи АРЛ на НСР, предоставленном АТ при его регистрации.
3. В НСР, находящемся на связи с АТ:
 - 3.1) определение ЗРС вызываемого АТ по базам данных зарегистрированных абонентов (БД ЗА);
 - 3.2) определение какие НСР находятся в текущий момент времени в ЗРС вызываемого АТ по базам данных баллистической информации (БД БИ);
 - 3.3) маршрутизация информации всем НСР, находящимся в текущий момент времени в ЗРС вызываемого АТ;
4. В НСР, находящимся в ЗРС вызываемого АТ :
 - 4.1) при вызове АТ - передача информации вызова со всех лучей АРЛ, трассы которых проходят в текущий момент времени в ЗРС вызываемого АТ;
 - 4.2) при работе - передача информации в канале связи, предоставленном АТ при его регистрации.



Патенты на изобретения, отмеченные наградами диплом Гран-при, диплом «Лучшее изобретение в сфере информационных технологий, награжден золотой медалью, вручен кубок и Золотой Архимед на XXII Московском международном салоне изобретений и инновационных технологий «Архимед- 2019»:

1.Пантелеймонов И.Н. Система спутниковой связи с защитой канала удаленного управления работой. Патент на изобретение № 2647631 от 30.05.17 (*Включен в перечень «100 лучших изобретений России за 2018 г.»*).

2.Пантелеймонов И.Н., Пантелеймонова А.В. Способ зональной регистрации абонентского терминала сети персональной спутниковой связи. Патент на изобретение № 2658879 от 12.09.17.

3.Пантелеймонов И.Н., Пантелеймонова А.В., Кузенков А.Н., Баринов А.В, Назаров Н.Г., Алешин В.С. Способ выбора низкоорбитального спутника-ретранслятора для регистрации абонентским терминалом в системе персональной спутниковой связи. Патент на изобретение № 2660114 от 29.09.17

4.Пантелеймонов И.Н., Пантелеймонова А.В., Аджибеков А.А. Архитектура абонентского терминала сети персональной спутниковой связи. Патент на изобретение № 2661850 от 05.10.17. Пантелеймонов И.Н.

5.Способ назначения IP-адресов в сети персональной спутниковой связи на низкоорбитальных спутниках ретрансляторах с зональной регистрацией абонентских терминалов. Патент на изобретение № 2679962 от 14.02.2019.

6.Пантелеймонов И.Н., Толкачев В.И., Пантелеймонова А.В., Адамсон Н.В., Тодуркин В.В. Система защищённой передачи данных.

Патенты полученные после XXII Московского международного салона изобретений и инновационных технологий «Архимед- 2019»:

1.Пантелеймонов И.Н. Спутниковая система, управляемая по межспутниковой радиолинии. Патент на изобретение № 2690966 от 07.06.2019.

2.8. Потюпкин А.Ю., Пантелеймонов И.Н., Саушкин А.М., Моисеев М.В., Рогов А.Е., Аджибеков А.А., Благодырев В.А., Березкин В.В., Жодзишский А.И., Селиванов А.С., Панцерный О.А., Кисляков М.Ю., Останний А.И., Траньков В.М., Самаров А.В., Алпеев В.А., Петрова А.М., Крючкова М.С. Система управления полетом космического аппарата с применением в качестве ретрансляторов низкоорбитальных спутников, связанных между собой межспутниковыми линиями связи. Патент на изобретение № 2713293 от 16.05.2019.

3.Пантелеймонов И.Н. Способ маршрутизации в сетях подвижной персональной спутниковой связи на низкоорбитальных спутниках-ретрансляторах с зональной регистрацией абонентов и маршрутизатор низкоорбитального спутника ретранслятора с интегрированными службами для осуществления указанного способа. Патент на изобретение № 2 714 220 от 19.08.2019.

Опубликовано более 30 научных статей

Идет разработка новых технологий:

- ❖ Маршрутизация потоков информации на борту КА
- ❖ Протоколы радиосвязи АРЛ ПД в S-диапазоне и в Ka-диапазоне, АРЛ КД в Ka-диапазоне и АРЛ управления полетом КА в S-диапазоне

Потюпкин Александр Юрьевич – д.т.н., профессор, главный научный сотрудник экспертно-аналитического центра АО «РКС», действительный член Российской академии космонавтики им. К.Э. Циолковского, автор 2 изобретений, 6 книг, более 100 публикаций в научно-технических изданиях, e-mail: potupkin_au@spacecorp.ru

Пантелеймонов Игорь Николаевич – главный специалист центра 110 АО «РКС», член ВОИР, заслуженный испытатель космической техники, автор 9 изобретений, 20 рац. предложений, 30 публикаций в научно-технических изданиях, обладатель золотой медали, диплома Гран-при, диплома «Лучшее изобретение в сфере информационных технологий, кубка и Золотого Архимеда XXII Московского международного салона изобретений и инновационных технологий «Архимед-2019», обладатель диплома 100 лучших изобретений России-2018» e-mail: panteleymonov_in@spacecorp.ru

Боцва Виктор Викторович – ведущий инженер отдела 1112 центра системных исследований космической деятельности АО «ЦНИИМаш», автор 6 публикаций в научно-технических изданиях, 5 рац. предложений, e-mail: bakirovamsh@tsniimash.ru

Спасибо за внимание

