

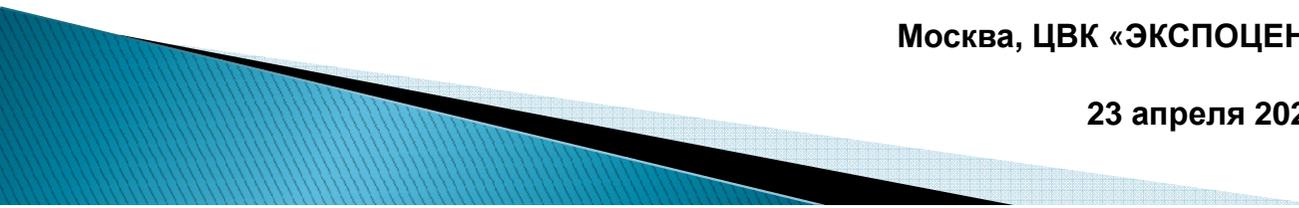
# **Спутниковый компонент для БАС (беспилотные авиационные системы)**

**Гриценко А.А.**  
Генеральный директор, к.т.н.

**XVII Международный Навигационный форум**

**Москва, ЦВК «ЭКСПОЦЕНТР», ПАВИЛЬОН 8**

**23 апреля 2024 года**





## Исходные данные и требования к системам класса C2 для БАС

### Исходные данные

Постановлением правительства от 14.09.2023 №1503 для создания единой инфраструктуры управления БАС и контроля за их эксплуатацией распределена отдельная полоса радиочастот:

**5030–5091 МГц**

Соответствующее Решение ГКРЧ - от 24.04.2023 г.

**Цель:** создание единой инфраструктуры управления БАС и контроля за их эксплуатацией.

**Согласно Таблице распределения полос радиочастот, полоса 5030–5091 МГц:**

- Категория «ПР»;
- ВОЗДУШНАЯ РАДИОНАВИГАЦИОННАЯ;
- ВОЗДУШНАЯ ПОДВИЖНАЯ СПУТНИКОВАЯ ( R );
- ВОЗДУШНАЯ ПОДВИЖНАЯ ( R )

В рамках ВОЗДУШНОЙ РАДИОНАВИГАЦИОННОЙ СЛУЖБЫ полоса используется в том числе для точного захода и посадки воздушных судов.

### Основные требования

**Территория обслуживания:** Российская Федерация

**Облик:** единая гибридная сеть, включающая наземную, воздушную и спутниковую компоненты.

**Основной (приоритетный) компонент** – спутниковый. При отсутствии доступа к спутниковому компоненту – используется наземный (наземная радиосеть) или воздушный (HAPS) компоненты или резервная спутниковая сеть.

**Режимы работы** канала C2 для БАС: непрерывный или циклический.

**Надежность канала:** не менее 0,999

**Максимальное время от начала события до поступления управляющего воздействия:** не более 200 мс

### Проблемные вопросы

1. Бесшовность? Нужно ли разделять полосу для работы наземной и спутниковой компоненты?
2. Единая радиотехнология? Какая?
3. Целесообразно ли рассматривать и полосы частот сотовых операторов и операторов LPWAN для совместного использования в гибридной спутниковой сети?
4. Как обеспечить ЭМС?

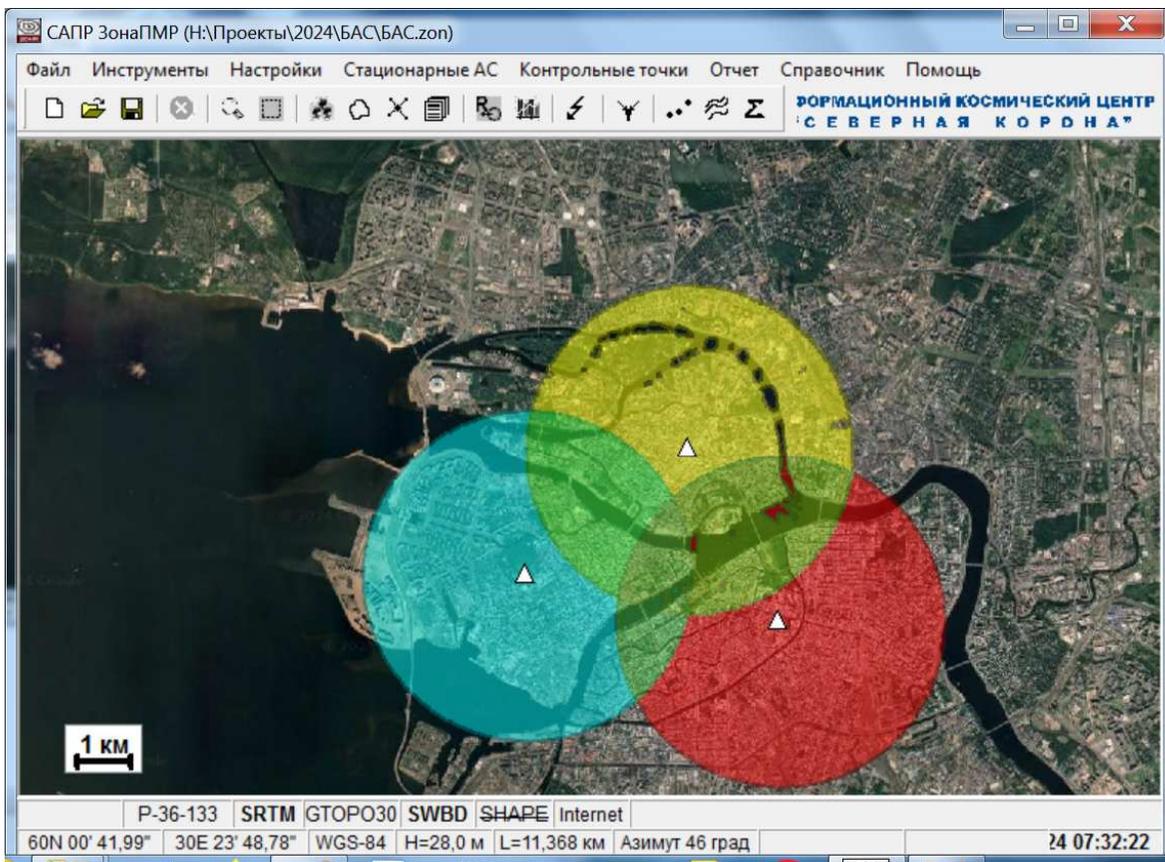


# Место спутниковой компоненты в Единой системе С2 для БАС





## Наземная компонента Единой системы С2 для БАС



### Специфика:

- задача – реализация линии С2 в условиях городских каньонов на высотах от 0 м;
- объекты БАС – «любительского» класса;
- диапазон частот – совпадает с полосами «Марафон IoT»
- характеристика подсистемы: узкополосная, полоса до 150 кГц;
- технология IoT, LoraWan;
- двойное и тройное радиопокрытие;
- резервная система: «Марафон IoT»



## Спутниковая компонента Единой системы С2 для БАС

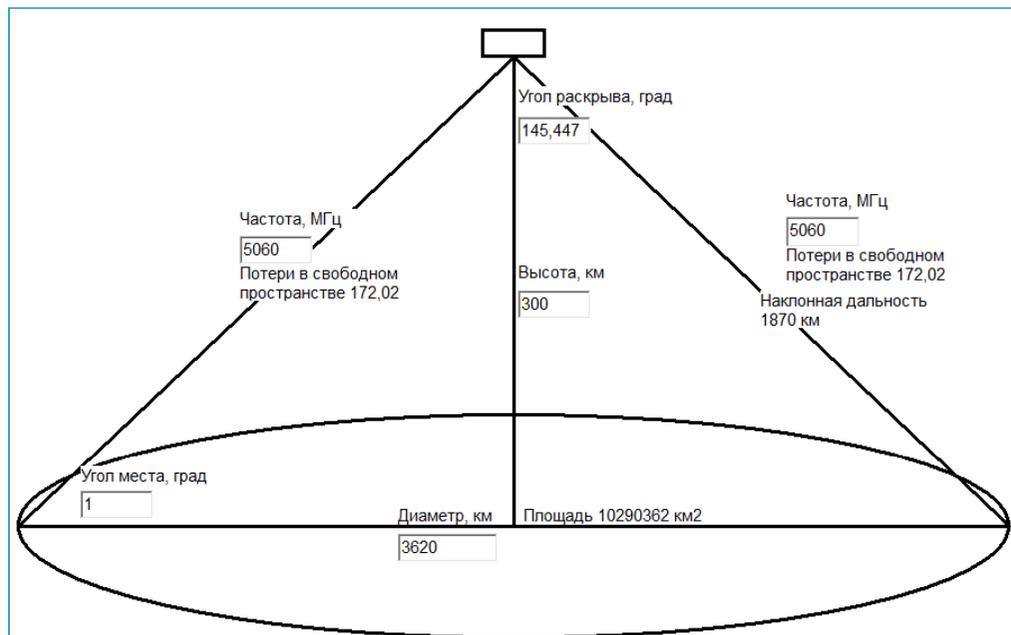


Рис.1. Высота орбиты 300 км

### Параметры:

- высота орбиты 300 км;
- угол места минимальный: 1 град;
- наклонная дальность максимальная: 1 870 км
- потери в свободном пространстве (F=5,06 ГГц): 172,0 дБ
- угол «раскрыва» конуса от спутника: 145,5 град
- радиус зоны обслуживания: 1 810 км

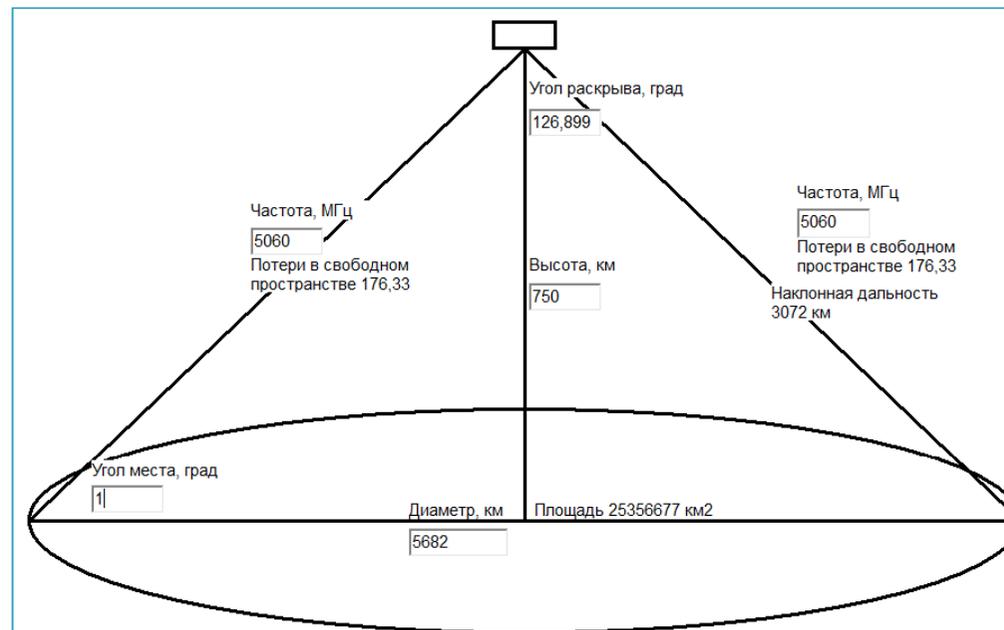


Рис.2. Высота орбиты 750 км

### Параметры:

- высота орбиты 750 км;
- угол места минимальный: 1 град;
- наклонная дальность максимальная: 3 072 км
- потери в свободном пространстве (F=5,06 ГГц): 176,3 дБ
- угол «раскрыва» конуса от спутника: 127 град
- радиус зоны обслуживания: 2 841 км



# Орбитальная группировка на высоте 300 км



Рис.1. Мгновенная зона радиовидимости

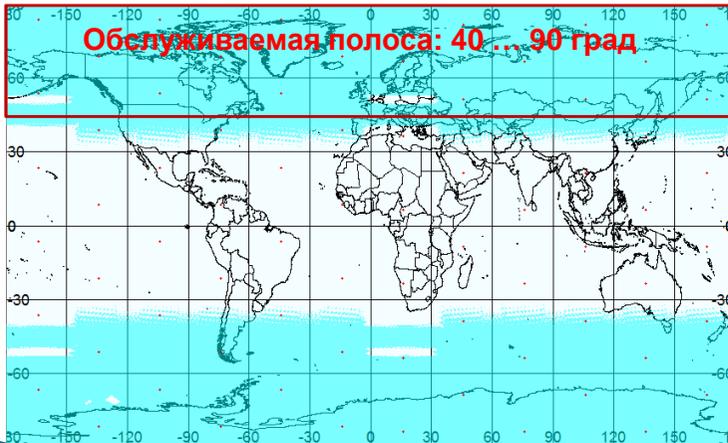


Рис.2. Гарантированная зона радиовидимости

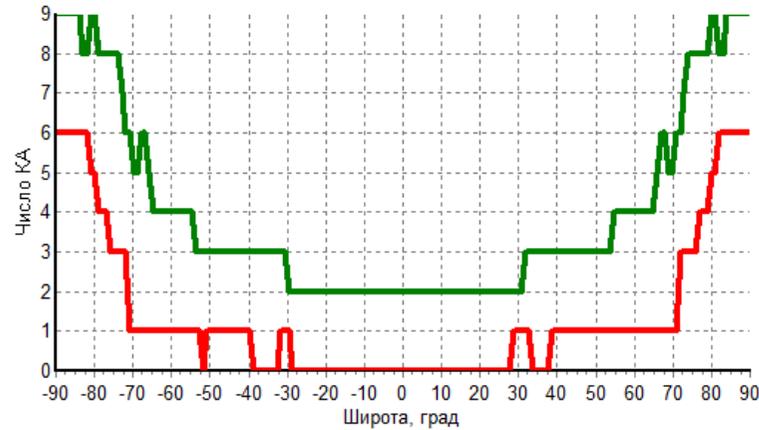


Рис.3. Число наблюдаемых КА (мин и макс)

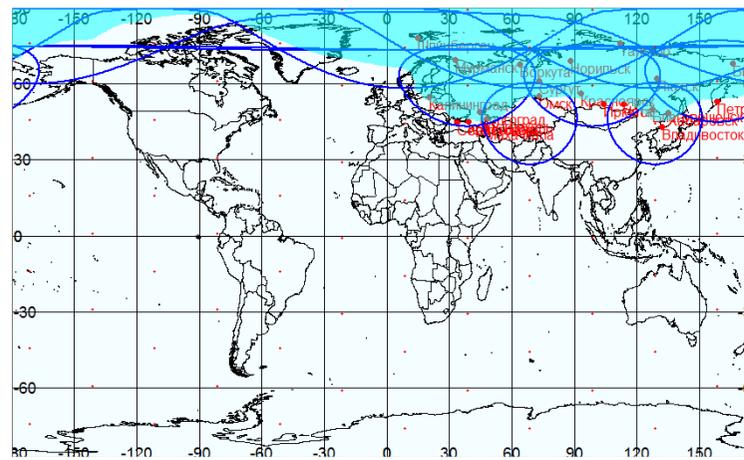


Рис.4. Зона обслуживания с учетом шлюзов (25 станций, мин угол места 7 град)

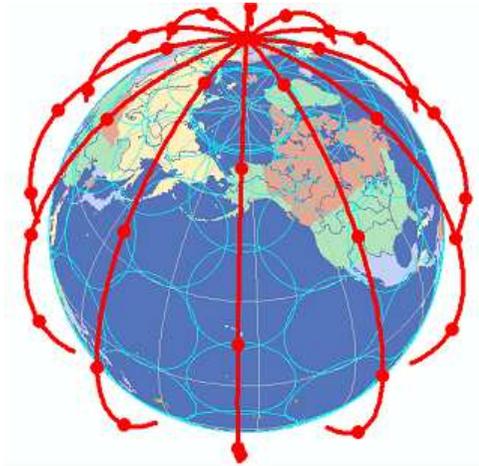


Рис.5. Структура ОГ (95 спутников)

**Зона обслуживания:** территория РФ

**Параметры ОГ:**

- высота орбиты: 300 км;
- наклонение: 90 град
- число плоскостей: 6;
- число спутников в плоскости: 12;
- мощность ОГ: 72 спутника;
- угловой разнос плоскостей: 30 град;
- фазовый угол: 15 град;
- минимальный угол места: 1 град.



# Орбитальная группировка на высоте 750 км

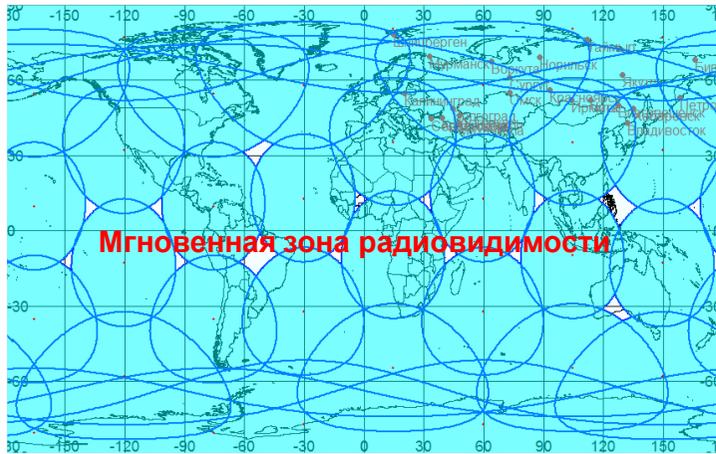


Рис.1. Мгновенная зона радиовидимости

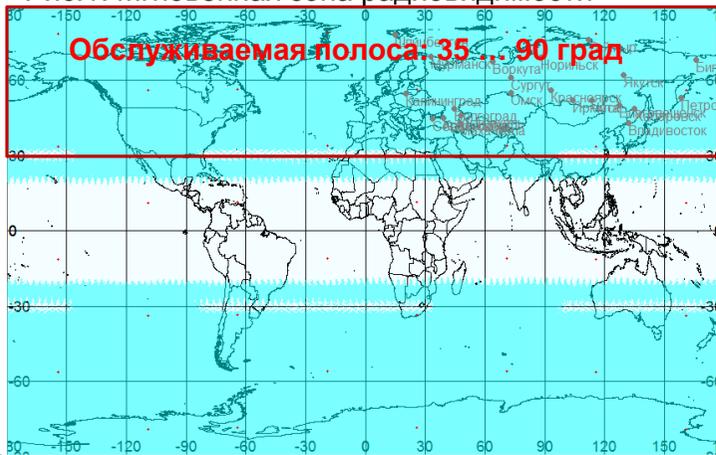


Рис.2. Гарантированная зона радиовидимости

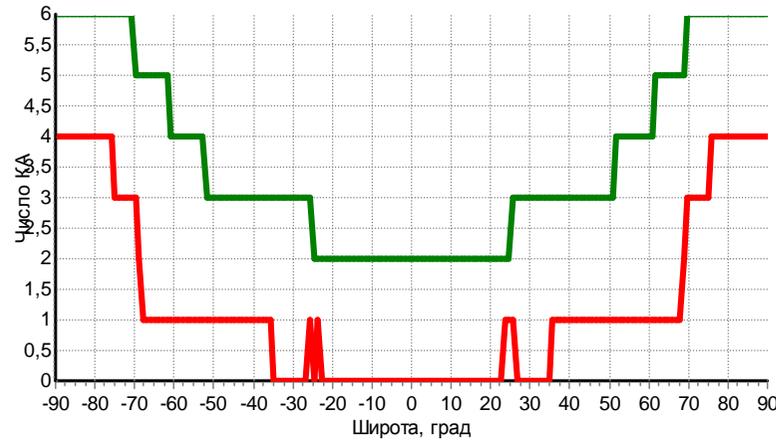


Рис.3. Число наблюдаемых КА (мин и макс)

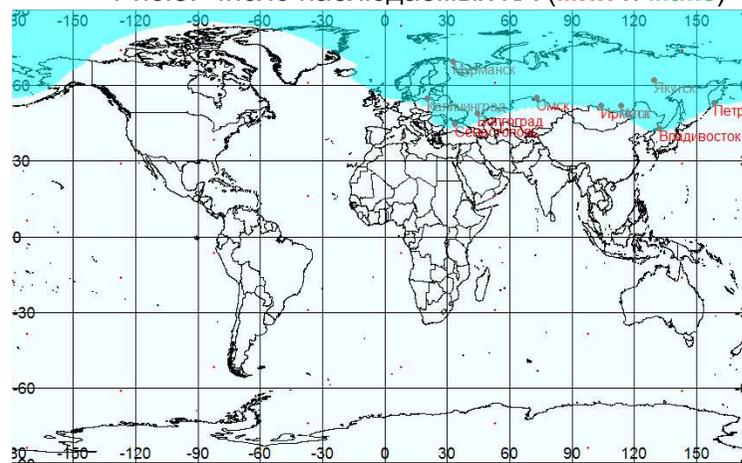


Рис.4. Зона обслуживания с учетом шлюзов (11 станций, мин угол места 7 град)

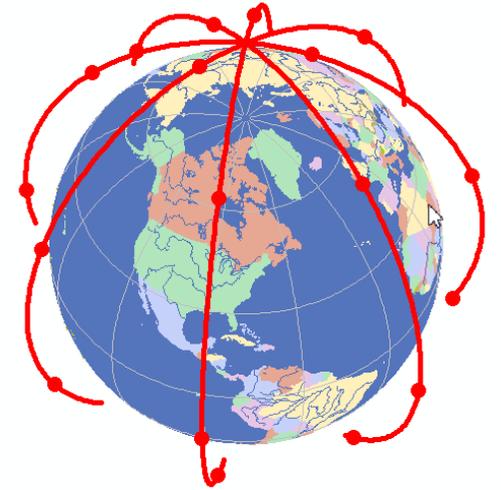


Рис.5. Структура ОГ (32 спутника)

**Зона обслуживания:** территория РФ

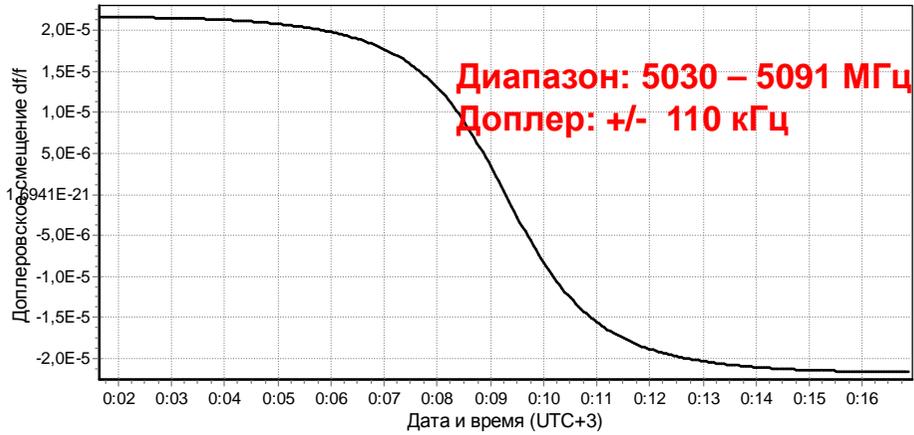
**Параметры ОГ:**

- высота орбиты: 750 км;
- наклонение: 90 град
- число плоскостей: 4;
- число спутников в плоскости: 8;
- мощность ОГ: 32 спутника;
- угловой разнос плоскостей: 45 град;
- фазовый угол: 22,5 град;
- минимальный угол места: 1 град.

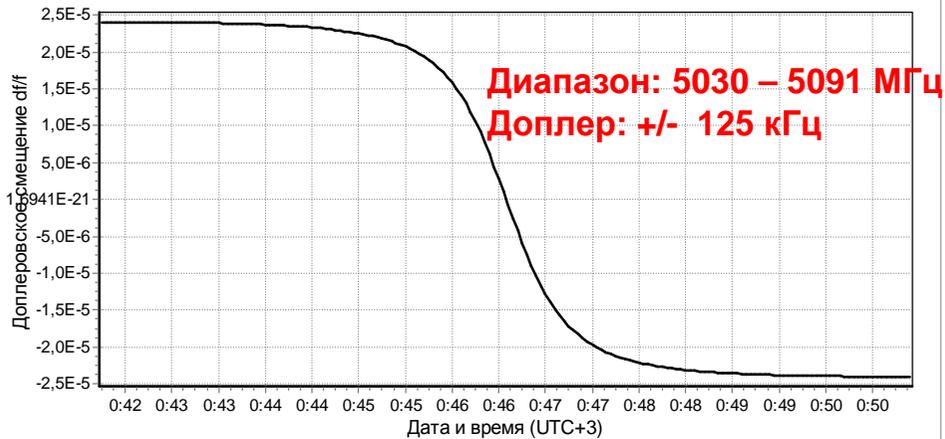


# Особенности использования LEO

## Эффект Доплера



А) Высота 750 км



А) Высота 300 км

Рис.1. Изменение доплеровского смещения частоты

## Радиальная дальность



А) Высота 750 км



Б) Высота 300 км

Рис.2. Изменение радиальной дальности



## Выводы

1. В диапазоне 5030 – 5091 МГц необходимо развернуть гибридную радиосистему, включающую наземную, воздушную и спутниковую компоненты, обеспечивающие реализацию канала мониторинга и управления класса С2 для БАС.
2. Из-за критичности к времени задержки в прохождении сигнала, спутниковая компонента для канала С2 для БАС может быть реализована прежде всего на низких (LEO) орбитах.
3. В качестве рабочих, целесообразно рассмотреть два варианта LEO орбит: с высотами 300 км и 750 км. В первом случае высотный эшелон размещения ОГ будет находиться ниже слоя с пилотируемыми космическими объектами. Но САС спутников будет существенно зависеть от типа используемых двигателей малой тяги. Во втором – совмещается с орбитальной группировкой «Марафон IoT», что в условиях загруженности LEO орбит повышает вероятность одобрения со стороны БР МСЭ и позволяет унифицировать наземный комплекс управления ОГ, в том числе и организовать групповые запуски КА.
4. Так как в зоне ответственности спутниковой компоненты отсутствуют местные предметы (здания, сооружения и т.д.), то требования к минимальному углу места могут быть снижены вплоть до значения 1 град.
5. Предварительный анализ показал, что потребная мощность ОГ относительно небольшая. Для обслуживания территории РФ необходимо развернуть около 72 спутников на высотном эшелоне 300 км или 32 спутника на высотном эшелоне 750 км. При этом зона обслуживания «накрывает» всю территорию России и зону Арктики.
6. Используемые радиотехнологии должны учитывать значительные изменения частоты (эффект Доплера) и энергетики (изменение радиальной дальности) на интервалах приема/передачи данных.
7. Необходима проработка методов множественного доступа в гибридной спутниковой системе и обеспечение ЭМС.
8. Перспективная спутниковая система «Марафон IoT» может быть использована в качестве резервной системы канала С2 при доработке полезной нагрузки для использования Класса С протокола LoRaWAN , а также в части реализации услуги АЗН-В для средних и тяжелых БПЛА.



**Информационный Космический Центр «Северная Корона»**

---

---

***Спасибо за внимание!***



199034, Россия, Санкт-Петербург,  
17-я линия В.О., д.4-6  
тел/факс +7 (812) 320-65-04  
          +7 (812) 922-36-21  
e-mail:    org@spacecenter.ru  
сайт:      www.spacecenter.ru