



Конгресс

СФЕРА

Организатор



Генеральный партнер



Экспертные партнеры



Стратегический партнер



Официальный партнер



Космическая
связь

Специальный партнер



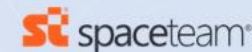
Организатор экспозиции "Навитех-2021"
Спонсор форума



Партнеры



Технологический партнер



Оператор Форума





**Анализ основных характеристик спутниковых систем на НГСО
путем математического моделирования**

Гриценко Андрей Аркадьевич

Генеральный директор, кандидат технических наук

XIV Международный навигационный форум и Конгресс «Сфера»

Москва

15 июня 2021 г

1. Наземные радиосистемы (профессиональные)

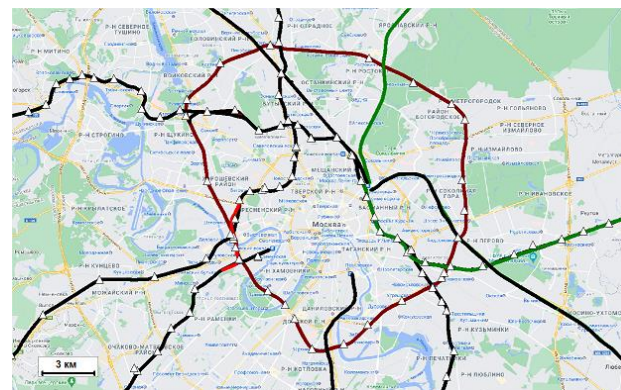
Разработка и планирование наземных радиосистем передачи информации (ЧТП сетей ПМР с учетом внутрисистемной ЭМС, расчет линий радиосвязи в диапазоне частот от 30 МГц до 120 ГГц и т.д.)

2. Спутниковые системы

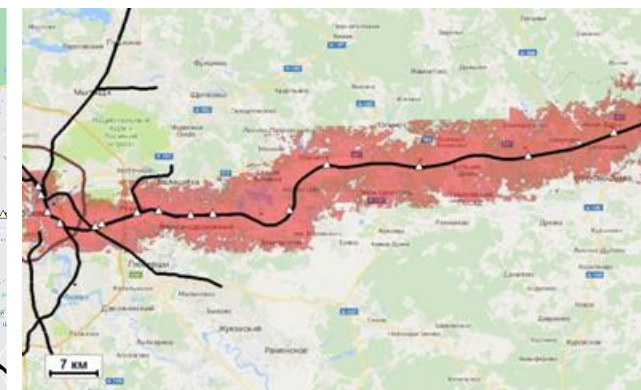
Расчет и системно-техническое обоснование спутниковых систем и комплексов различного назначения (связь, навигация, ДЗЗ, системы радиоконтроля, спутниковые сети и др.). Баллистика, энергетика радиолиний, оценка качественных показателей (оперативность, доступность, качество функционирования) и др.

3. Программное обеспечение (САПР «Альбатрос»)

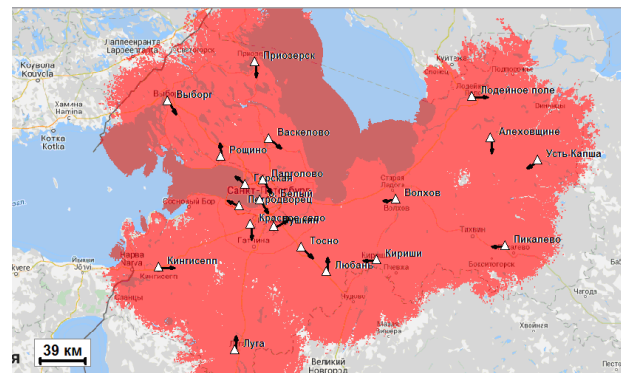
Разработка, модернизация и поставка специализированного программного обеспечения (расчет, имитационное моделирование) по всем ключевым направлениям наземных и спутниковых систем.



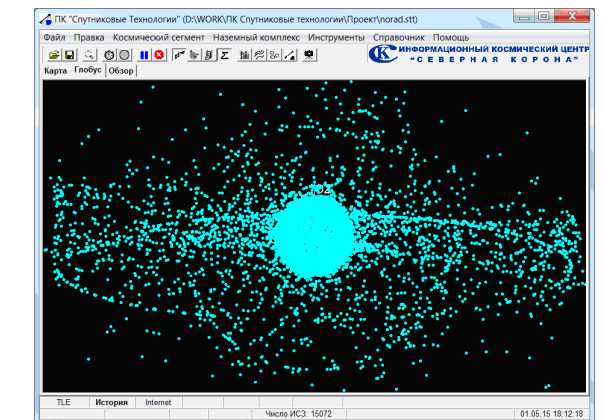
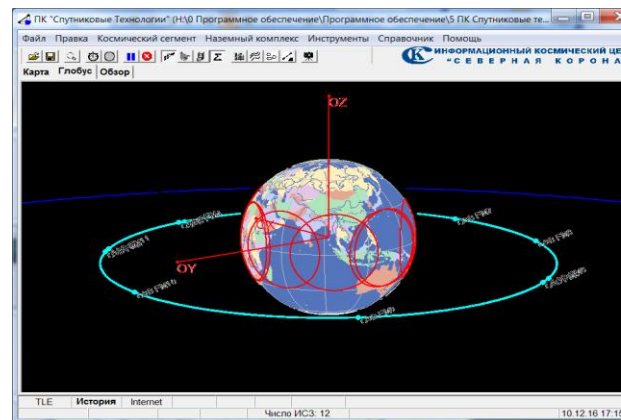
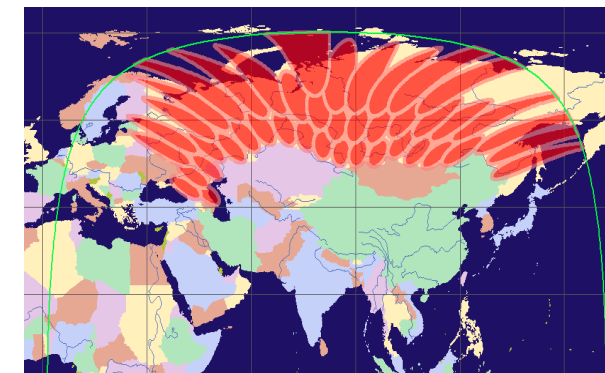
GSM-R, DMR и LTE на МЦК и МЦД



GSM-R и DMR на ВСМ-2



DMR ГУП «Водоканал СПб»



Цель моделирования – получение детальной информации о параметрах и поведении спутниковой системы в окружающей обстановке с учетом большого числа значимых факторов

Преимущества моделирования – учет большого числа значимых факторов, которые невозможно или затруднительно учесть при использовании аналитических методов исследования поведения системы

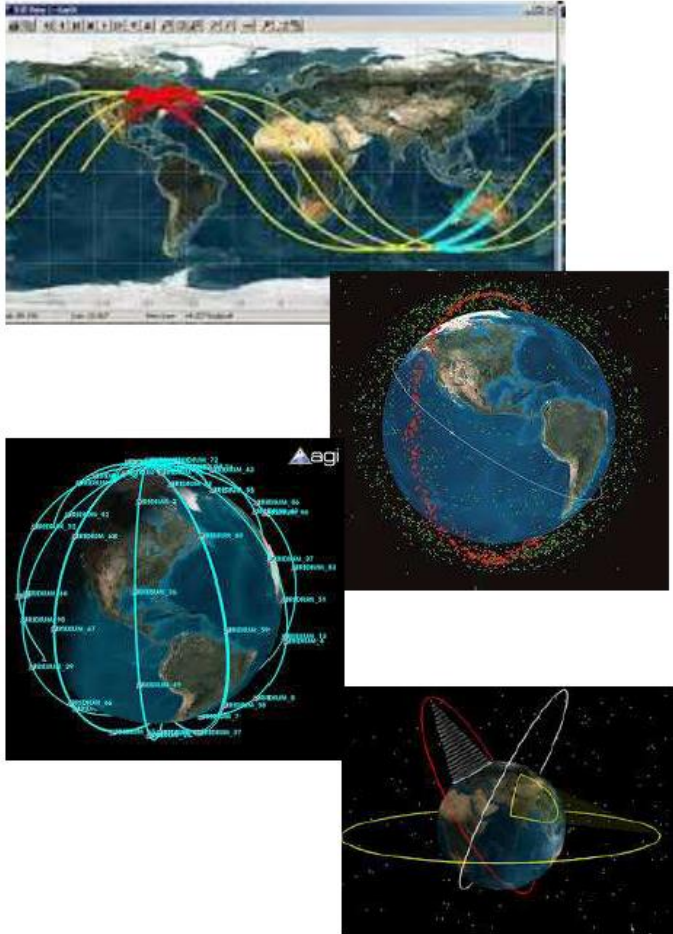
Требования к системам моделирования спутниковых систем:

- А) **оперативность** – большая часть задач должна решаться в режиме «реального времени», должны использоваться «быстрые» алгоритмы;
- Б) **достоверность и надежность** результатов моделирования;
- В) **доступность** исходных данных;
- Г) **наглядность** (визуализация) процесса моделирования и полученного результата;
- Д) **комплексность** – наличие широкого спектра моделей, обеспечивающих решение прикладных задач.

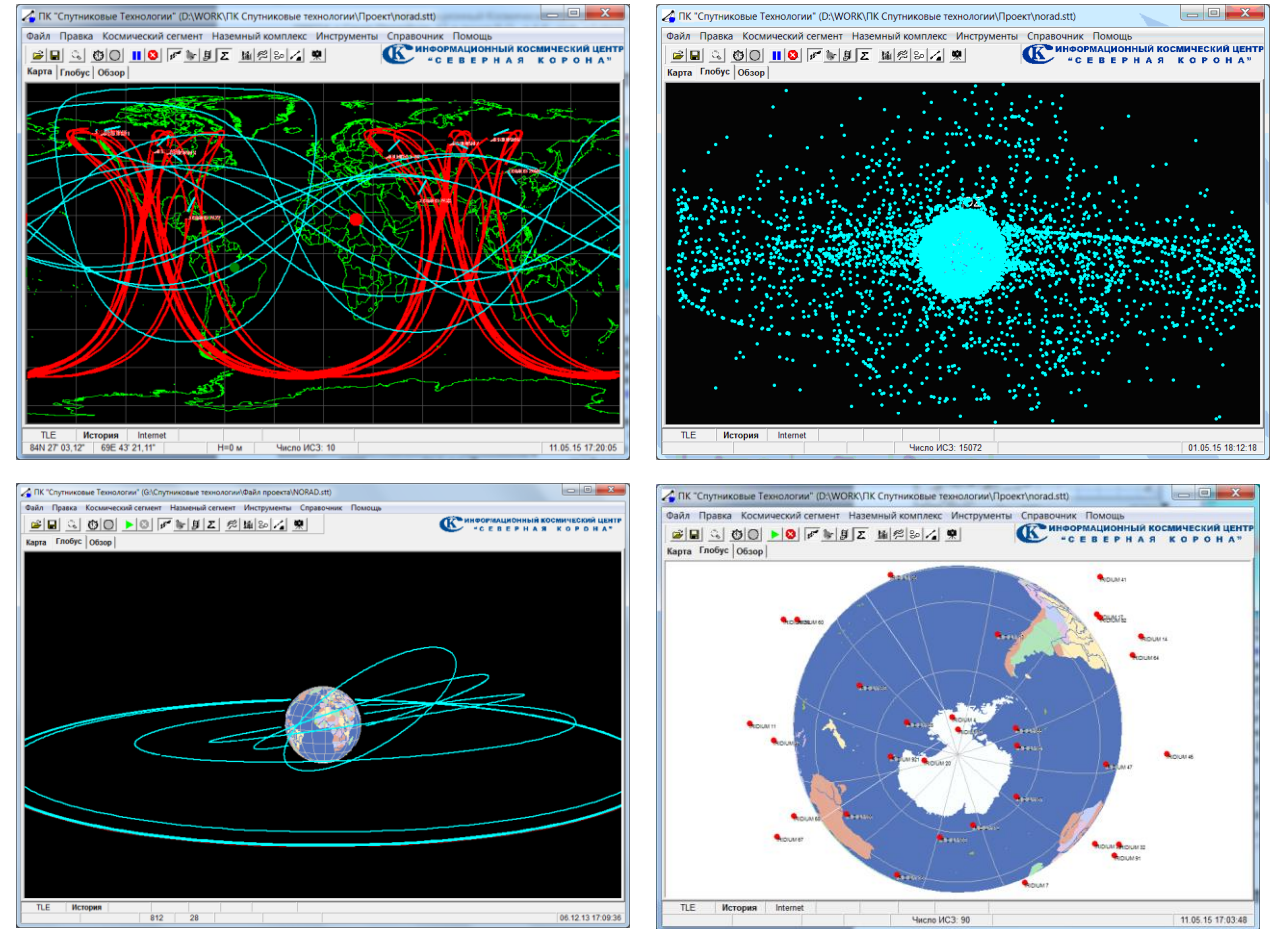
Основные этапы:

- Подготовка исходных данных (получение, обработка, ввод) ;
- Настройка и конфигурирование моделей;
- Моделирование (с визуализацией процесса и предварительной обработкой результатов);
- Обработка результатов моделирования
- Представление результатов в удобном для использования виде (графики, таблицы, карты ...)

1. STK (Systems Tool Kit) Компания AGI, США



2. САПР «Альбатрос» (АО «ИКЦ «Северная Корона»)



Системы на ГСО и НГСО

сравнительная характеристика

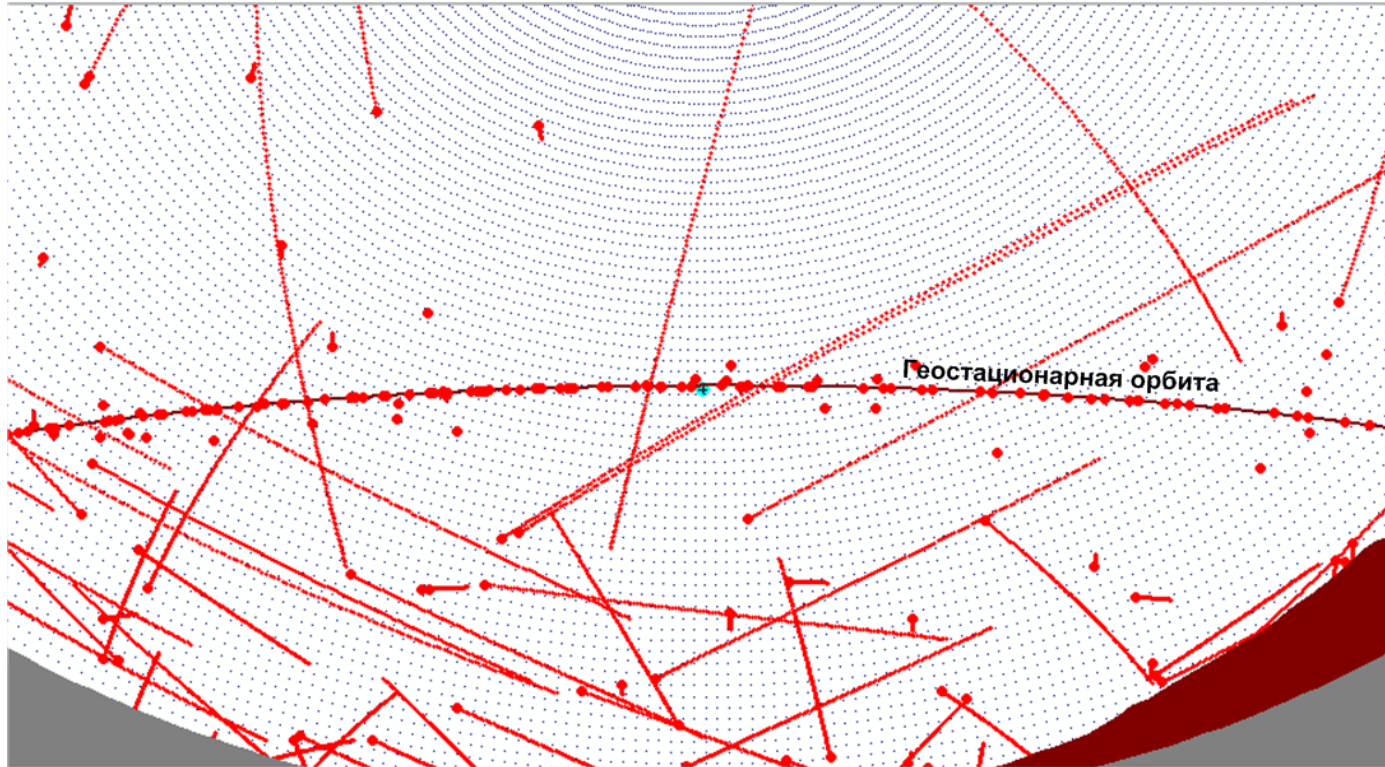


Рис.1. Треки КА на ГСО и НГСО в топоцентрической СК
(около 4 тыс КА, ЗС в г. Ростов на Дону)

Основные типы околоземных НГСО:

1. ВЭО (HEO) – высокоэллиптическая («Молния», «Тундра», Cobra, ...);
2. СКО (MEO) – средневысотная круговая;
3. НКО (LEO) – низкая круговая ;
4. VLEO – очень низкая круговая орбита

Специфика систем на НГСО:

1. Непрерывное изменение условий функционирования внутри самой системы;
2. Динамически изменяющееся воздействие на другие ГСО и НГСО системы при работе в совмещенных полосах частот;
3. Динамически изменяющееся воздействие на систему со стороны других спутниковых ГСО и НГСО систем при работе в совмещенных полосах частот.

Баллистическая структура орбитальной группировки космических аппаратов (БС ОГ КА)

Баллистическая структура ОГ КА –

упорядоченное взаимное расположение КА в околоземном пространстве, характеризующееся требуемыми соотношениями между элементами их орбит (источник – сайт МО РФ).

Баллистическая структура ОГ КА:

1. Полностью определяет потенциальные возможности спутниковой системы в части применения по назначению;
2. Существенно влияет на облик и основные характеристики космического аппарата (платформы и полезной нагрузки);
3. Определяет стоимость (потребное число запусков РН) и время развертывания (запуски и доведение на рабочие орбиты) спутниковой системы

Мощность ОГ – число КА в составе ОГ

Орбитальные группировки:

1. Единичной мощности (в составе единичных КА);
2. Малой мощности: 2 до 50 КА;
3. Средней мощности: от 51 до 100 КА;
4. Большой мощности: от 100 до 1000 КА;
5. Очень большой мощности: от 1 тыс до 10 тыс КА;
6. Гипербольшой мощности: выше 10 тыс. КА.

Оптимальная баллистическая структура :
обеспечивает экстремум потенциальных возможностей системы

Оптимизация баллистической структуры :
- для ОГ единичной и средней мощности – путем поиска оптимальных параметров орбиты;

- для ОГ большой...гипербольшой мощности – путем дополнительного выбора оптимальных фазовых соотношений между КА.

(важный параметр оптимизации)

ГЗРВ – территория поверхности Земли, в любой точке которой в течение $P\%$ времени года наблюдается не менее N спутников на углах места не менее UM (град)

ГЗРВ НГСО систем может быть получена, как правило, только путем моделирования

Типовое требование для систем спутниковой связи: 100%, один КА, UM определяется назначением (например, для ШПД – 60 град)

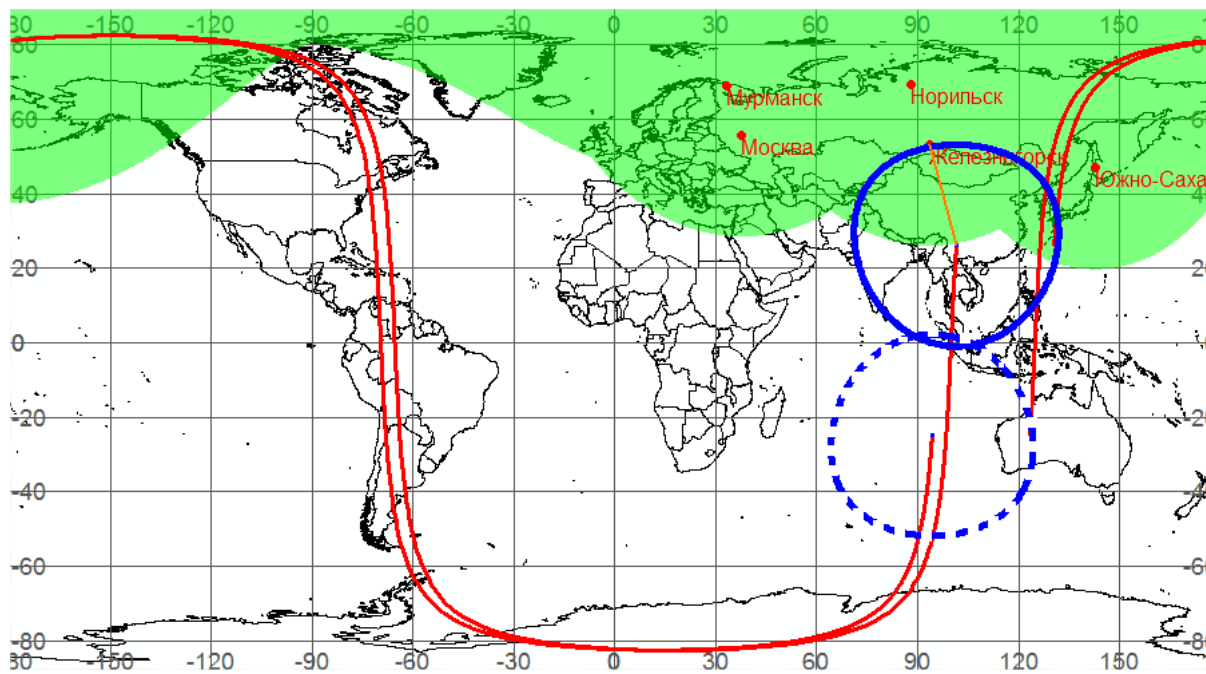


Рис.1. Зона радиовидимости станций сопряжения (зеленый цвет) и мгновенная зона обслуживания КА (синий цвет) при отсутствии МЛС

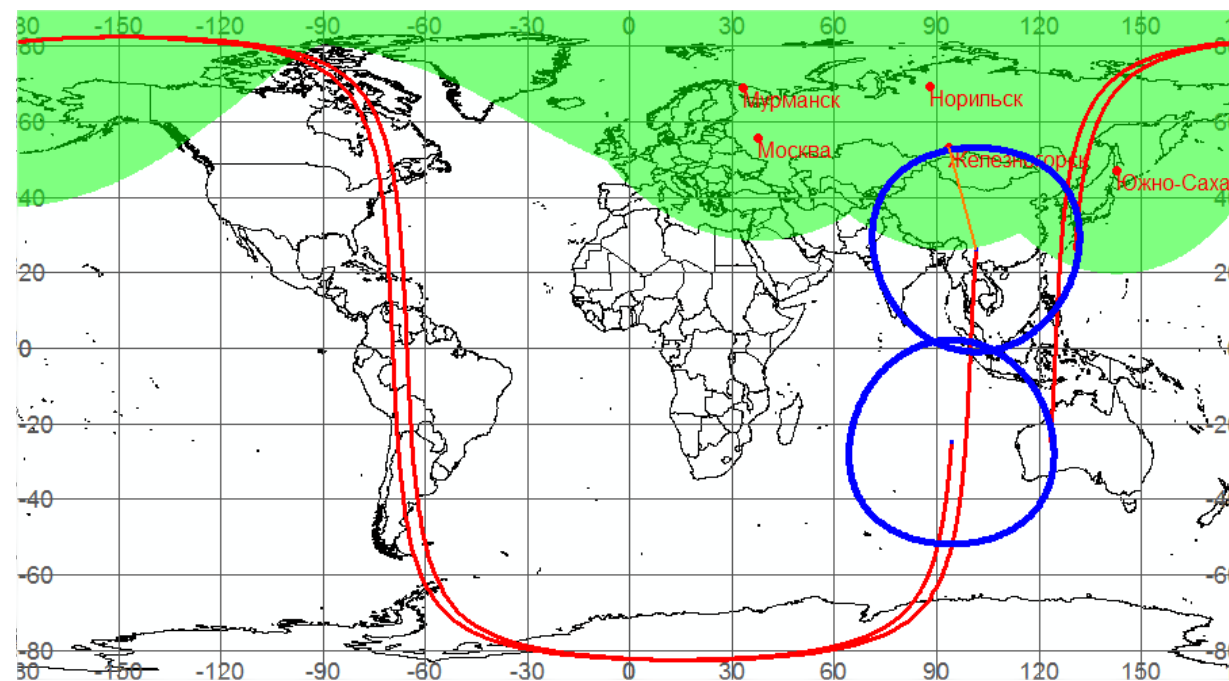
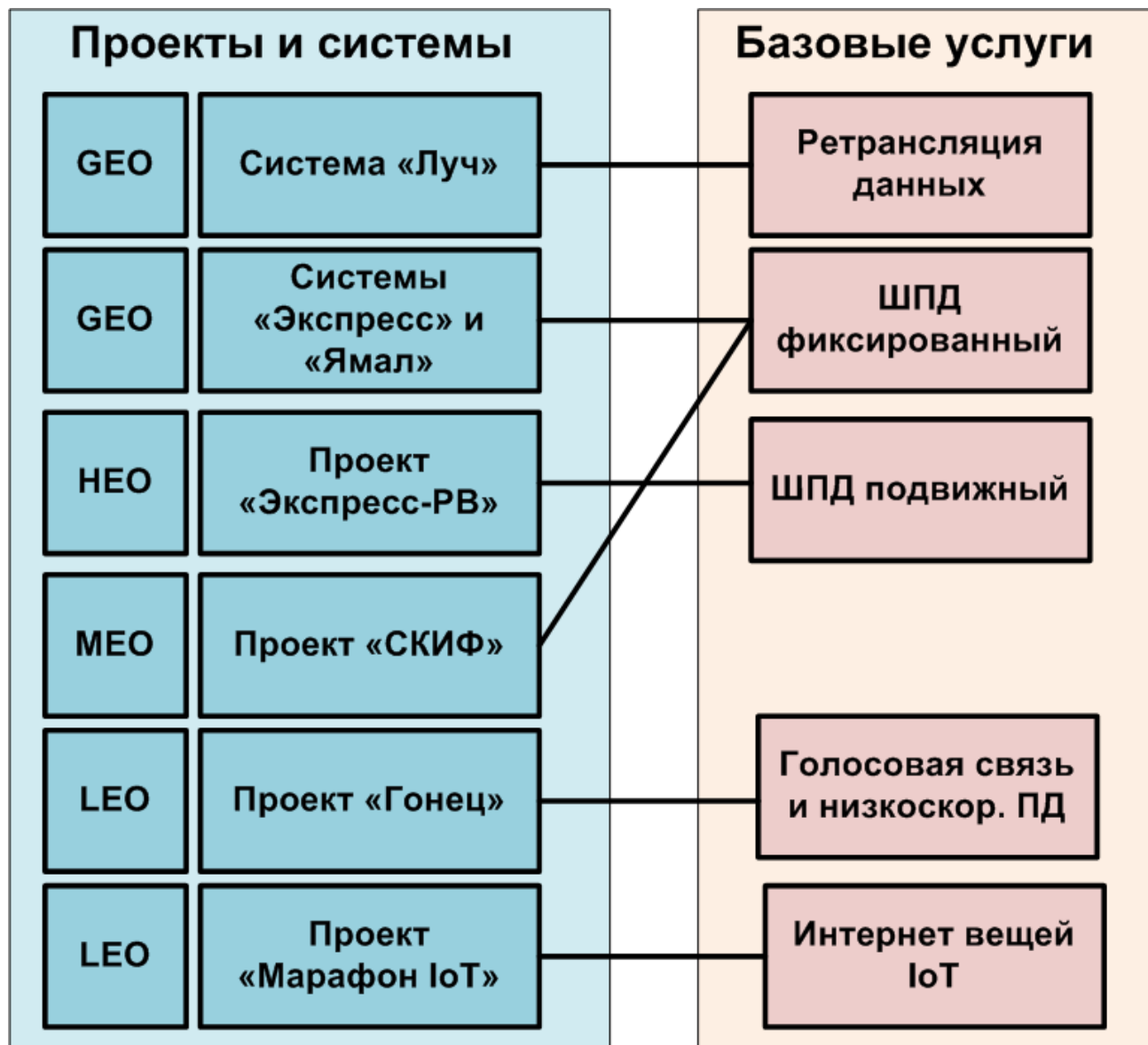


Рис.2. Зона радиовидимости станций сопряжения (зеленый цвет) и мгновенная зона обслуживания КА (синий цвет) при наличии МЛС

Телекоммуникационное направление



Орбита «Кентавр»

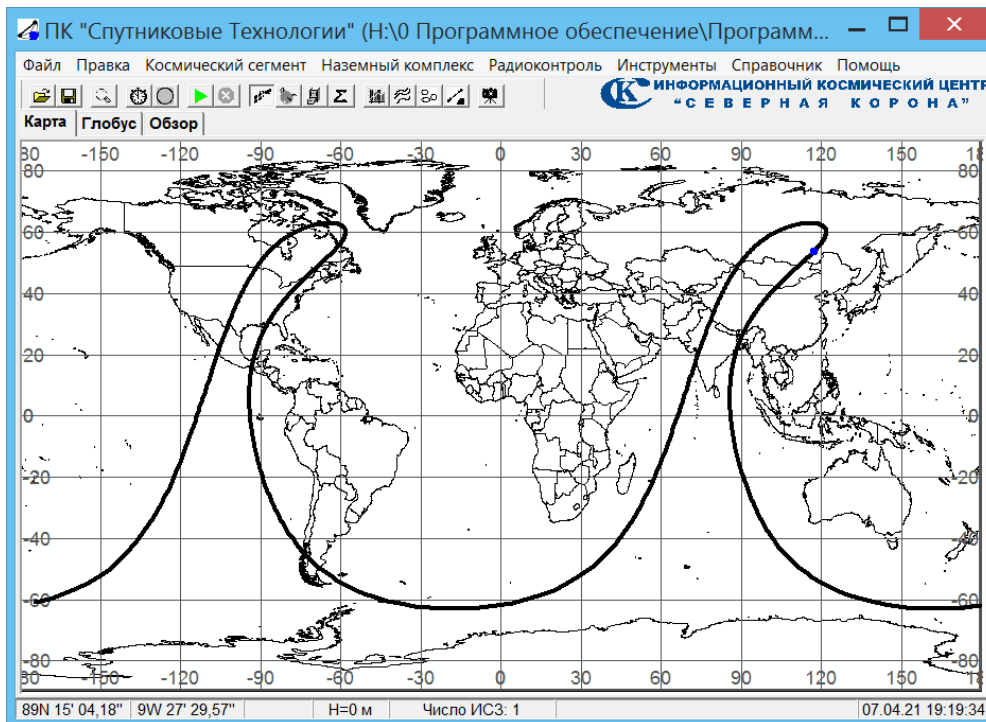


Рис.1. Орбита «Молния» (классический вид)

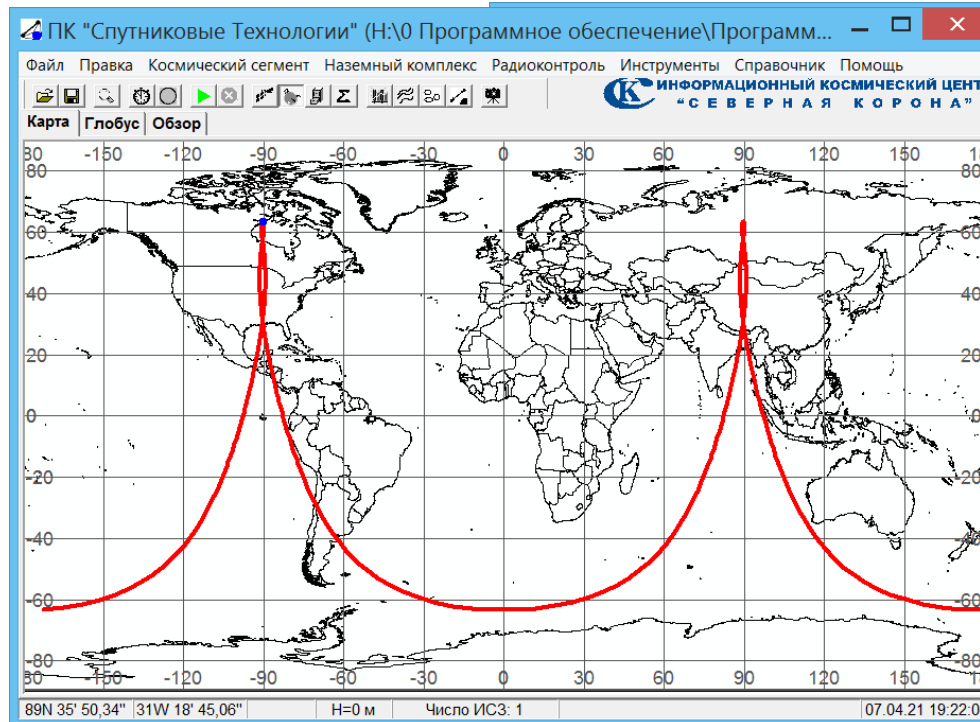


Рис.2. Орбита «Кентавр»

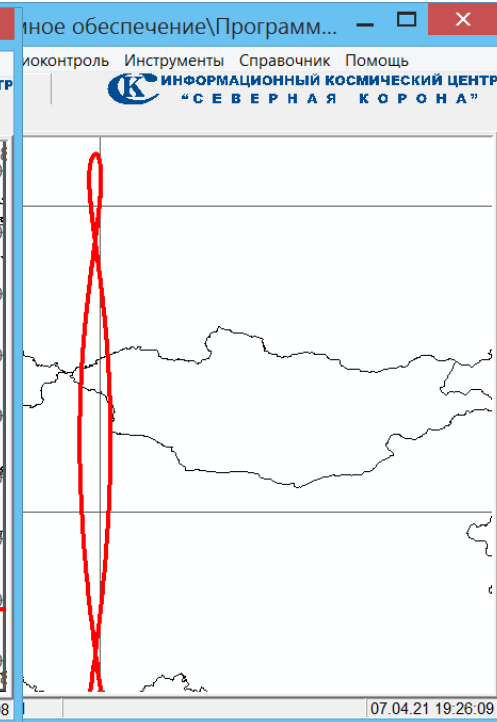


Рис.3. Апогейный участок орбиты «Кентавр»

Орбита «Кентавр» - наличие на апогейном участке 12-и часовой ВЭО орбиты характерной «восьмерки».

Орбита выявлена путем моделирования в 1995 г в ходе поиска вариантов построения региональной системы спутниковой связи.

Проект системы «Кентавр» - 4 спутника на орбите «Кентавр»

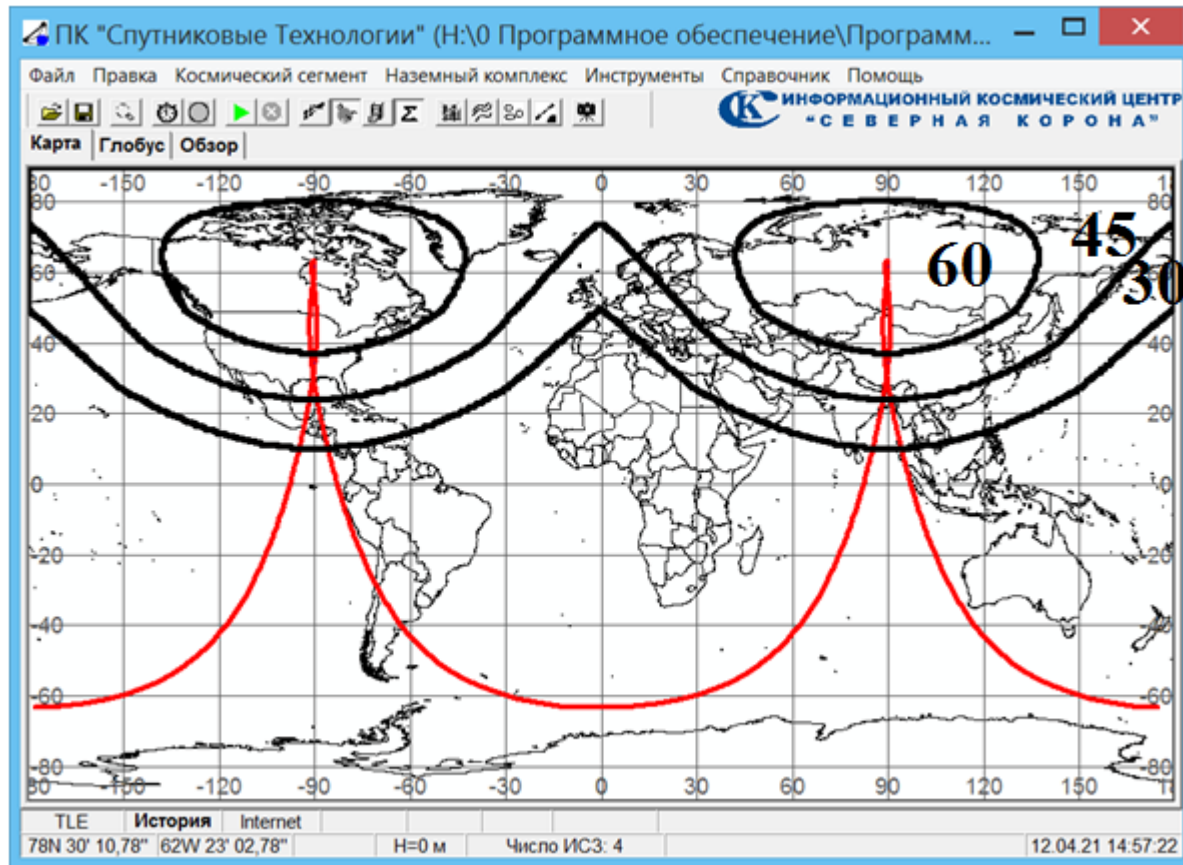


Рис.1. ГЗРВ (УМ=30, 45 и 60 град)

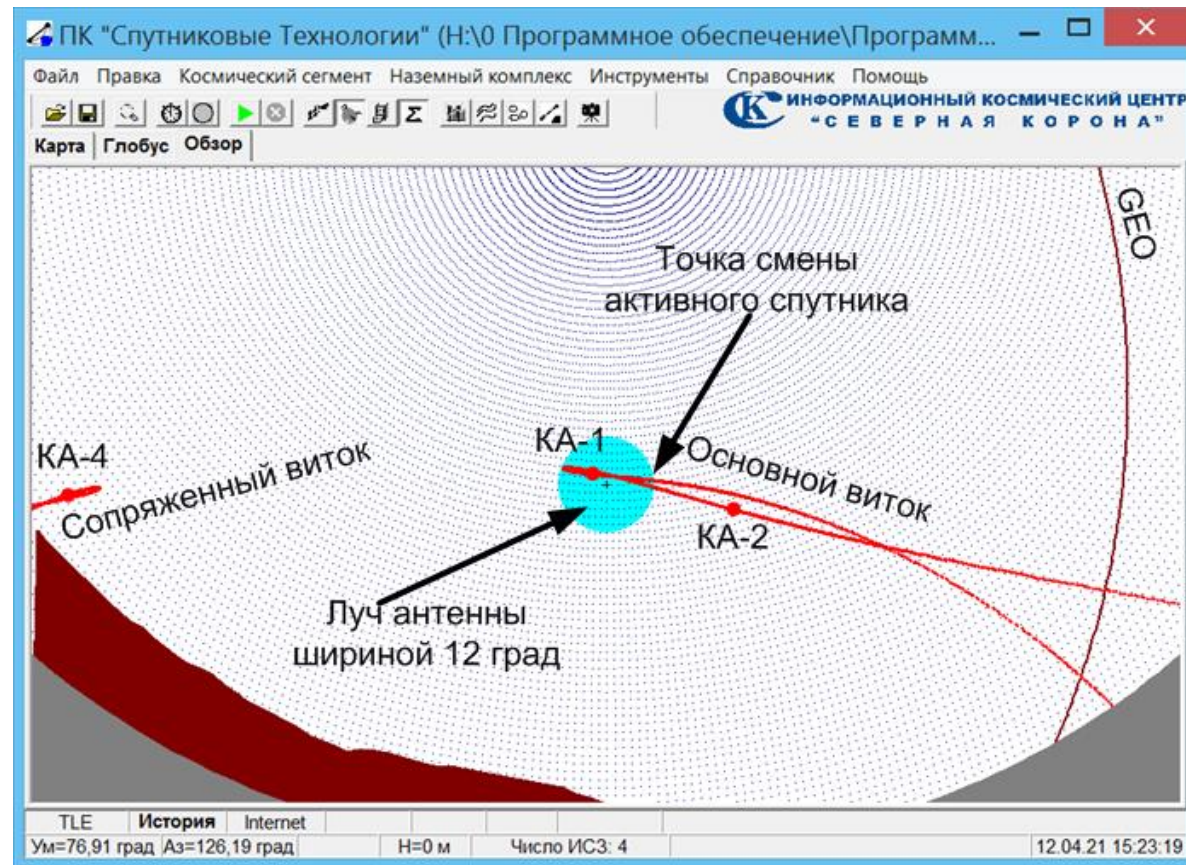


Рис.2. Вид со стороны антенны ЗС

Проект «Кентавр» - система спутниковой связи в составе 4-х космических аппаратов на орбите «Кентавр», предназначенная для обеспечения работы персональных абонентских станций. Разработка велась в 1996-2001 г составом НПО Машиностроения, АО «ИКСЦ «Северная Корона», 16 ЦНИИИ и ЛОНИИР.

Проект системы «Экспресс-РВ» - 4 спутника на орбите «Кентавр»



Рис.1. Патент РФ №2223205
(Орбита «Кентавр»)

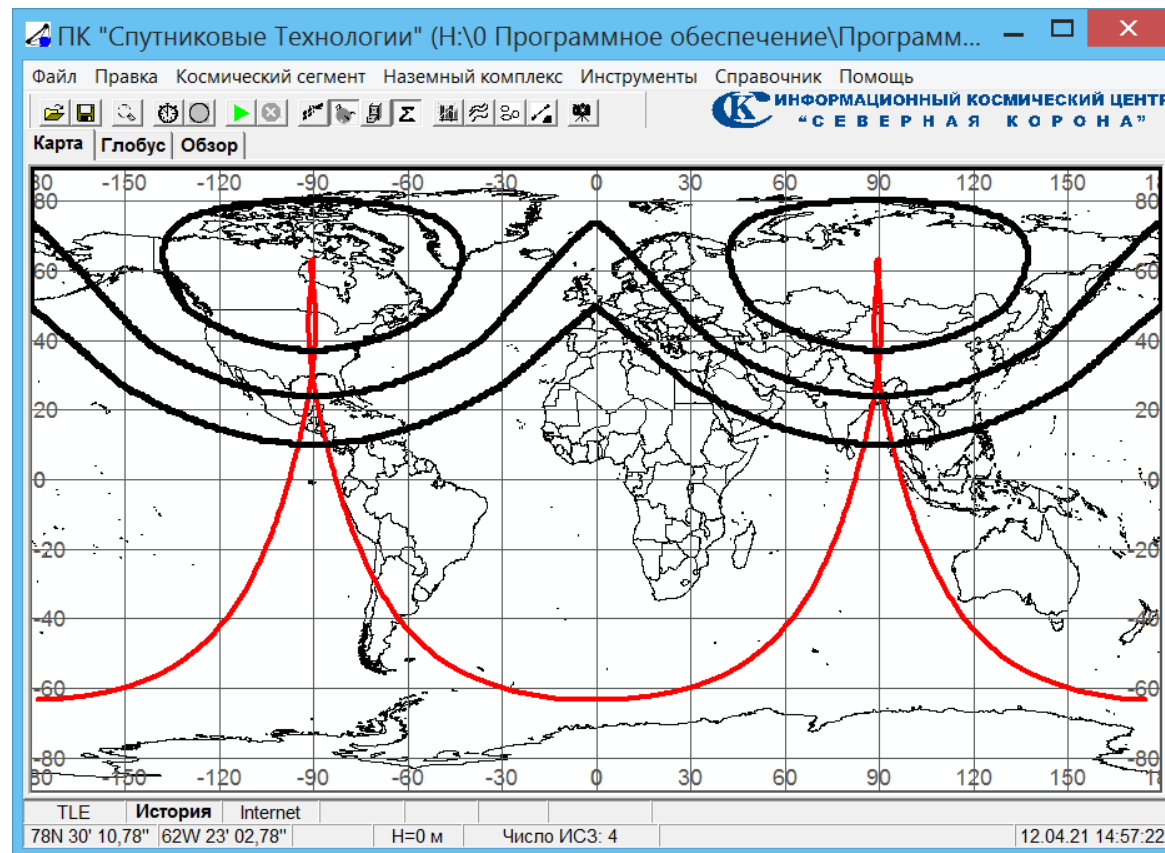


Рис.2. ГЗРВ системы «Экспресс-РВ» ($UM=30, 45$ и 60 град)

Проект «Экспресс-РВ» - спутниковая система ШБД. Баллистическая структура полностью соответствует структуре проекта «Кентавр».

Проект входит в ФЦП «СФЕРА»

Использование орбиты «Кентавр» позволяет в ряде случаев упростить как абонентские станции, так и станции сопряжения

Проект системы спутниковой связи «Гонец» (Зоны обслуживания системы)

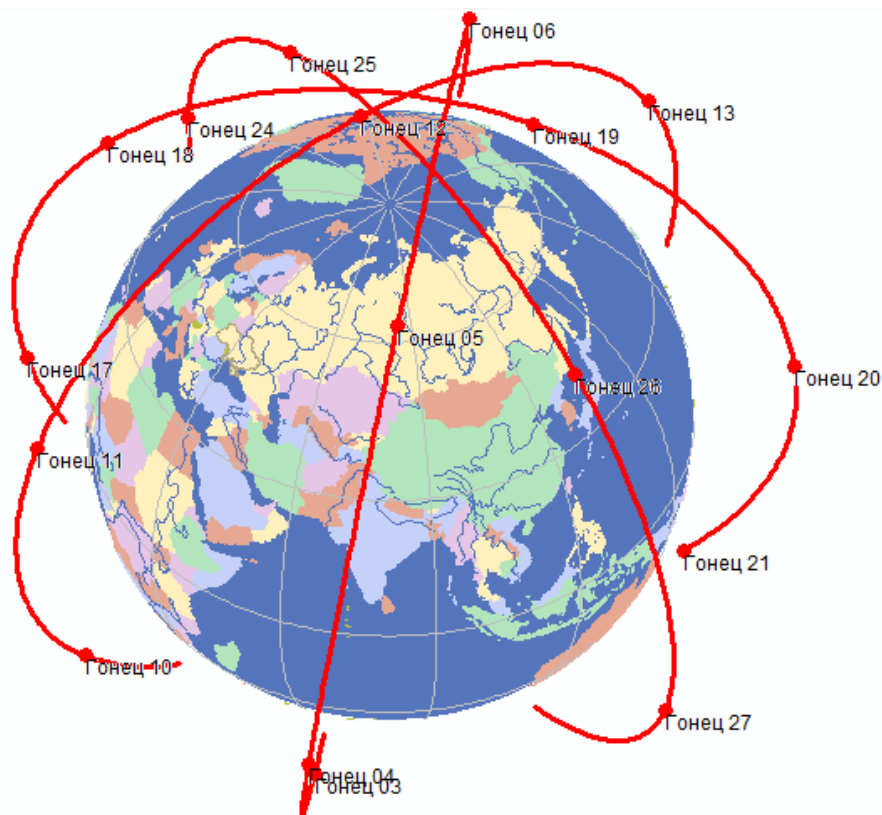


Рис.1. Баллистическая структура системы
(28 спутников, $i=82,5$ град, $h=1500$ км)

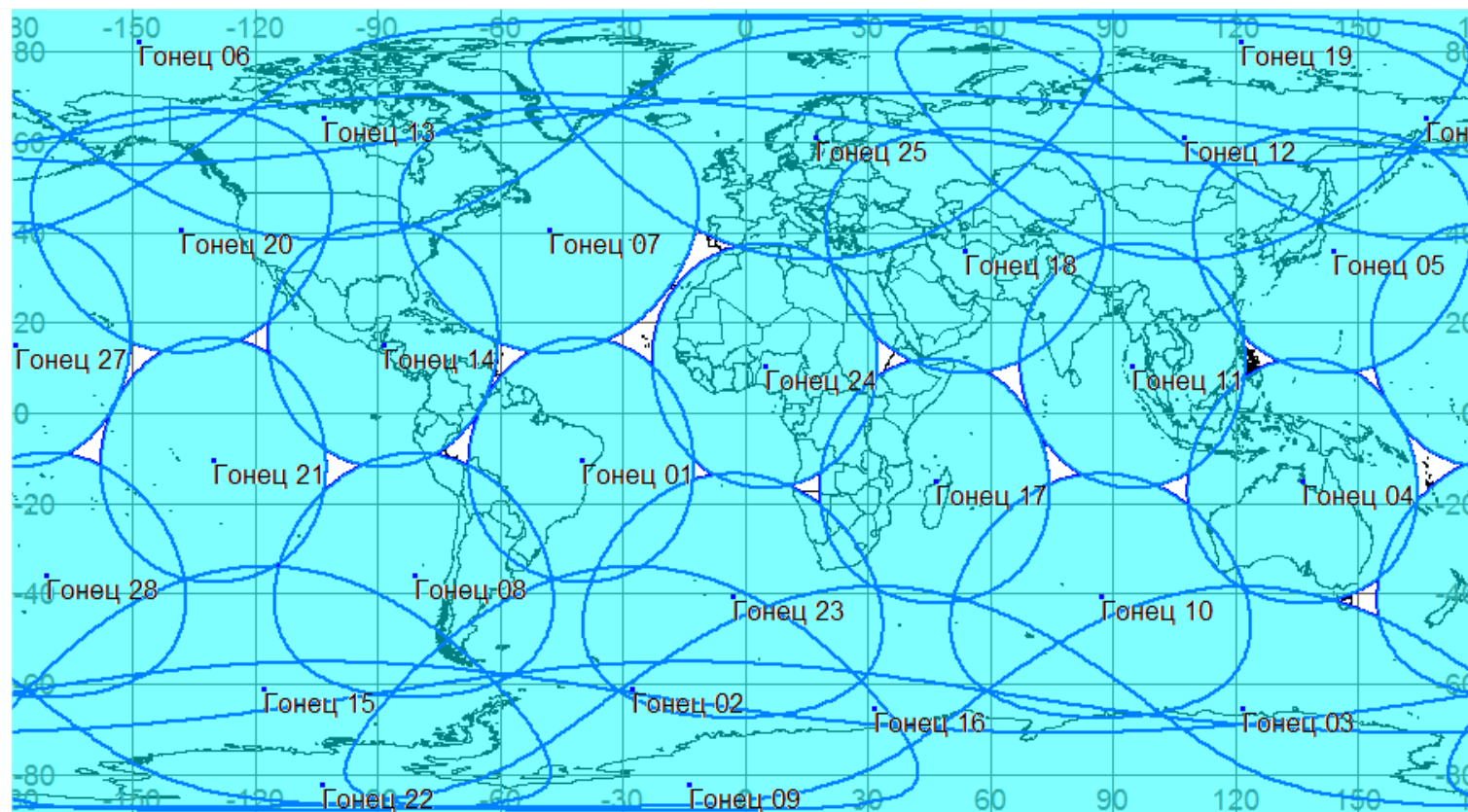


Рис.2. Мгновенные зоны радиовидимости спутников системы
при $УМ \geq 10$ град

Проект системы спутниковой связи «Гонец» (гарантированная зона радиовидимости)

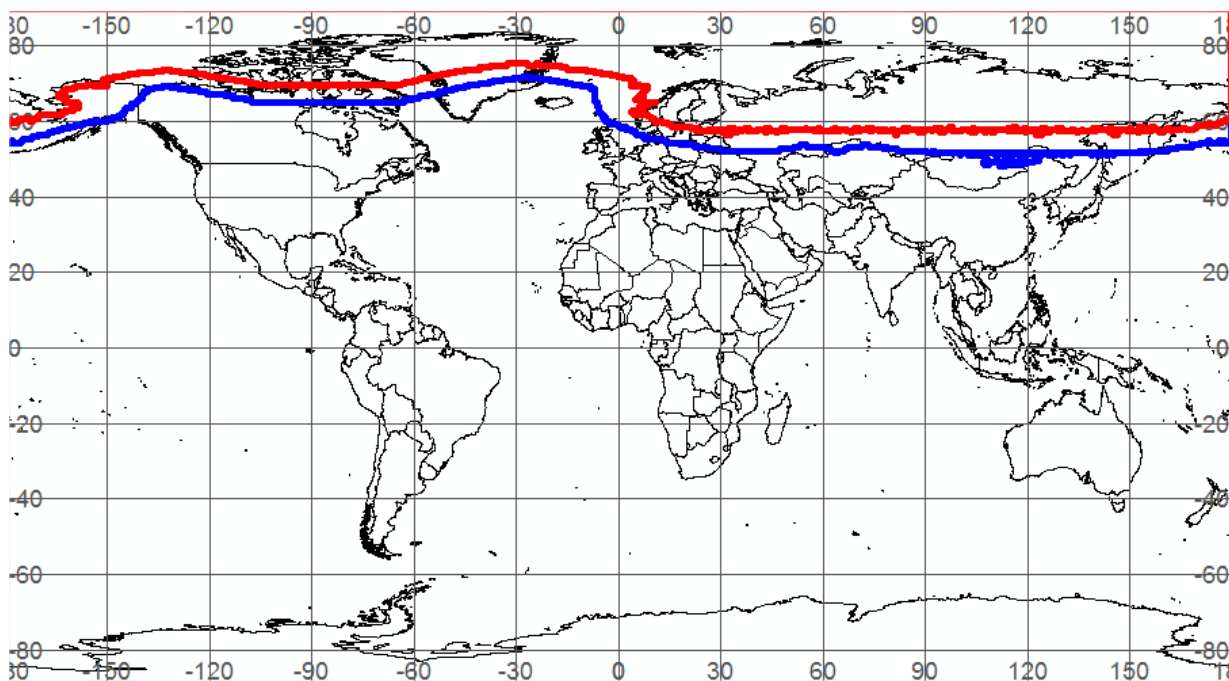


Рис.1. ГЗРВ системы для 100% времени года при УМ=10 град (красная линия) и 5 град (синяя линия)

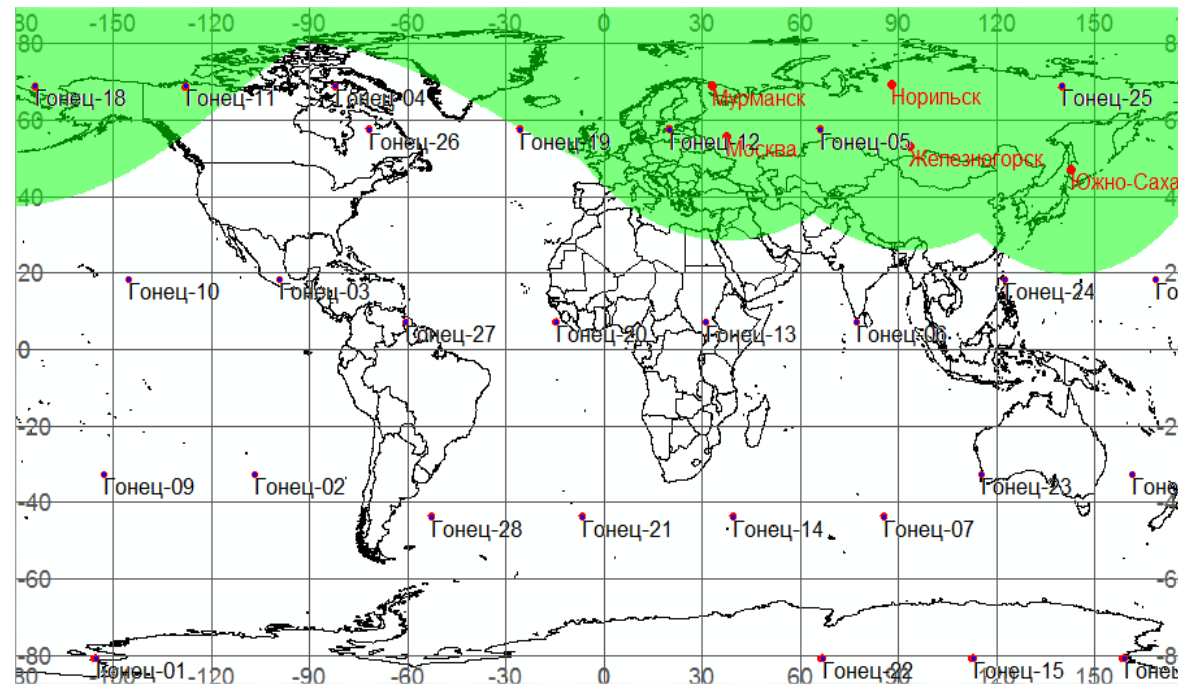


Рис.2. Зона радиовидимости наземных станций сопряжения (Москва, Мурманск, Норильск, Железногорск, Южно-Сахалинск, Анадырь)

Выводы:

1. ГЗРВ системы полностью определяет для потенциальных пользователей понимание о качественных характеристиках и зонах обслуживания системы и позволяет планировать ее использование

2. Зона радиовидимости наземных шлюзов практически не несет для потенциальных пользователей полезную информацию. Более того, вводит в заблуждение в части территории и надежности обслуживания.

Проект системы IoT «Марафон» (оптимизация баллистической структуры орбитальной группировки)

А) Приполярные орбиты

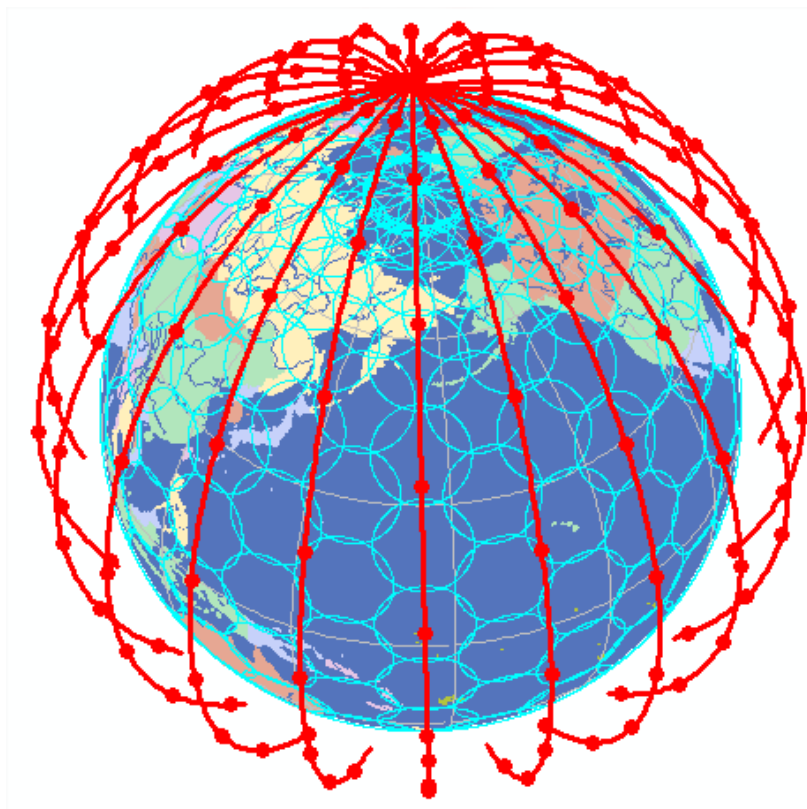


Рис.1. ОГ «Марафон» (252 КА)

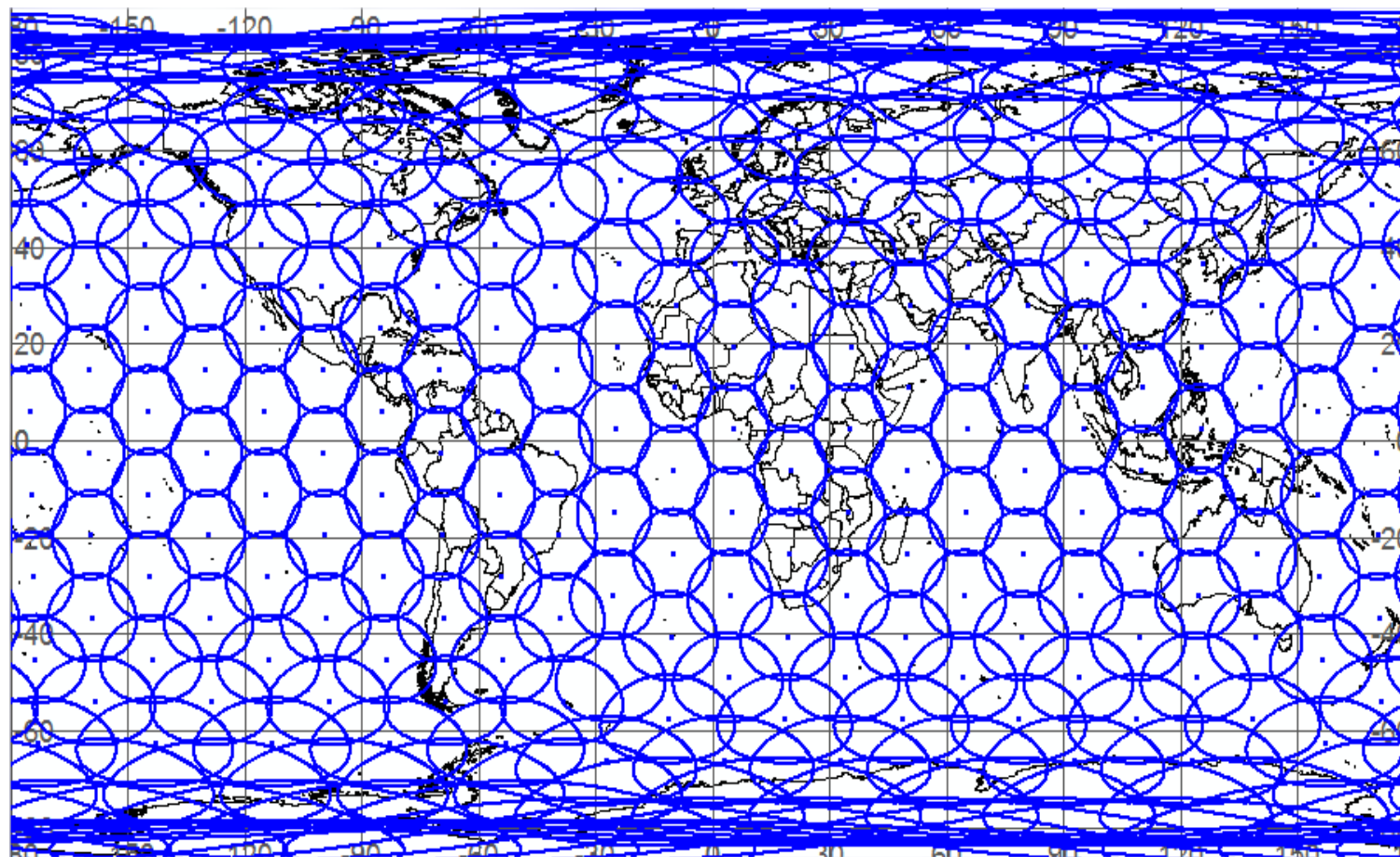


Рис.2. Мгновенные зоны радиовидимости спутников системы
при $UM \geq 30$ град

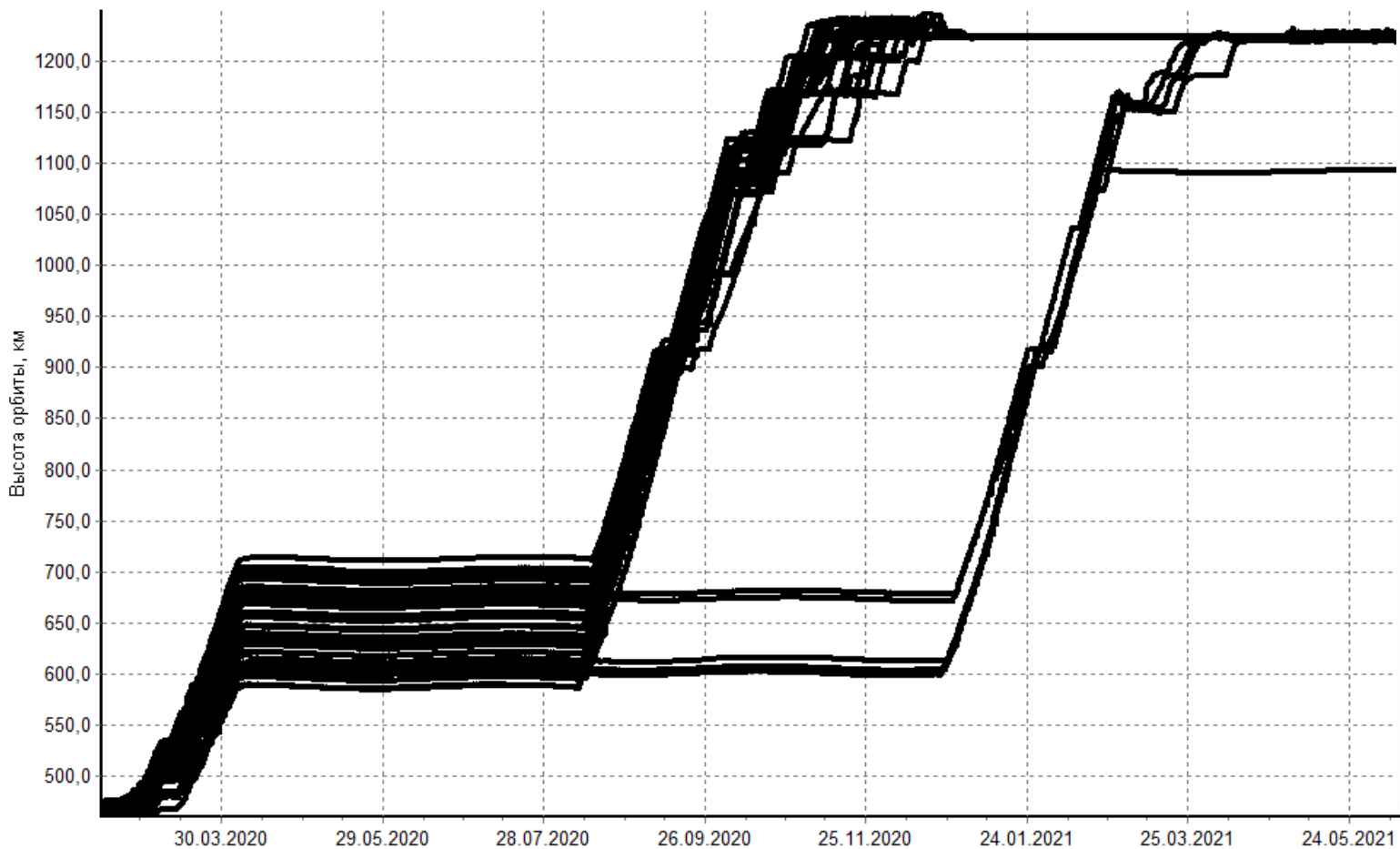


Рис.1 Графики изменения высоты КА из состава группового запуска (31 КА) системы OneWeb от 06.02.2020 г ($i=87.5$ град, время развертывания 8...12 мес.)

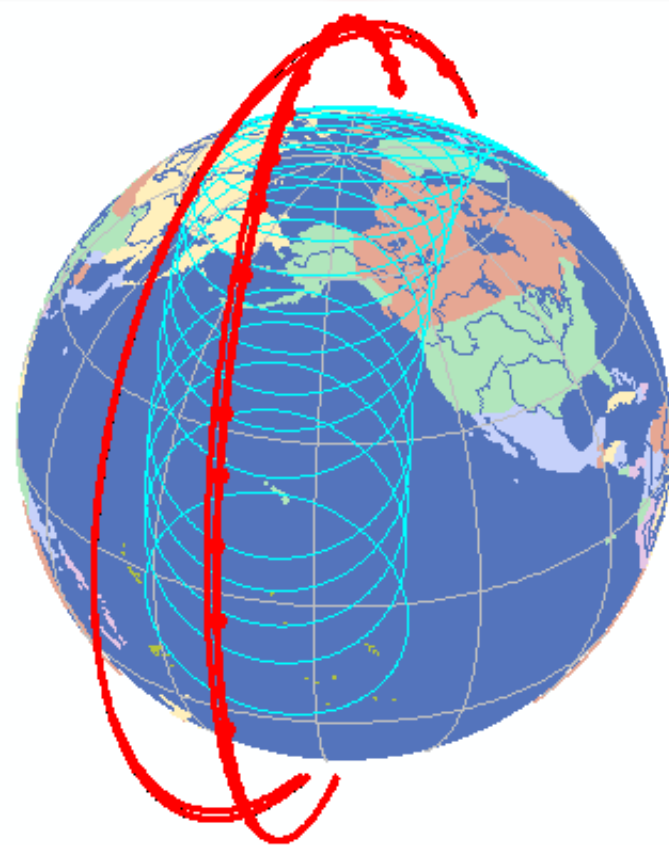


Рис.2 Результат – через год сформированы две плоскости

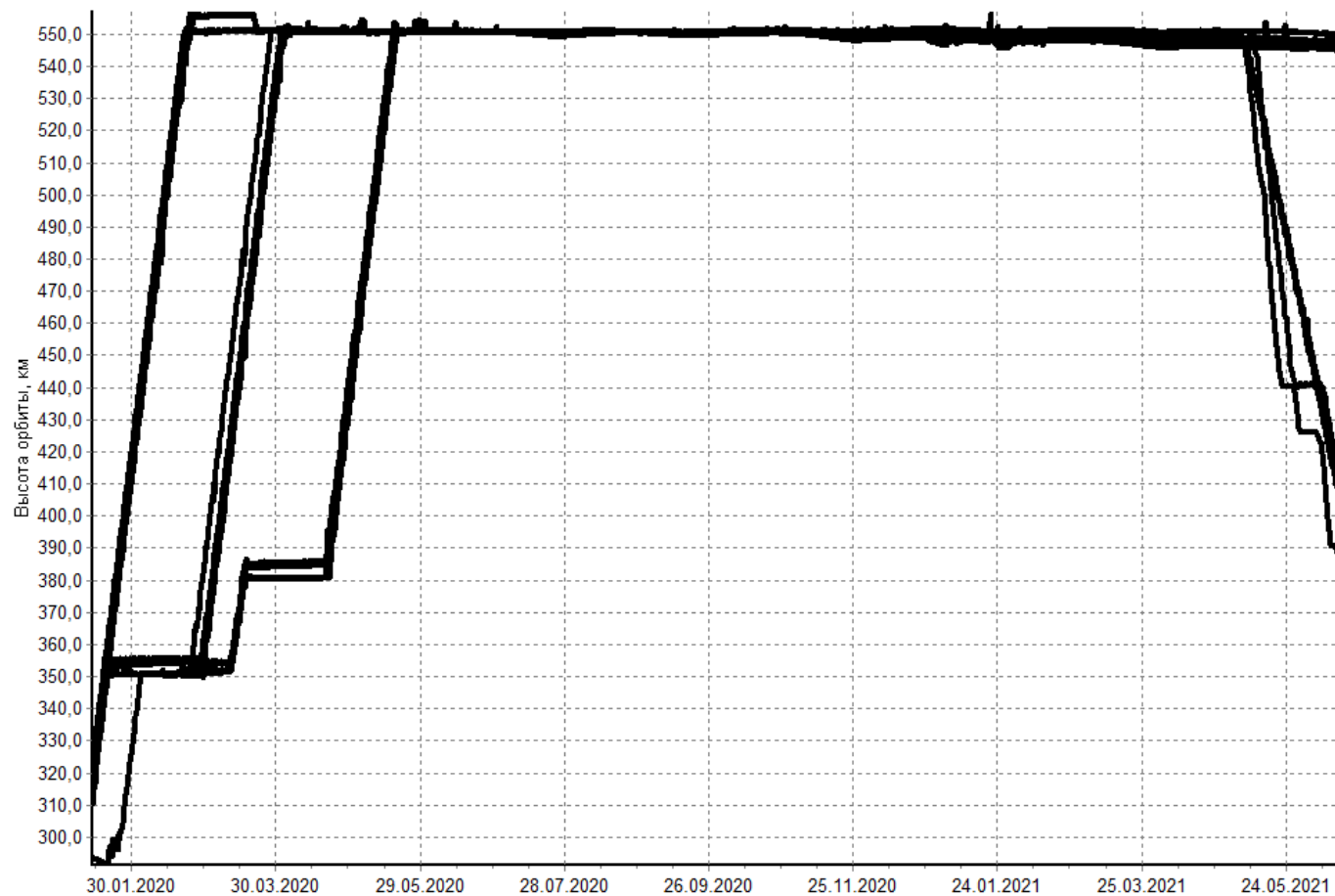


Рис.1 Графики изменения высоты КА из состава группового запуска (57 КА) системы StarLink от 07.01.2020 ($i=53$ град, время развертывания в рабочих плоскостях: 1,5 мес+1,5 мес + 1.5 мес.)

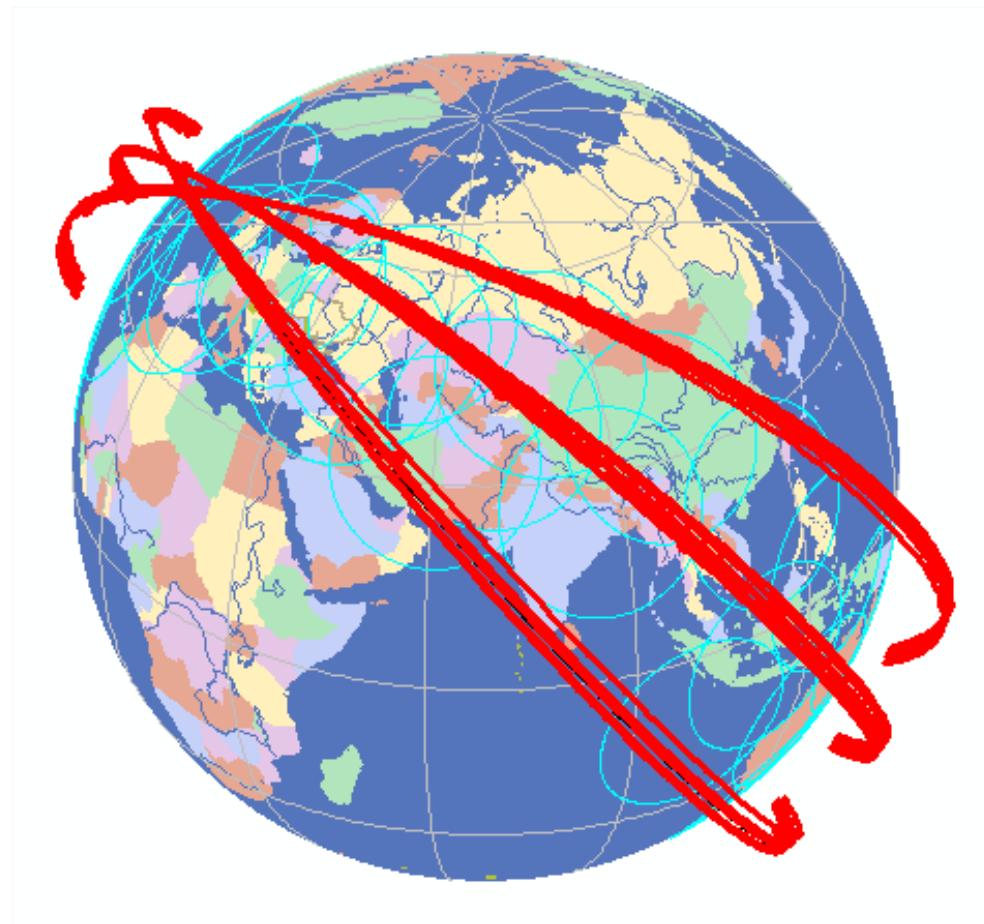


Рис.2 Результат : через 4,5 мес сформированы три плоскости ОГ системы StarLink

Проект системы IoT «Марафон» (оптимизация баллистической структуры орбитальной группировки)

Б) Наклонные орбиты

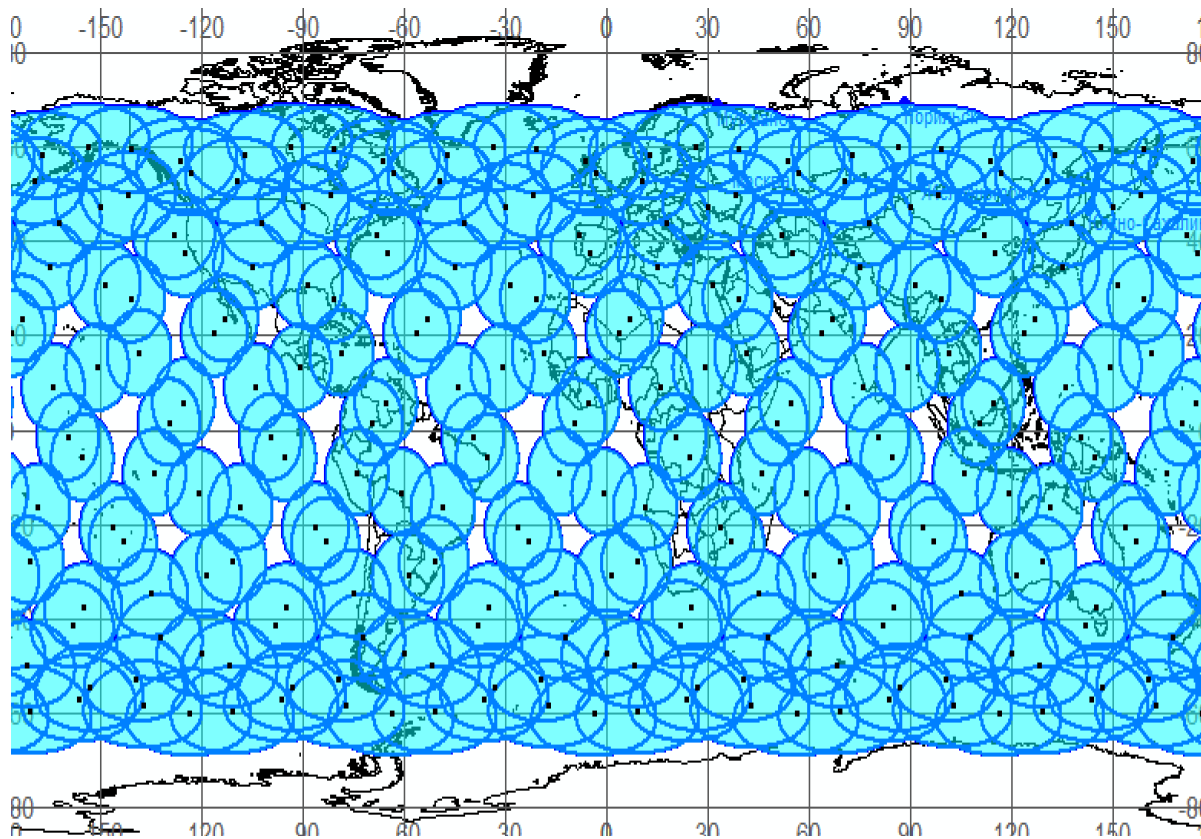


Рис.1. Типовой вариант №1

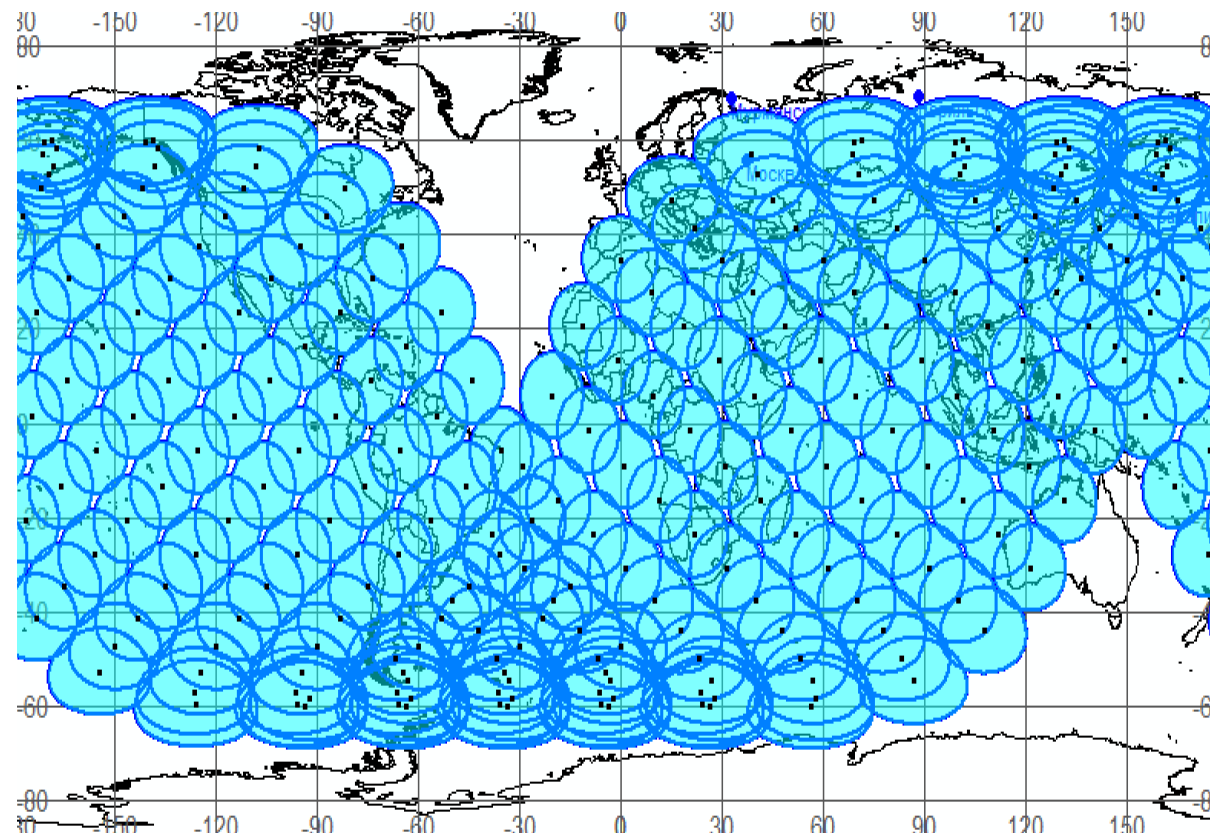


Рис.2. Типовой вариант №2

Проект системы IoT «Марафон» (оптимизация баллистической структуры орбитальной группировки)

Б) Наклонные орбиты

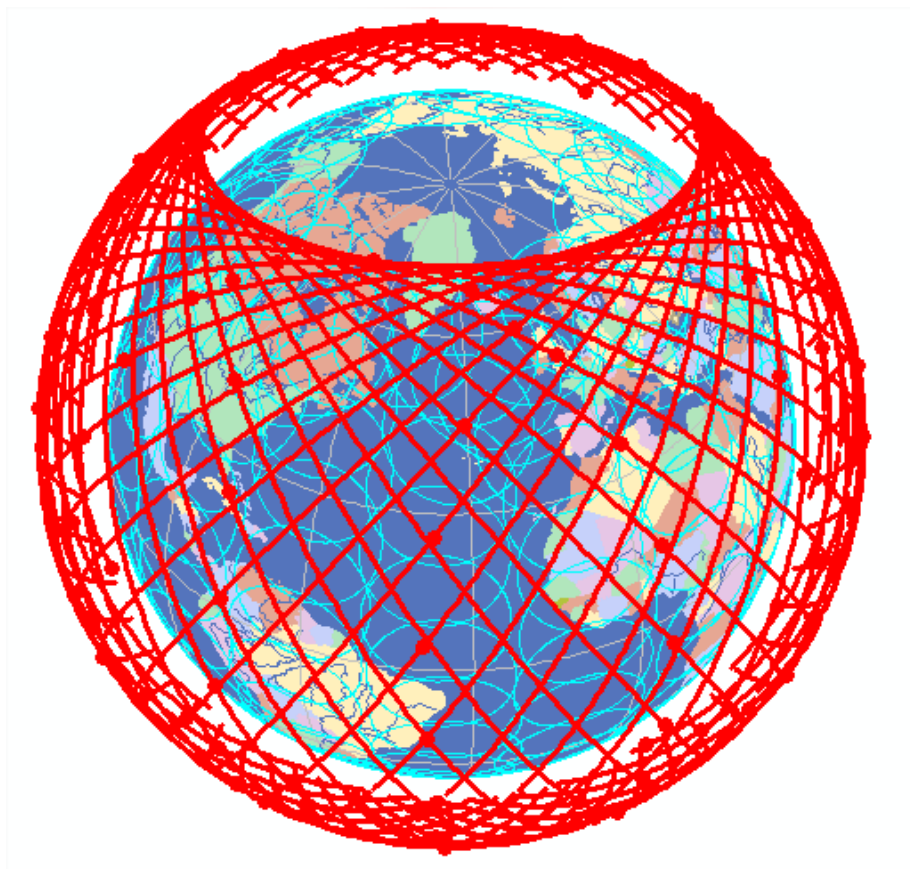


Рис.1. Базовый эшелон ОГ «Марафон» при использовании наклонных орбит

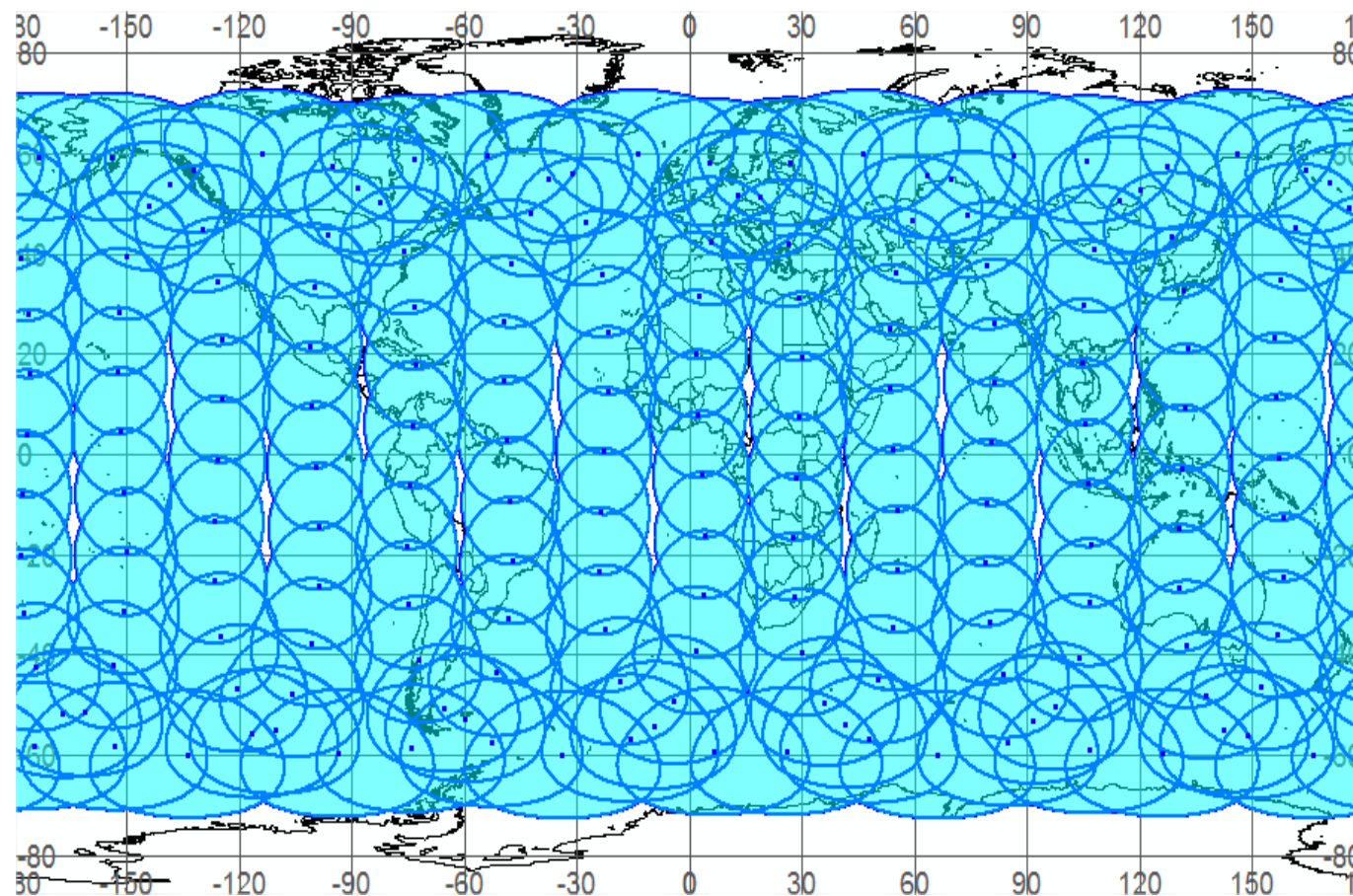


Рис.2. Мгновенные зоны радиовидимости спутников системы (**уникальность выбора структуры** - обеспечивается эффект синхронного движения спутников в «вертикальных цепочках»)

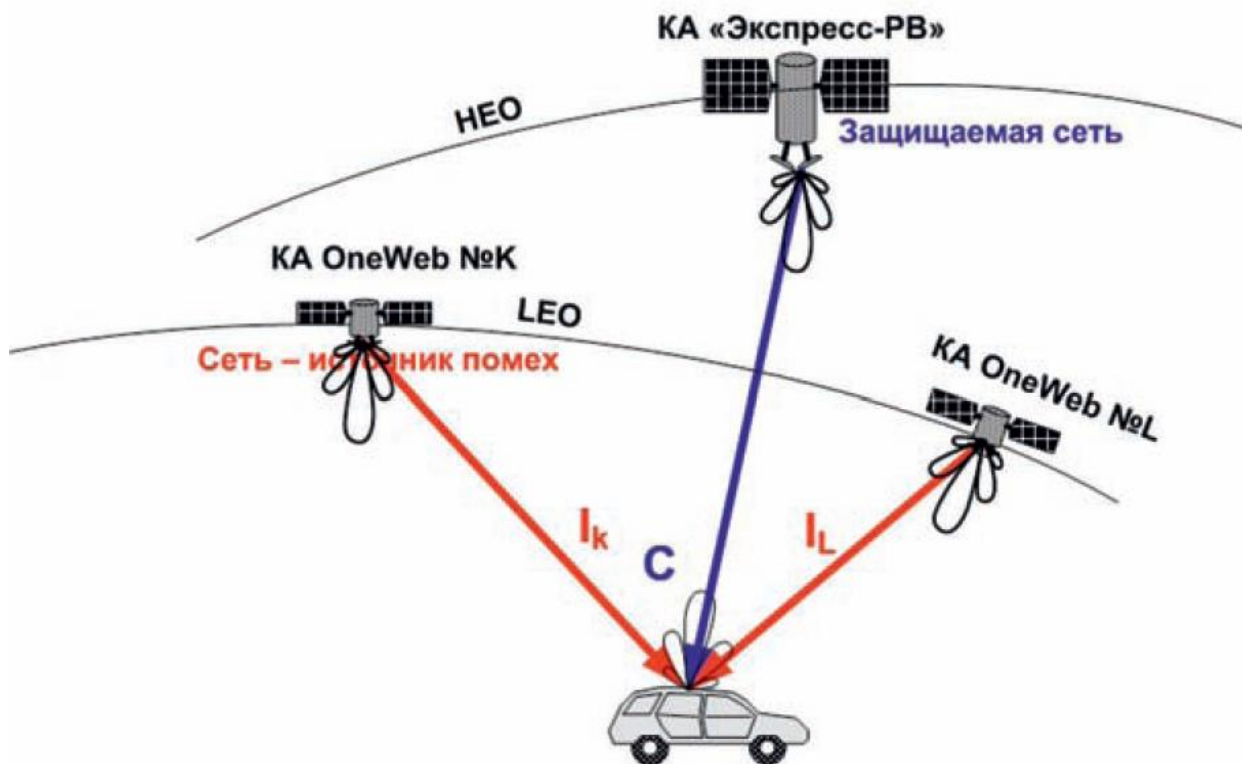


Рис.1. Постановка задачи анализа ЭМС между системами «Экспресс-РВ» и OneWeb – анализ помех по входу абонентской станции системы «Экспресс-РВ»

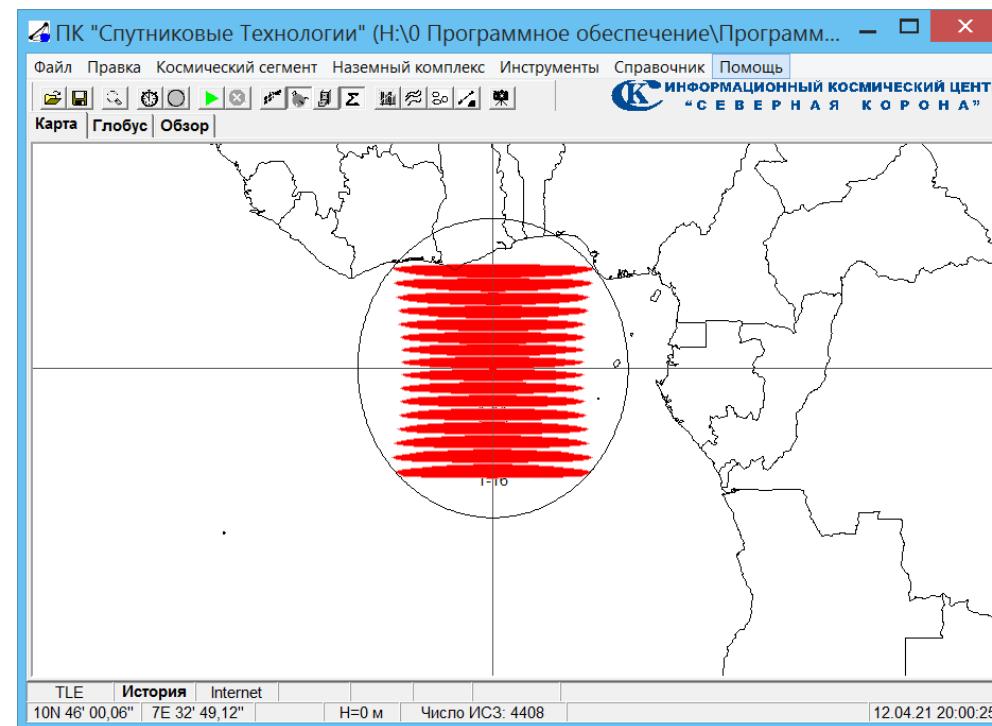


Рис.2. Лучи КА OneWeb

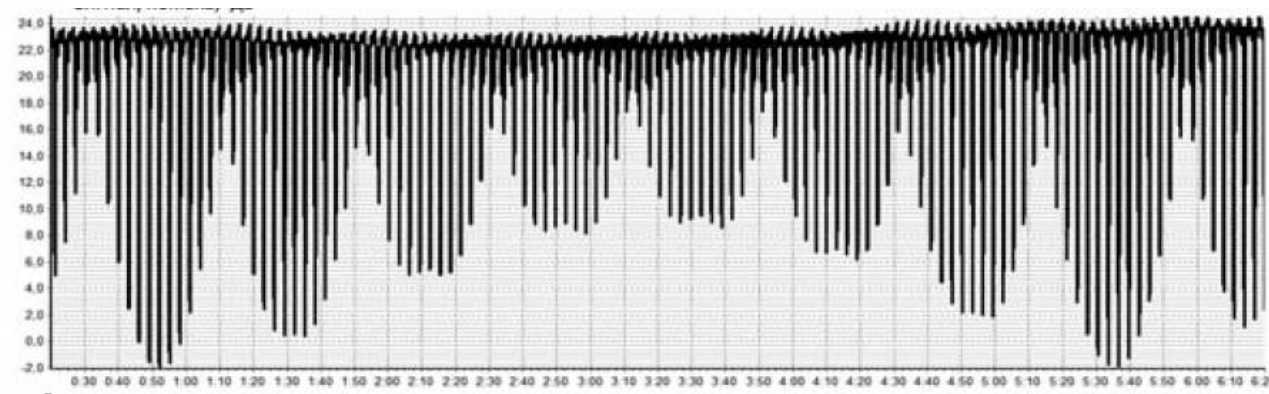


Рис.3. График значения C/I на входе приемника абонентской станции системы «Экспресс-РВ»

1. Системы на НГСО, особенно большой мощности, обладают значительным потенциалом, возможности которого до конца еще не раскрыты.
2. Одной из ключевых характеристик спутниковых систем на НГСО являются ГЗРВ. Оптимизация ГЗРВ является одним из критериев оптимизации баллистической структуры и позволяет повысить качественные характеристики системы.
3. Обеспечение внутрисистемной ЭМС является одним из условий в реализации потенциальной пропускной способности системы
4. Обеспечение межсистемной ЭМС является ключевым условием реализации системы и требует проработки программно-методического обеспечения
5. Баллистическая структура должна соответствовать требованиям минимизации затрат на пусковые услуги
6. Для оценки эффективности закладываемых организационно-технических решений целесообразно использовать моделирующие программные комплексы, например, САПР «Альбатрос»



Информационный Космический Центр «Северная Корона»

Спасибо за внимание!

Автор благодарен Анпилову В.Р. за помощь в постановке и совместном решении задач оптимизации баллистической структуры системы «Марафон IoT»



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