

**Моделирование многоспутниковых группировок
на негеостационарных орбитах
(на примере системы OneWeb)**

Гриценко Андрей Аркадьевич

Генеральный директор, кандидат технических наук

**Аналитический Центр при Правительстве РФ
Конференция «Высокоинформативные системы связи и вещания HTS и LEO/MEO-
HTS: бумажные проекты или прорывное направление космической индустрии»
14 декабря 2016 г
г. Москва**



Математическое моделирование спутниковых систем

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:

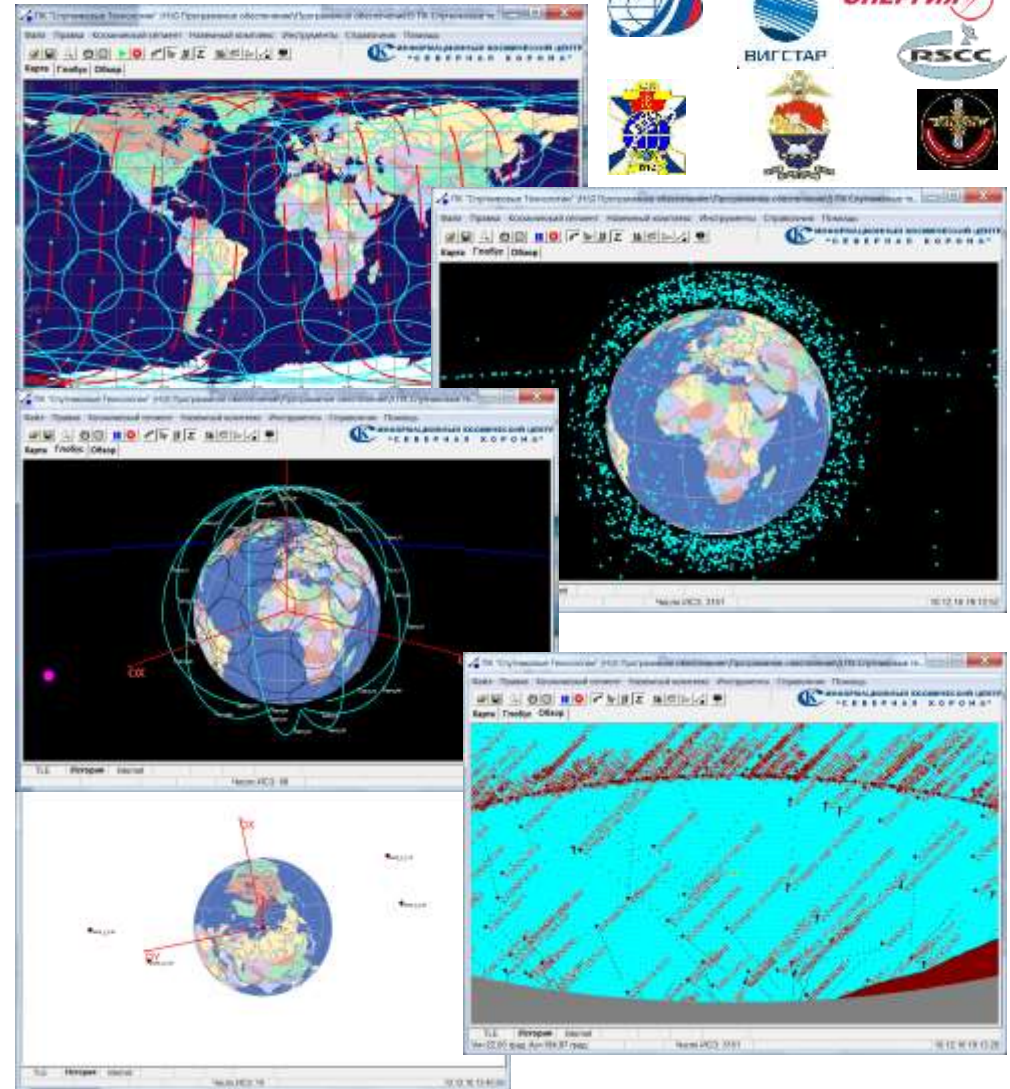
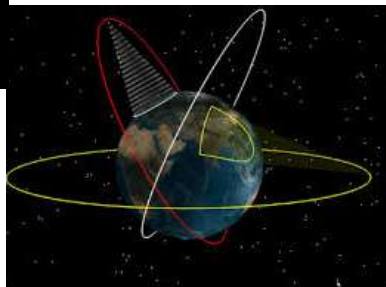
- Подготовка исходных данных (получение, обработка, ввод) ;
- Настройка и конфигурирование моделей;
- Моделирование (с визуализацией процесса и предварительной обработкой результатов);
- Обработка результатов моделирования
- Представление результатов в удобном для практики виде (графики, таблицы, карты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



Универсальные системы моделирования

STK (Systems Tool Kit)
Компания AGI, США

САПР Альбатрос, ПК «Спутниковые технологии»
АО «ИКЦ «Северная Корона», Россия





САПР «Альбатрос», ПК «Спутниковые технологии» (ПК АСТ)

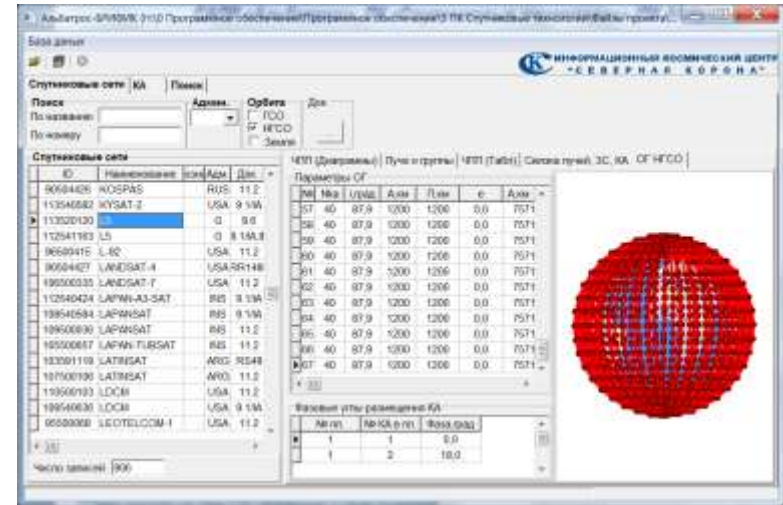
Получение и загрузка заявленных характеристик спутниковых сетей (BRIFIC BR ITU, FCC USA)

Источники данных:

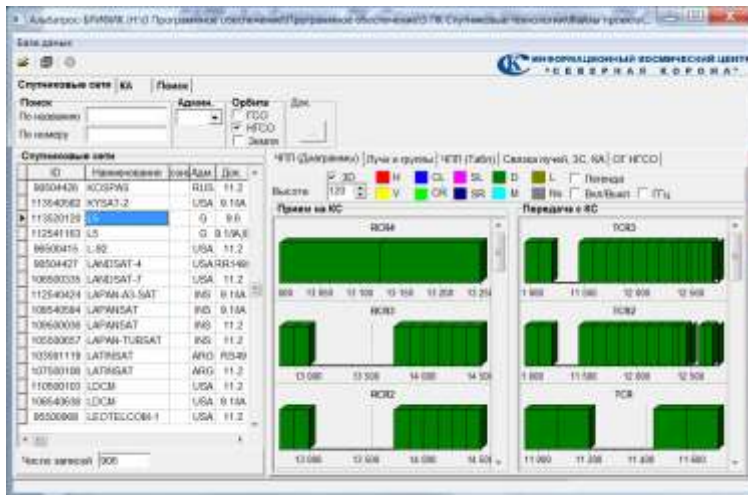
- база данных спутниковых сетей BRIFIC (srsXXXX.mdb);
- Международные информационные частотные циркуляры IFIC;
- файлы данных по спутниковым сетям FCC USA.

Обеспечивается:

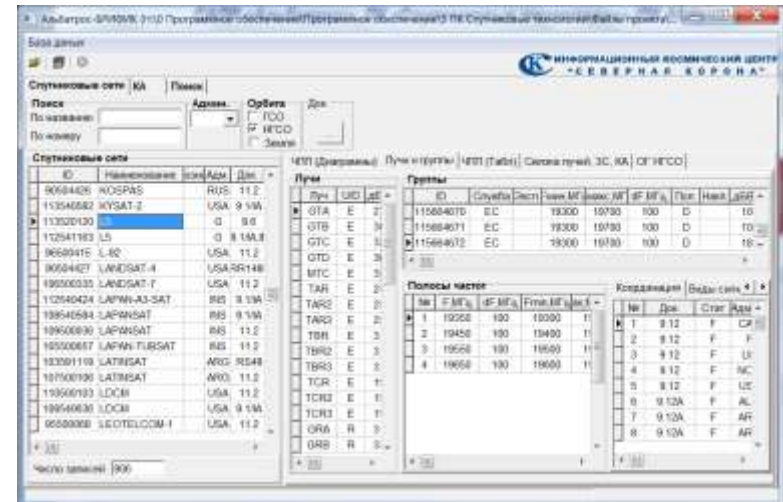
- Автоматическая обработка наборов данных;
- отображение частотно-поляризационных планов космических станций;
- отображение структуры орбитальной группировки;
- данных о статусе сетей (публикация, координация, нотификация) и др.



Сеть L5 (система OneWeb) – параметры ОГ



Сеть L5 (OneWeb) – частотно-поляризационный план (ЧПП)



Сеть L5 (система OneWeb): ЧПП в табличной форме



САПР «Альбатрос», ПК «Спутниковые технологии» (ПК АСТ)

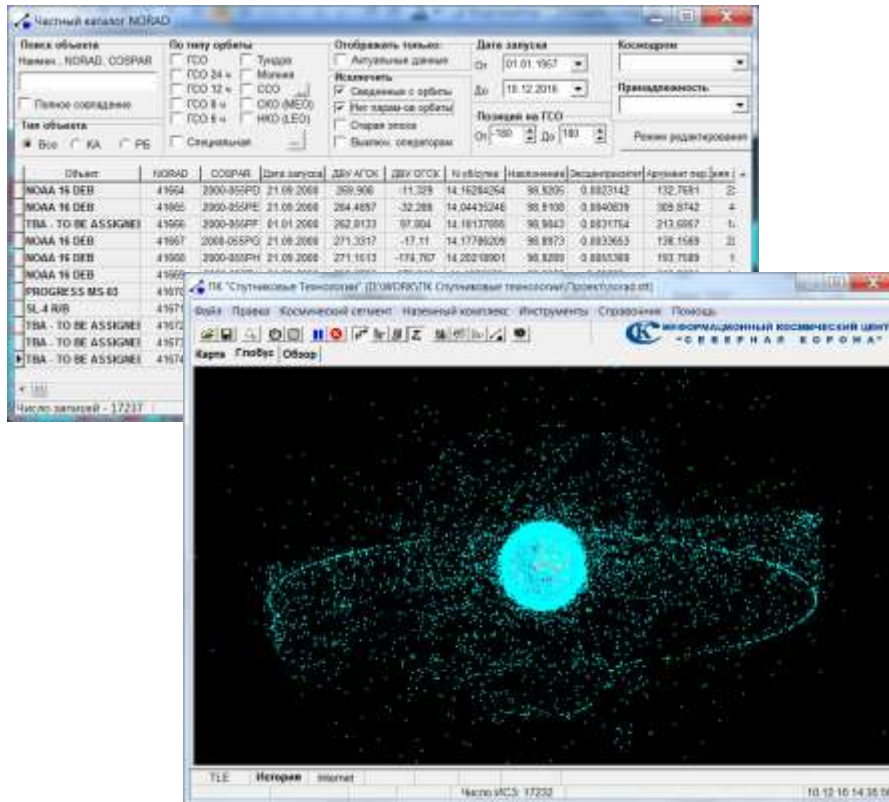
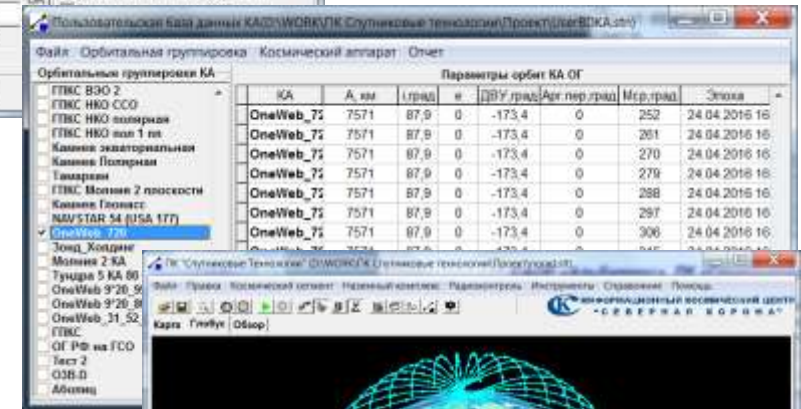
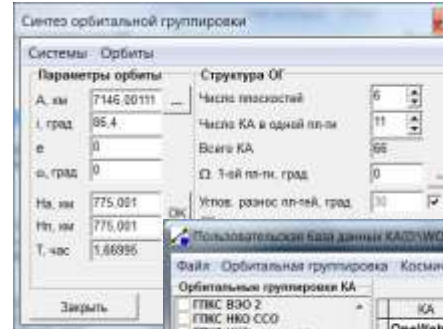
В состав ПК АСТ входят:

- частный каталог ИСЗ (более 40 тыс. объектов) ;
- пользовательская БД ИСЗ;
- пользовательская БД наземных РЭС.

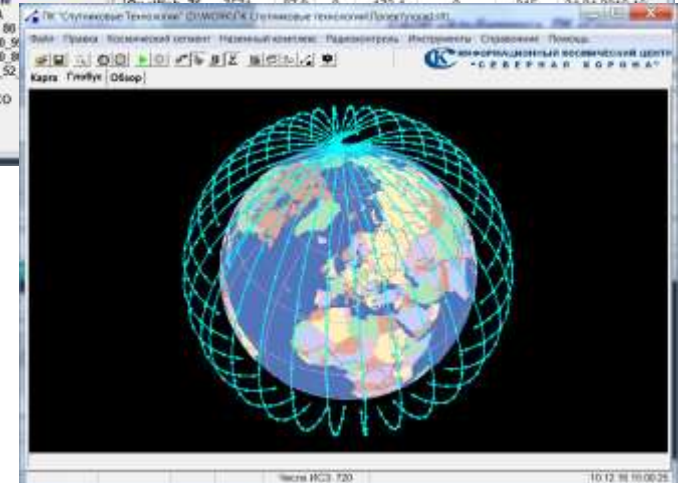
Частный каталог ИСЗ включает как текущие актуальные данные (обновляемые online) по всем ИСЗ, так и историю изменения баллистических данных по каждому ИСЗ.

Пользовательская БД ИСЗ

ведется и наполняется оператором. Поддерживается перенос данных из частного каталога ИСЗ, а также автоматическое формирование орбитальных структур с использованием встроенного сервиса «синтез орбитальных группировок»



Текущая ситуация в Космосе (около 20 тыс. ИСЗ)



Система OneWeb (проект)



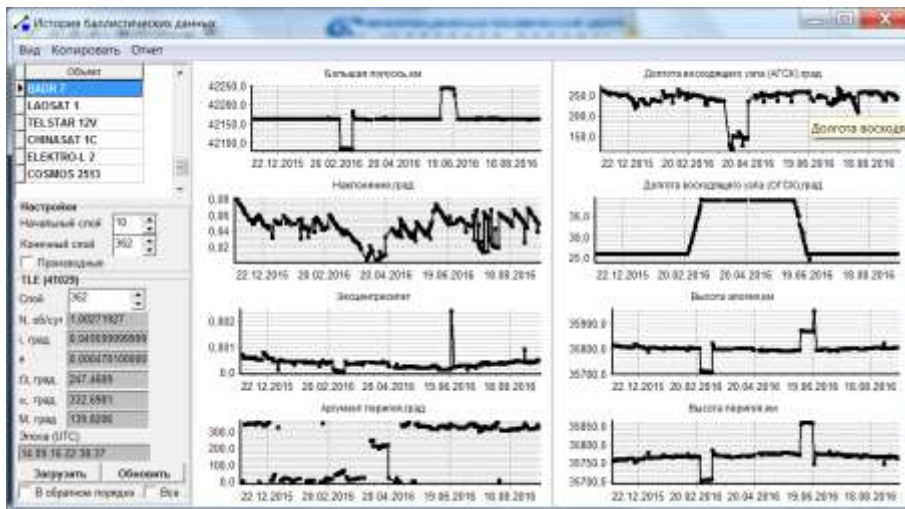
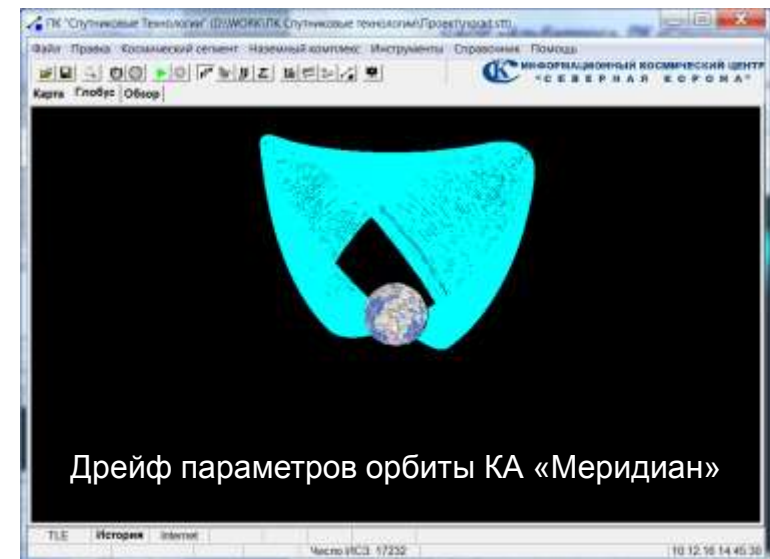
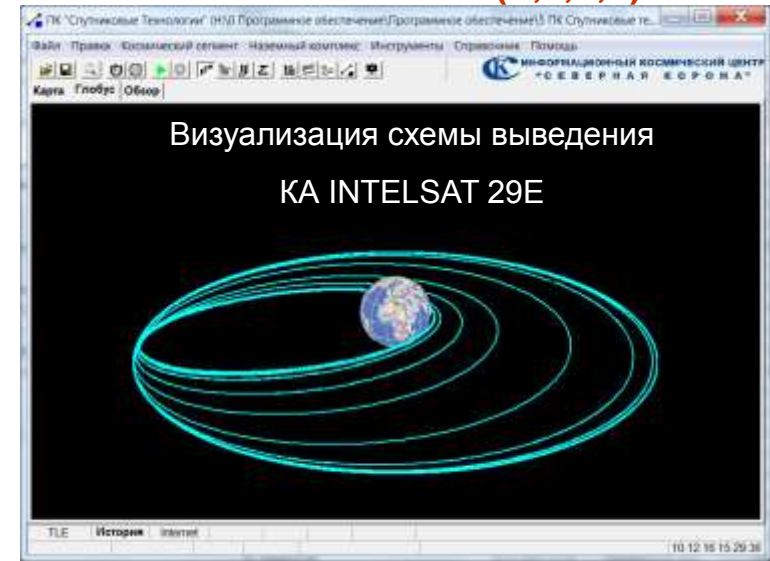
САПР «Альбатрос», ПК «Спутниковые технологии» (ПК АСТ)

Частный каталог содержит данные истории изменения параметров орбит ИСЗ (полученных по результатам траекторных измерений)

Технология 4D (X,Y,Z,T)

Это позволяет проводить:

- анализ деградации параметров орбит вследствие внешних возмущающих факторов;
- анализ работы систем коррекции орбит КА;
- анализ схем выведения КА, а также развертывания, выполнения и захоронения КА многоспутниковых группировок;
- верификацию моделей возмущенного движения;
- анализ изменения состояния орбитальных группировок;
- оценку потребного запаса характеристической скорости/или рабочего тела на удержание параметров орбит и др.



Графики изменения параметров орбит – перевод КА BADR-7 из позиции 26 в.д. в позицию 39 в.д. и обратно

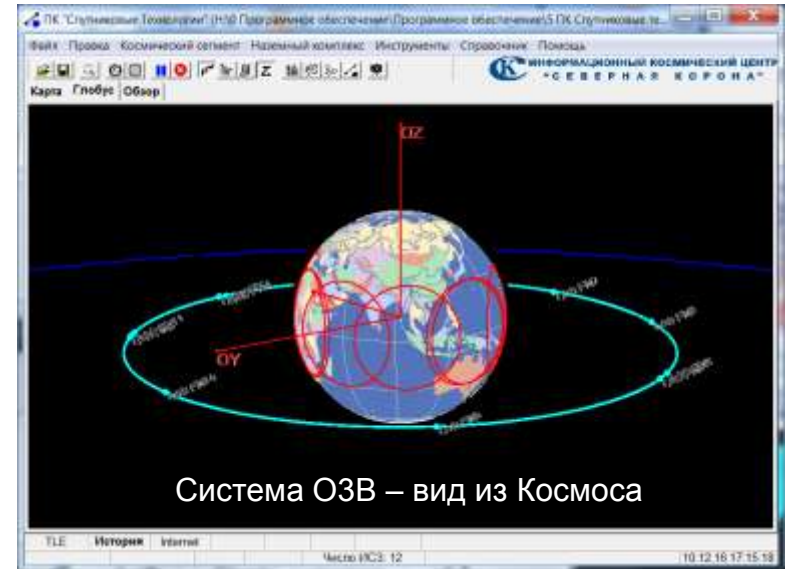


САПР «Альбатрос», ПК «Спутниковые технологии» (ПК АСТ)

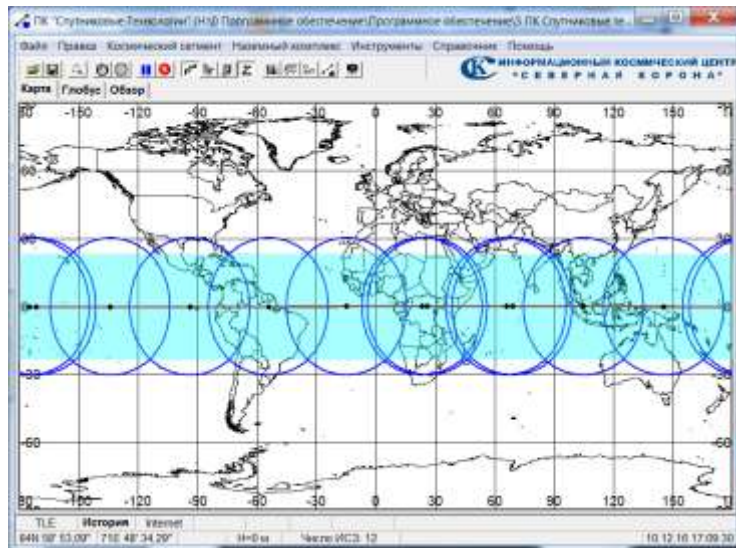
Орбиты, трассы, зоны радиовидимости, станции сопряжения

На этапе моделирования обеспечивается:

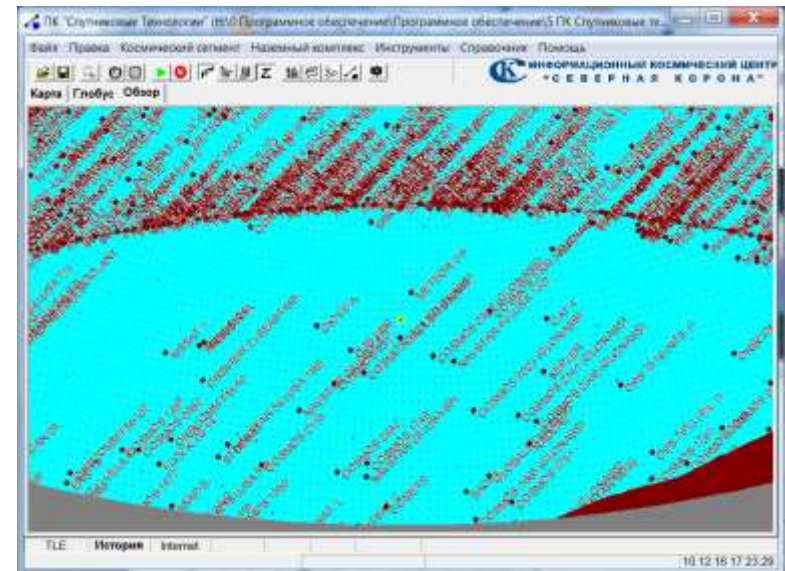
- оперативный прогноз движения от одного до десятков тысяч ИСЗ на любых типах околоземных орбит;
- интерактивное отображение орбит, орбитальных треков, мгновенных и гарантированных зон радиовидимости, вектора скорости ИСЗ и т.д.;
- отображение положения Луны и Солнца;
- визуализация ситуации в околоземном космическом пространстве в различных системах координат: Абсолютной, Гринвичской, Орбитальной, Топоцентрической;
- документирование визуальной информации (запись видео).



Система ОЗВ – вид из Космоса



Действующая система ОЗВ - мгновенная и гарантированная (УМ=40 град) зоны радиовидимости



Вид на ГСО из точки положения ЗС

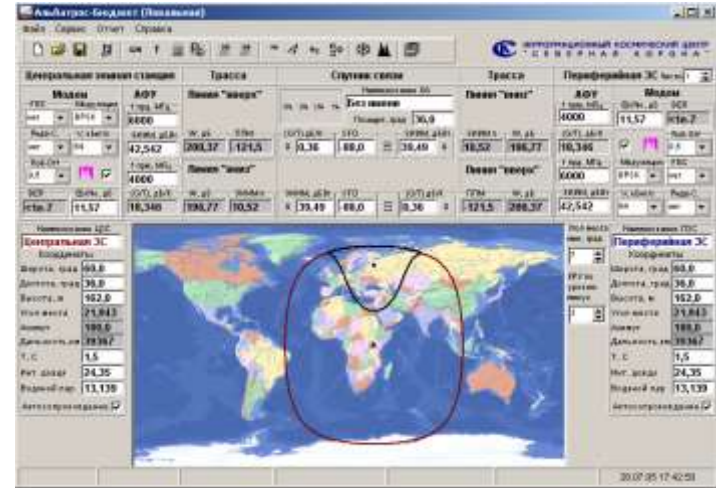


САПР «Альбатрос», ПК «Спутниковые технологии» (ПК АСТ)

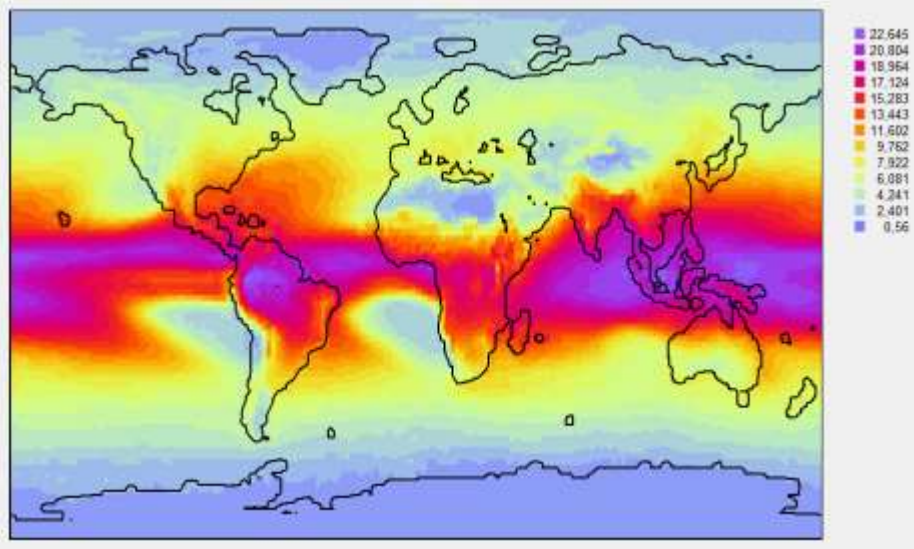
Энергетика спутниковых и межспутниковых радио и оптических линий

Энергетика спутниковых радио и оптических линий:

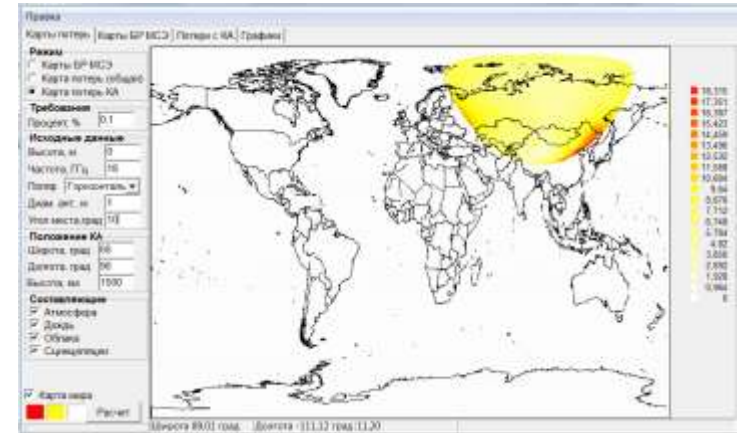
- расчет затуханий на участках «Космос-Земля» и «Земля-Космос»;
- расчет спутниковых радиолиний «точка-точка»;
- расчет карт радиопокрытия для подвижных абонентов;
- расчет межспутниковых радио и оптических линий;
- построение карты потерь при моделировании негеостационарных спутниковых систем;
- расчет спутниковых линий оптического диапазона.



Программа «Бюджет» - расчет спутниковых линий на любых типах околоземных орбит



Глобальная карта затуханий на участках «Космос–Земля» (18 ГГц, УМ=30 град, Р=99.9%, составляющие потерь: в сухом воздухе, парах воды, дожде, облаках, от сцинтилляций)

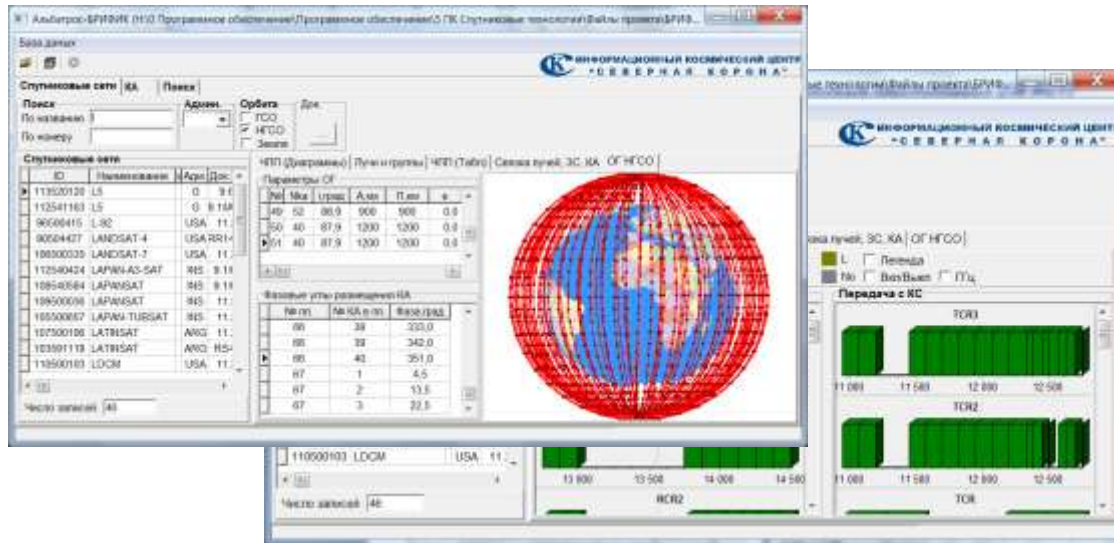


Карта затуханий в пределах зоны покрытия КА (18 ГГц, УМ=10 град, Р=99.9%, высота КА 1500 км, составляющие потерь: в сухом воздухе, парах воды, дожде, облаках, от сцинтилляций)



САПР «Альбатрос», ПК «Спутниковые технологии» (ПК АСТ)

Система OneWeb – синтез орбитальной группировки



Параметры космического сегмента OneWeb (BRIFIC и FCC) :

- число эшелонов – 1 (в ИТУ заявлено 4-е эшелона);
- параметры орбиты: круговая, высота 1200 км, наклонение 87.9 град;
- параметры ОГ – 18 плоскостей по 40 КА (всего 720 КА), угловой разнос между плоскостями – 10.2 град, фазовый угол между КА в смежных плоскостях – 4.5 град;
- заявленные частоты - Ku (14/12 ГГц) для абонентских линий и Ka (30/18 ГГц) для абонентских и фидерных линий

1. Анализ заявленных характеристик системы OneWeb (по данным BRIFIC и FCC)

Синтез орбитальной группировки

Системы Орбиты

Параметры орбиты

Структура ОГ

А, км	7571	Число плоскостей	18
i, град	87,9	Число КА в одной пл-ти	40
e	0	Всего КА	720
ω, град	0	Ω 1-ой пл-ти, град	0
На, км	1200	Углов. разнос пл-тей, град	10,2
Нп, км	1200	<input type="checkbox"/> Расстановка - на дуге 180 град	
T, час	1,82112	Углов. разнос КА в пл., град	9
		dM в смежн. пл-ях, град	4,5 <input checked="" type="checkbox"/>

Закреть Создать

2. Вводим ИД системы OneWeb и в панель синтеза ОГ

Пользовательская база данных КАID (WORK\ПК Спутниковые технологии\Проект\Usei\BDKA.ltn)

Орбитальная группировка КА

КА	Параметры орбит КА ОГ						
	А, км	i, град	e	ДБУ, град	Арг пер, град	Мср, град	Эпоха
OneWeb 70	7571	87,9	0	-173,4	0	252	11.12.2016 10:4
OneWeb 71	7571	87,9	0	-173,4	0	261	11.12.2016 10:4
OneWeb 71	7571	87,9	0	-173,4	0	270	11.12.2016 10:4
OneWeb 71	7571	87,9	0	-173,4	0	279	11.12.2016 10:4
OneWeb 71	7571	87,9	0	-173,4	0	288	11.12.2016 10:4
OneWeb 71	7571	87,9	0	-173,4	0	297	11.12.2016 10:4
OneWeb 71	7571	87,9	0	-173,4	0	306	11.12.2016 10:4
OneWeb 71	7571	87,9	0	-173,4	0	315	11.12.2016 10:4
OneWeb 71	7571	87,9	0	-173,4	0	324	11.12.2016 10:4
OneWeb 71	7571	87,9	0	-173,4	0	333	11.12.2016 10:4
OneWeb 71	7571	87,9	0	-173,4	0	342	11.12.2016 10:4
OneWeb 71	7571	87,9	0	-173,4	0	351	11.12.2016 10:4

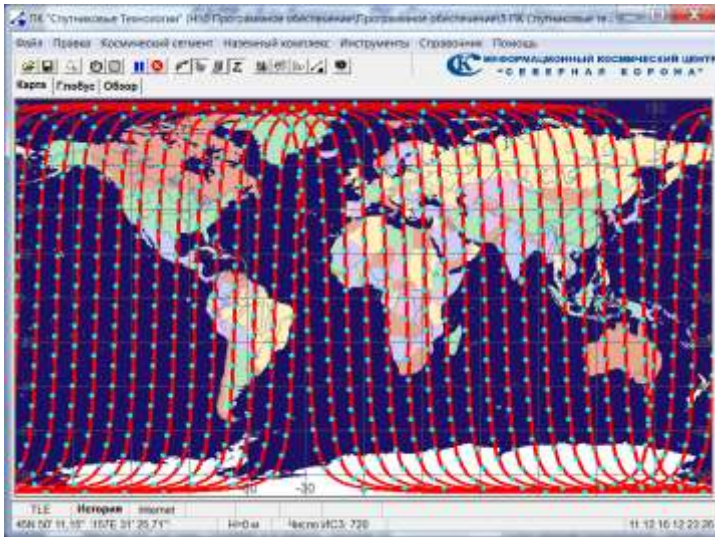
720 Рабочий участок орбиты: М, град от 0 до 360 Применить

3. Орбитальная группировка сформирована

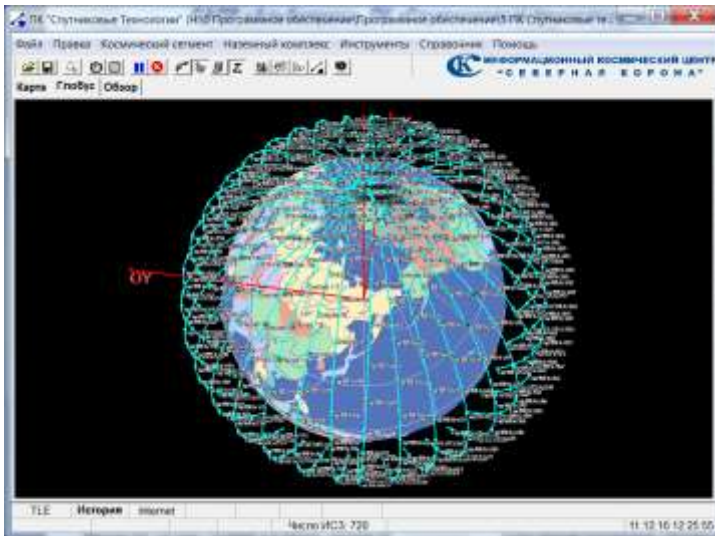


САПР «Альбатрос», ПК «Спутниковые технологии» (ПК АСТ)

Система OneWeb – моделирование работы орбитальной группировки

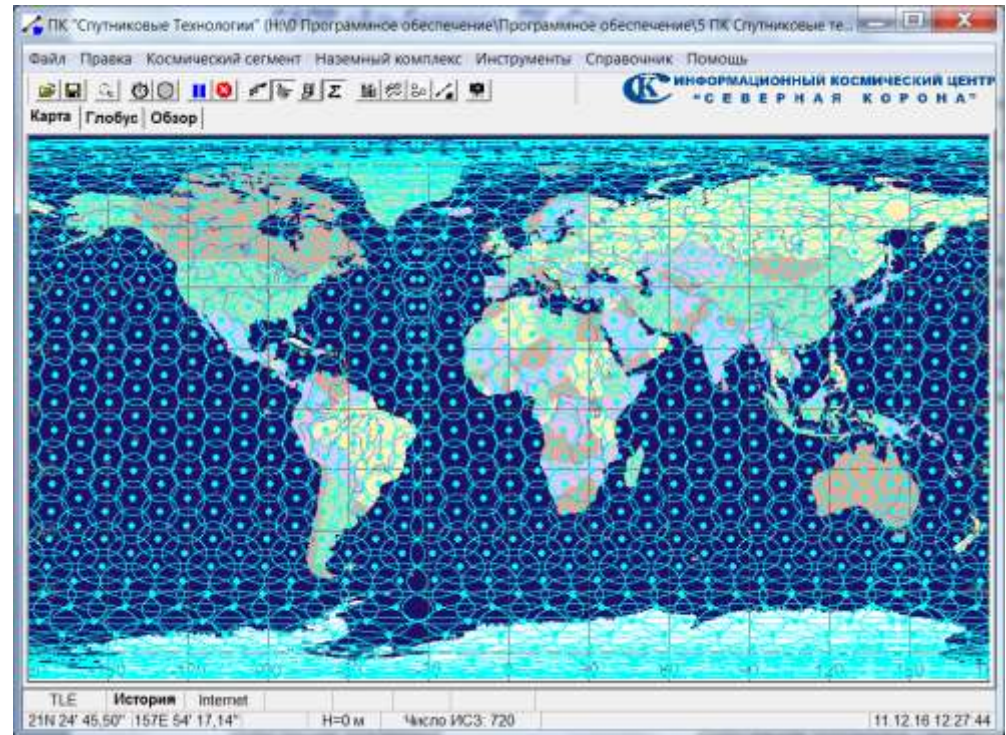


Трассы спутников системы OneWeb



Орбитальная группировка

Разработанные «быстрые алгоритмы» позволяют моделировать работу многоспутниковых группировок (сотни и тысячи КА) в режиме почти реального времени

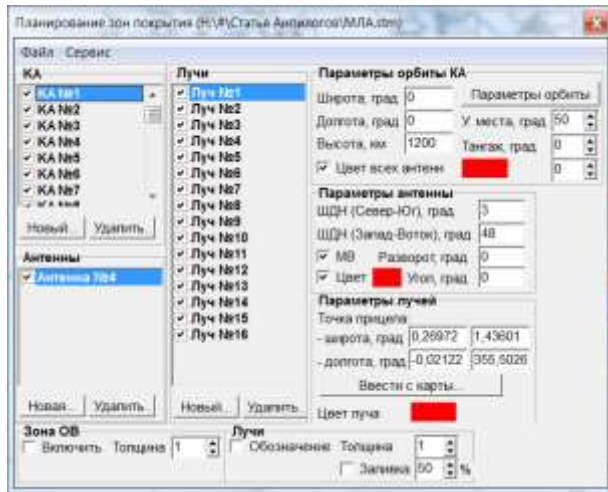


Мгновенная зона радиовидимости спутников системы при граничном значении угла места в 57 град

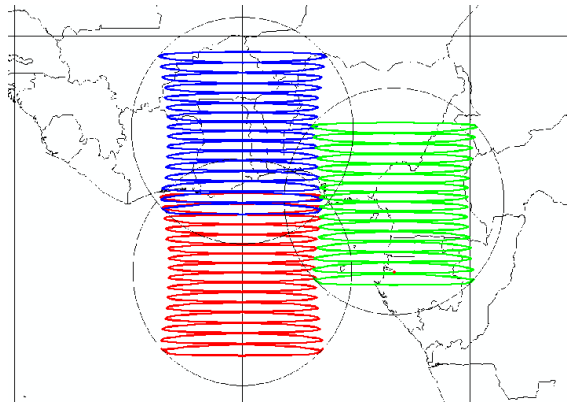


САПР «Альбатрос», ПК «Спутниковые технологии» (ПК АСТ)

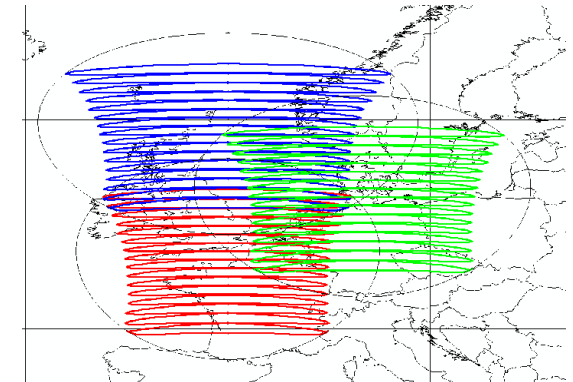
Система OneWeb – формирование многолучевого покрытия



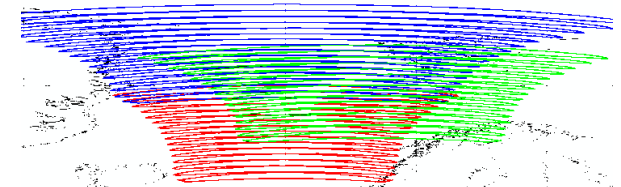
Ввод исходных данных для анализа многолучевого покрытия



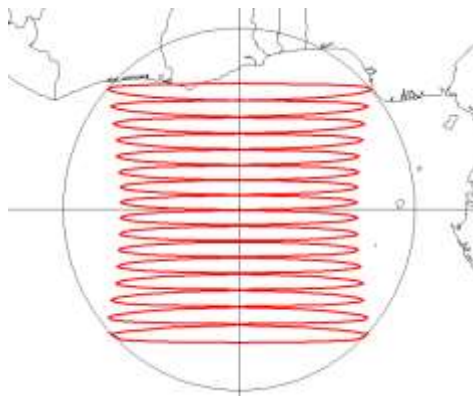
Тройка спутников на экваторе



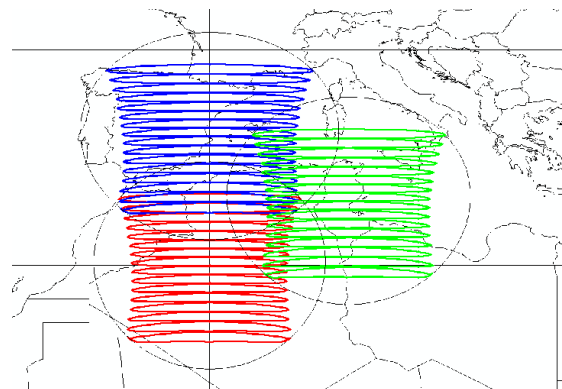
Тройка спутников на широте 50 град



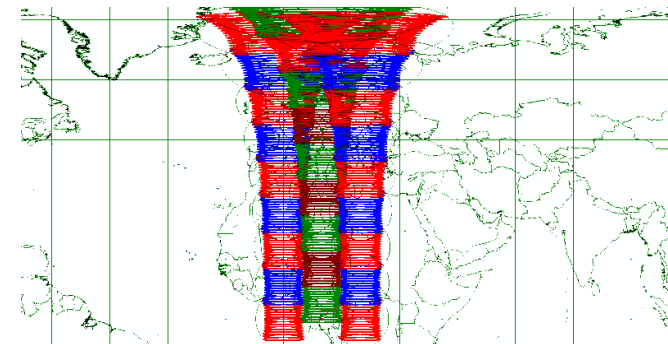
Тройка спутников на широте 70 град



Многолучевое покрытие в пределах зоны радиовидимости по УМ=55 град



Тройка спутников на широте 30 град

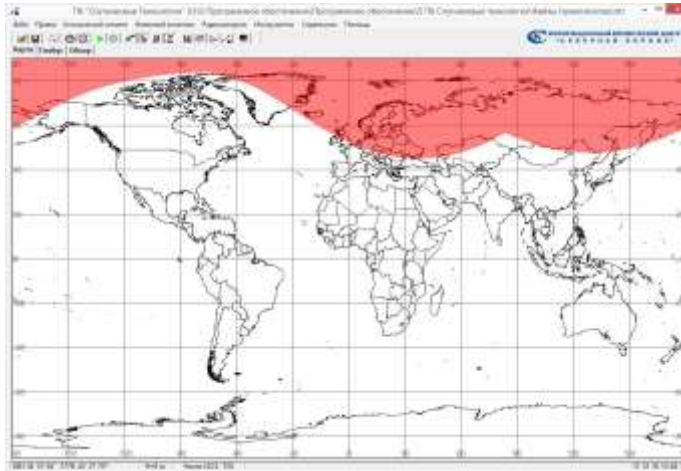


Три плоскости

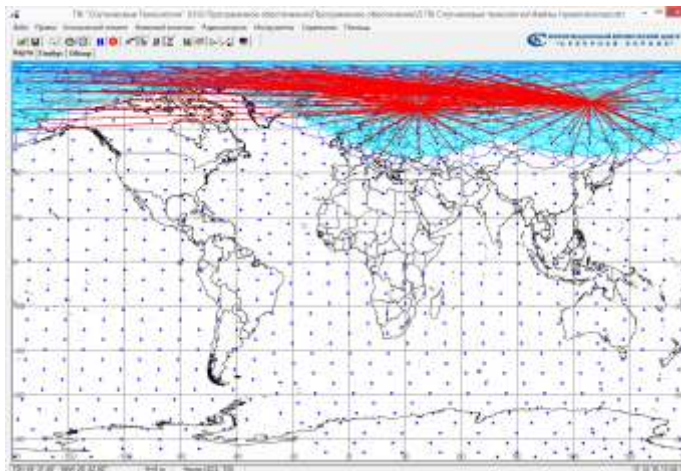


САПР «Альбатрос», ПК «Спутниковые технологии» (ПК АСТ)

Система OneWeb – шлюзовые станции



Зона радиовидимости наземных станций сопряжения (Мурманск, Тикси)

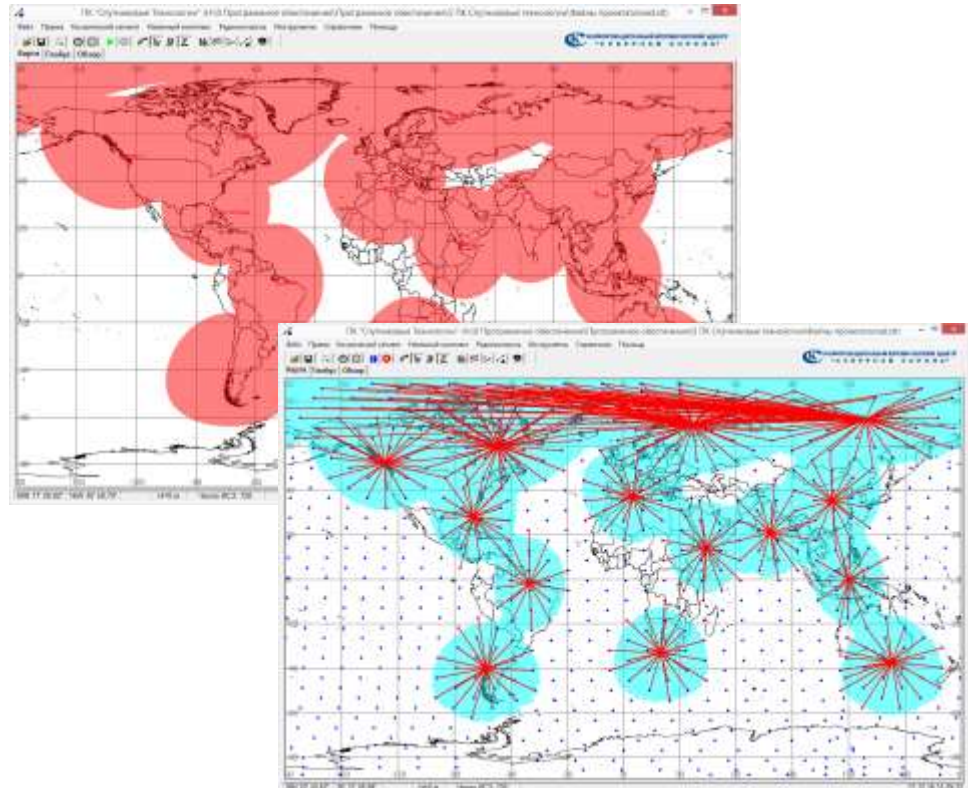


ГЗРВ системы при двух станциях сопряжения (Мурманск, Тикси)

ГЗРВ применительно к системам типа OneWeb (без межспутниковых линий связи) – в любой точке в течение Р% времени года (как правило, 100%) должны выполняться следующие условия:

- угол места КА для абонентской станции составляет не менее 55 град;
- угол места этого же КА для одной из шлюзовых станций должен составлять не менее 10 град.

Зоны радиовидимости 14 узлов сопряжения

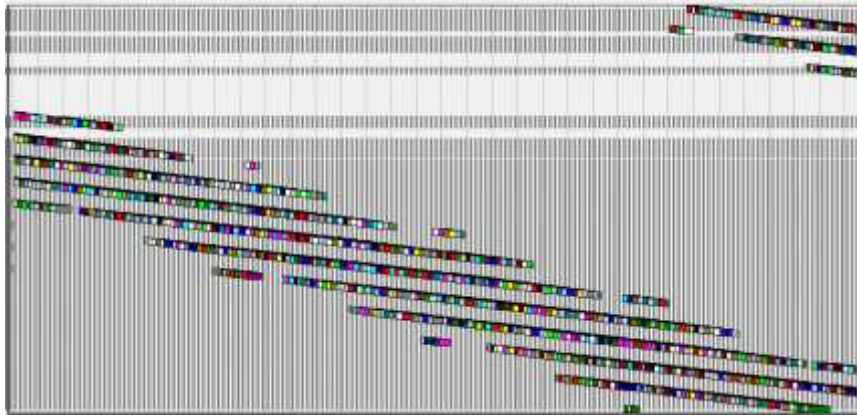


ГЗРВ системы при использовании 14 узлов сопряжения



САПР «Альбатрос», ПК «Спутниковые технологии» (ПК АСТ)

Система OneWeb – моделирование работы орбитальной группировки



Циклограмма работы шлюза на экваторе (обслуживаются КА в 5-и плоскостях)

Статистическая обработка результатов моделирования :

Число наблюдаемых КА на углах места от 10 град:

- на экваторе – 18..24

- на широте 40 град – 25..29

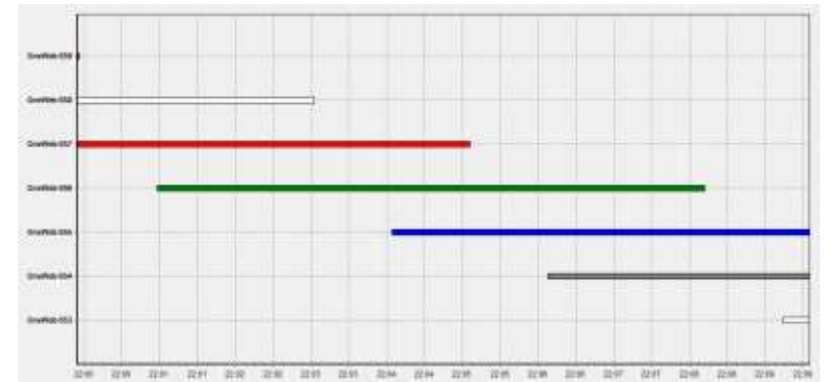
- на широте 70 град - 69...83



График изменения угла места (время обслуживания на углах места составляет не более 4-х мин)



Циклограмма работы шлюза на широте 70 град (обслуживаются КА в 18-и плоскостях)



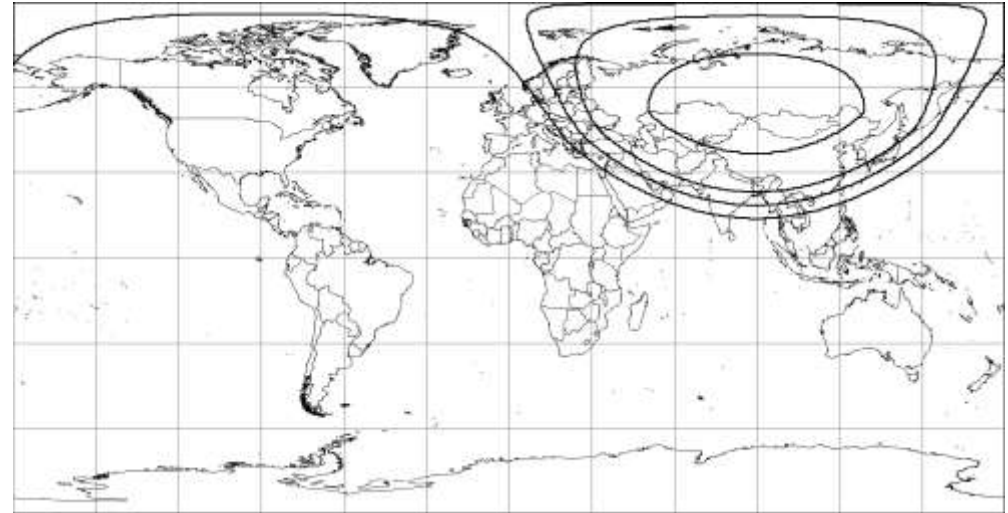
Циклограмма работы шлюза по одной из «цепочек» - одновременно обслуживаются 3..4 КА в одной плоскости



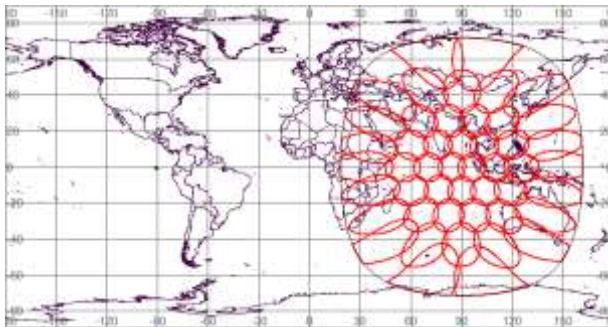
САПР «Альбатрос», ПК «Спутниковые технологии» (ПК АСТ) НЕО-НТС (Экспресс-РВ/Росинфоком)



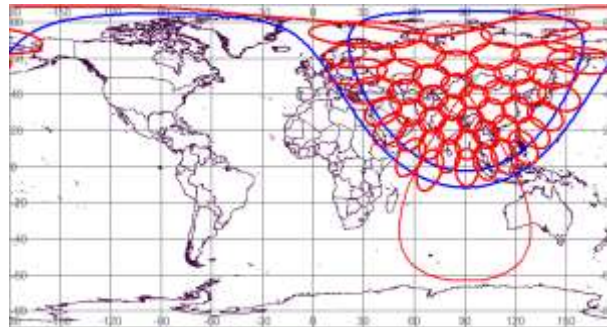
Орбитальная группировка
(Орбита «Тундра», 3-и КА)



ГЗРВ системы (УМ=30, 40, 45 и 60 град)



Синтез бортовой антенной системы (над экватором, $h=50$ тыс. км, лучи 2×2 град)



Начало рабочего участка



Точка апогея рабочего участка



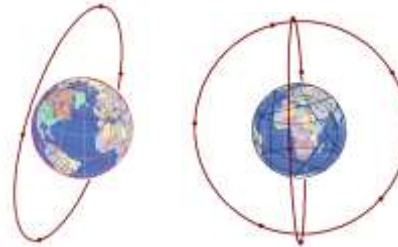
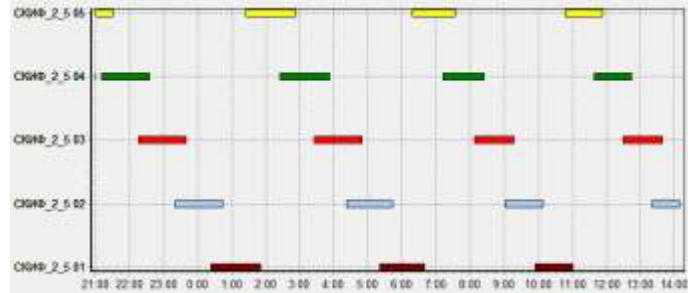
САПР «Альбатрос», ПК «Спутниковые технологии» (ПК АСТ)

МЕО-НТС (система «СКИФ»)

Орбита: круговая, высота 8070 км, наклонение 88.2 град

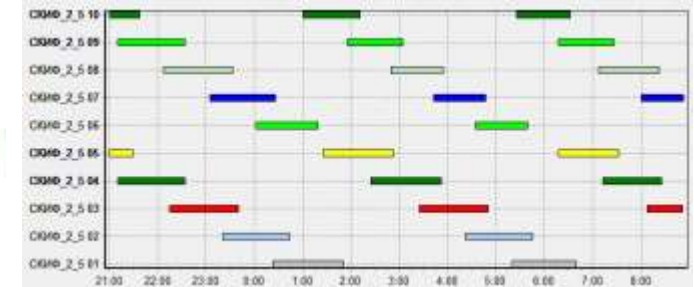
Сценарий 1 – в одной плоскости 5 КА

Число плоскостей - 1

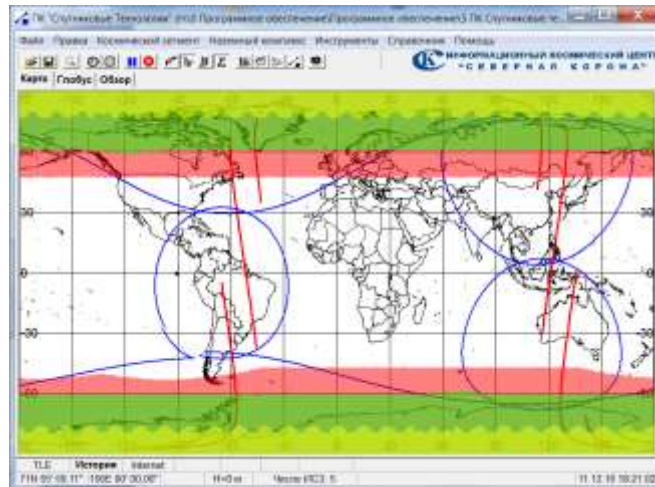


Циклограмма работы АС или шлюза в г. Санкт-Петербург, одновременно «видны» не менее 1-го КА, время наблюдения КА - около 1 ч 20 мин

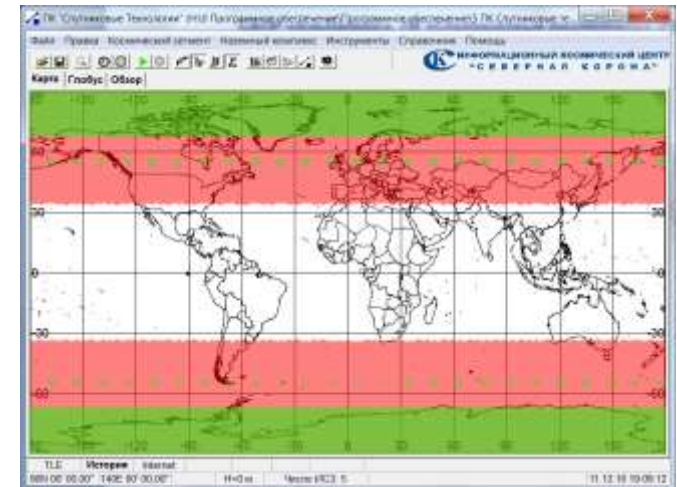
Число плоскостей - 2



Циклограмма работы АС или шлюза в г. Санкт-Петербург, одновременно «видны» не менее 2-х КА, время наблюдения КА - около 1 ч 20 мин



ГЗРВ (УМ=10, 20 и 30 град)



ГЗРВ (УМ=20 и 30 град), для УМ=10 град – ГЗРВ глобальная



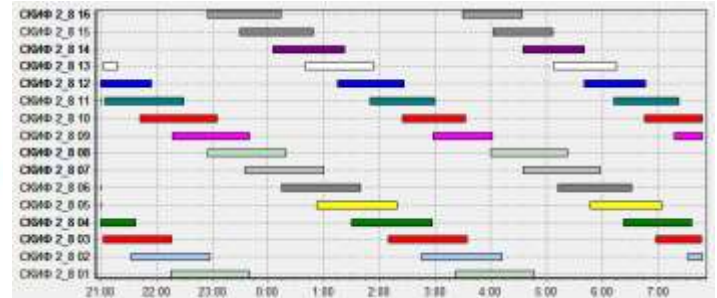
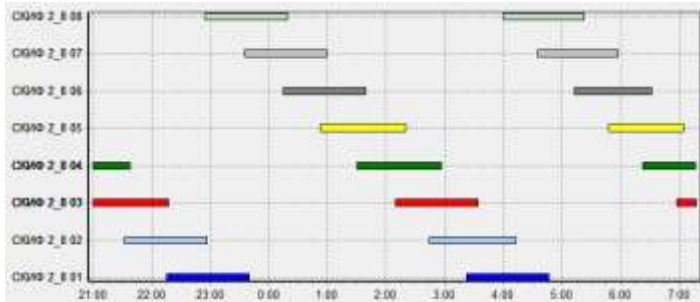
САПР «Альбатрос», ПК «Спутниковые технологии» (ПК АСТ) МЕО-НТС (система «СКИФ»)

Орбита: круговая, высота 8070 км, наклонение 88.2 град

Сценарий 2 – в одной плоскости 8-мь КА

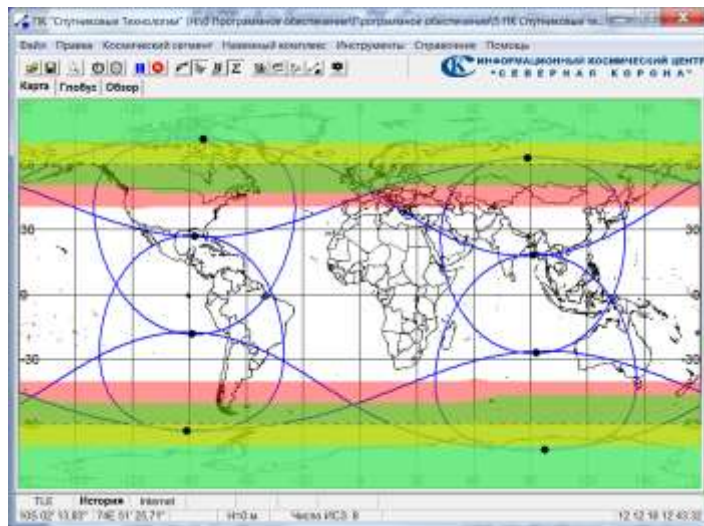
Число плоскостей - 1

Число плоскостей - 2

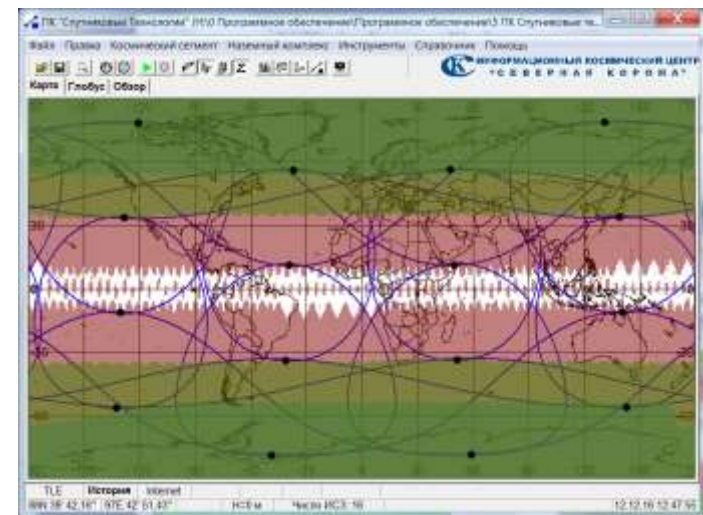


Циклограмма работы АС или шлюза в г. Санкт-Петербург, одновременно «видны» не менее 2-х КА, время наблюдения КА - около 1 ч 20 мин

Циклограмма работы АС или шлюза в г. Санкт-Петербург, одновременно «видны» не менее 4-х КА, время наблюдения КА - около 1 ч 20 мин



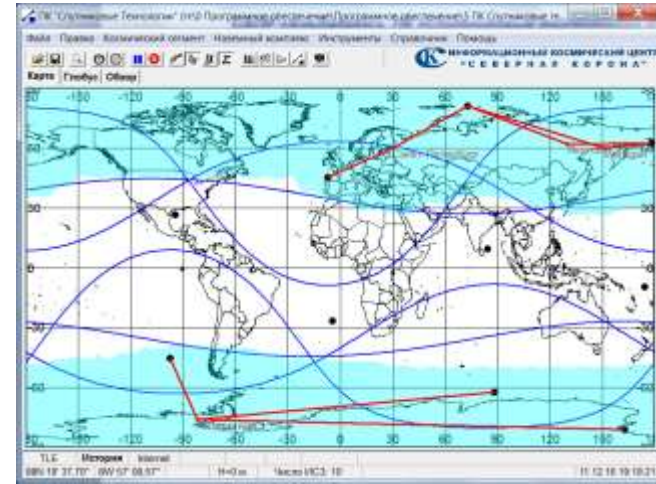
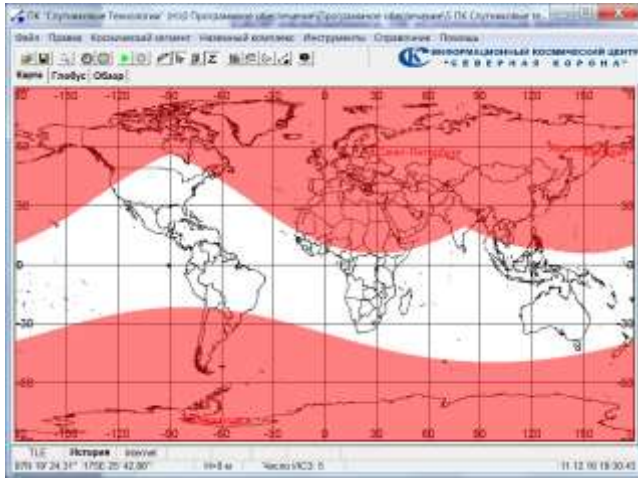
ГЗРВ (УМ=10, 20, 30 и 40 град)



ГЗРВ (УМ=20, 30 и 40 град), для УМ=10 град – ГЗРВ глобальная

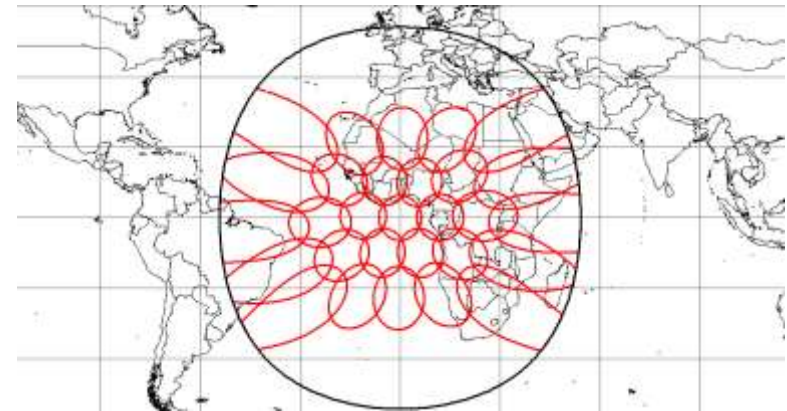
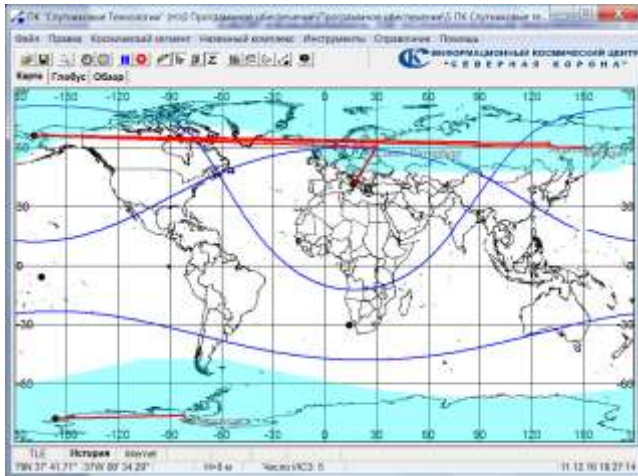
САПР «Альбатрос», ПК «Спутниковые технологии» (ПК АСТ) МЕО-НТС (система «СКИФ»)

Станции сопряжения: Санкт-Петербург, Якутск, Магадан и в Антарктиде



Зона радиовидимости станций сопряжения (УМ=10 град)

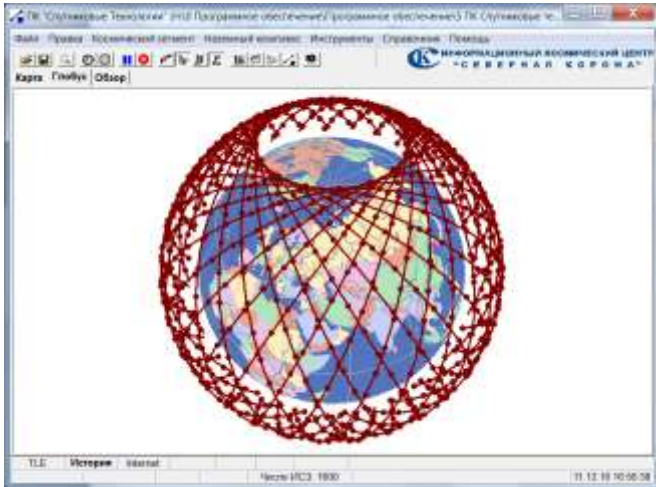
ГЗРВ (УМ=10 град, 5-ть КА, число плоскостей – 2)



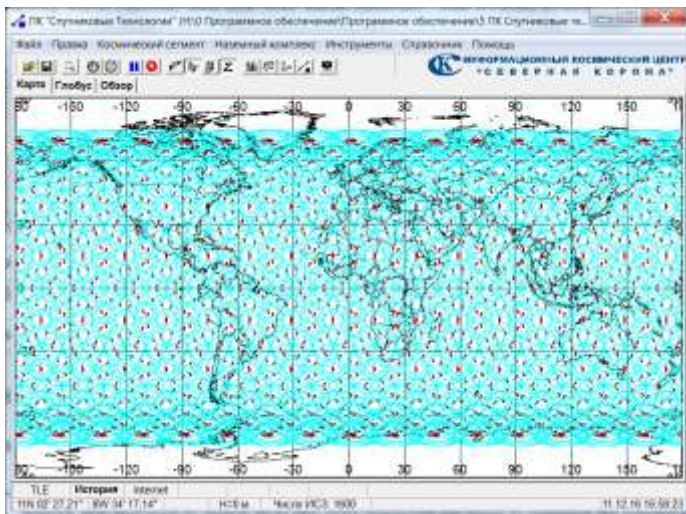
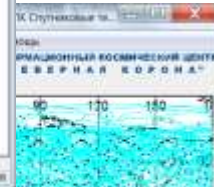
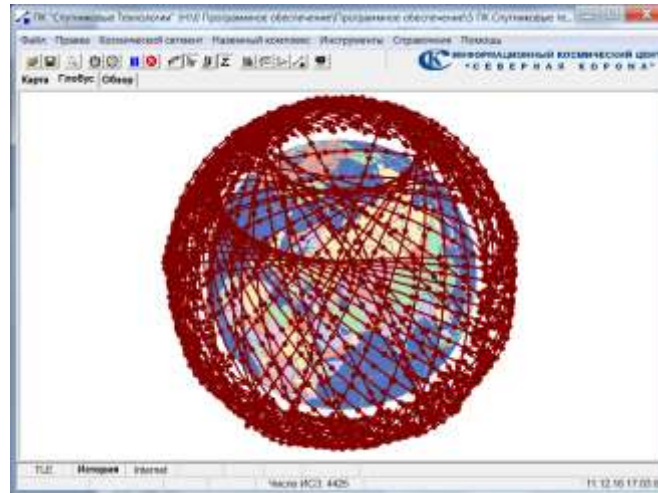
ГЗРВ (УМ=10 град, 5-ть КА, число плоскостей – 1)

Покрытие (29 лучей шириной 10x10 град)

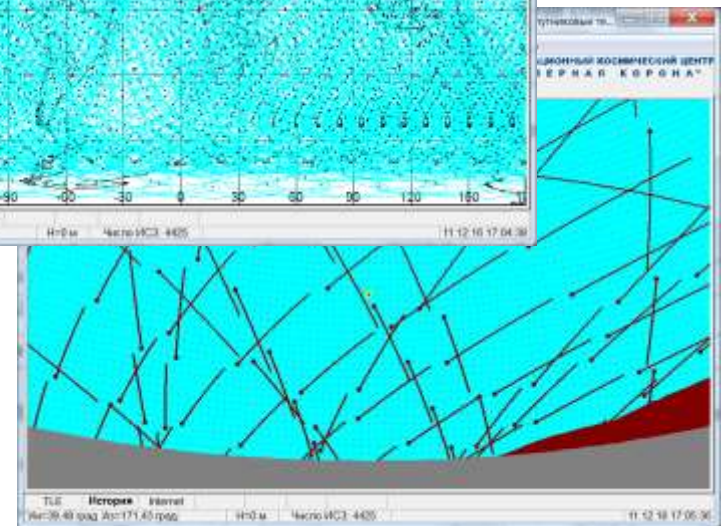
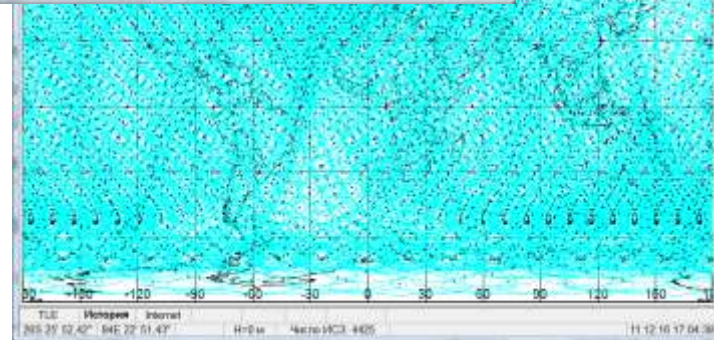
САПР «Альбатрос», ПК «Спутниковые технологии» (ПК АСТ) LEO-HTS (SpaceX)



Начальная конфигурация (1 эшелон, 32 плоскости по 50 КА, всего 1600 КА)



Мгновенная зона покрытия (УМ=60 град)



Финишная конфигурация (4 эшелона, всего 4425 КА)

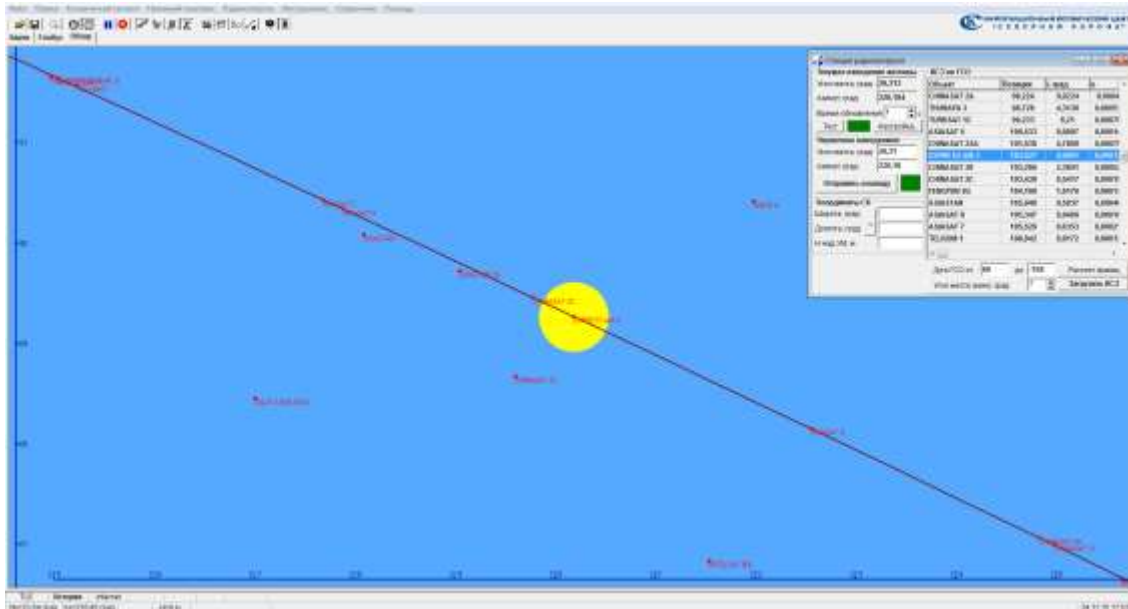


САПР «Альбатрос», ПК «Спутниковые технологии» (ПК АСТ)

Опыт проработки ситуационного центра в составе РЦЦ ЦФО (СРК г. Хабаровск)

Ситуационный центр в составе СК «Хабаровск» обеспечивает:

- интерактивное отображение ситуации «в луче» антенны, в том числе при изменении ее углового положения;
- оперативный расчет данных целеуказания и выдачи команды наведения;
- автоматическое формирование команды наведения путем указания мышкой на плане объекта контроля (КА);
- ситуационное представление обстановки при планировании и проведении процедур радиоконтроля;
- информационная поддержка (частотно-поляризационный планы, допустимое положение на ГСО и т.д.)



Вид экрана в ситуационном центре

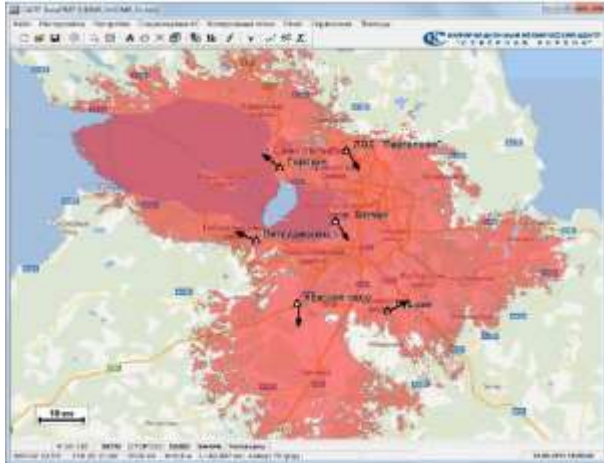


Станция радиоконтроля (г.Хабаровск)

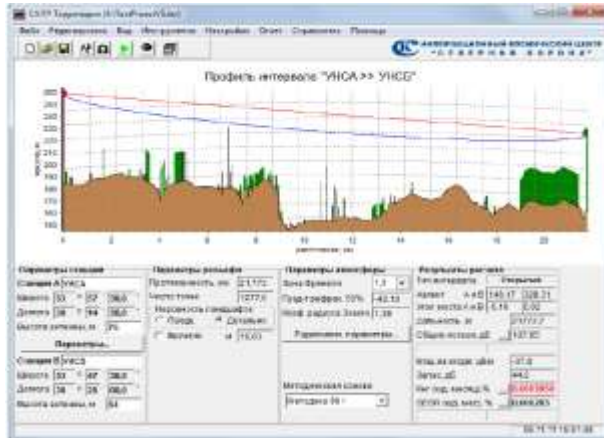


САПР «Альбатрос» и наземные радиосистемы

Основные программные комплексы

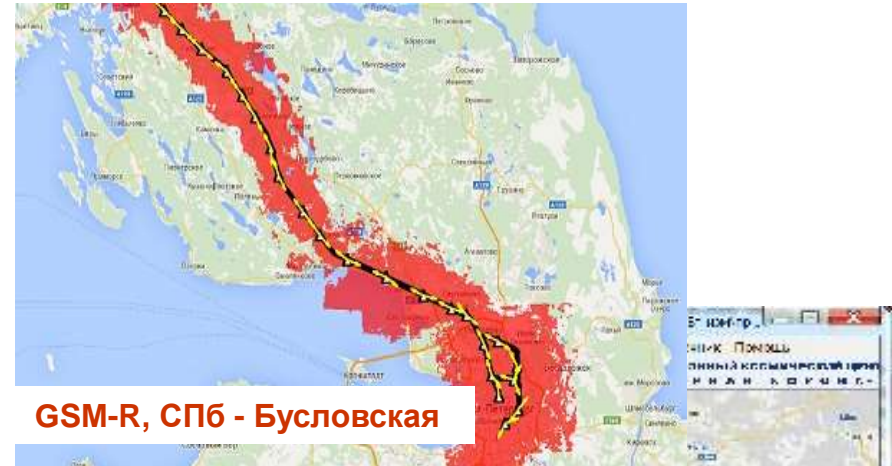


ПК «Альбатрос-Зона» - частотно-территориальное планирование сетей ГМР

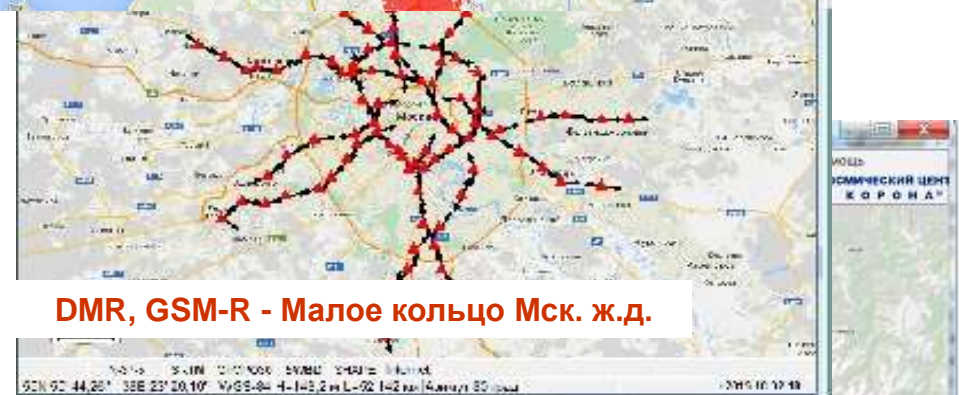


ПК «Альбатрос-Территория» - расчет радиолиний (в т.ч. РРЛ) в диапазоне от 30 МГц до 120 ГГц

Выполненные проекты



GSM-R, СПб - Буловская



DMR, GSM-R - Малое кольцо Мск. ж.д.



GSM-R – Туапсе-Сочи-Адлер-Красная Поляна



Основные выводы и рекомендации

1. Характерный тренд настоящего времени – резкий всплеск интереса к HTS НГСО системам
2. Заявляемые зарубежные проекты включают сотни и даже тысячи КА и используют Ku и Ka диапазоны частот
3. Большинство HTS НГСО систем заявляются как глобальные
4. Практическая реализация HTS НГСО систем, вследствие значительного числа КА в составе орбитальных группировок, может привести к росту вероятности нарушения ЭМС с ГСО, а также существенно затруднить реализацию перспективных региональных систем
5. Необходима проработка вопроса о координации НГСО систем между собой
6. Анализ многоспутниковых HTS НГСО систем, как с точки зрения оценки потребительских качеств, так и с точки зрения анализа ЭМС, целесообразно проводить в том числе путем математического моделирования, например, с использованием программного комплекса «Спутниковые технологии»
7. Как показали результаты моделирования, заявляемые характеристики HTS НГСО систем не всегда соответствуют реальным показателям и требуют уточнения
8. Необходима активизация работ по созданию национальной HTS НГСО системы

Спасибо за внимание!



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