

# Подвижная спутниковая связь в России и Арктике – выбор орбитальной группировки



А.А. Гриценко

Р.Н. Юрьев

## 1. Аннотация

Россия – это огромная территория, подавляющая часть которой расположена выше 45 град с.ш. и растянувшаяся по долготе почти на 170 град. Практически невозможно обеспечить 100% покрытие такой территории наземными сетями радиосвязи, которые обеспечили бы разнообразные сервисы на удобные абонентские станции, причем с достаточно высокими требованиями по качеству и надежности. Однако, вероятно, этого можно достигнуть, если использовать спутниковые системы.

Проанализируем возможные варианты построения и постараемся сделать выбор орбитальной группировки системы, ориентированной на обслуживание, прежде всего, территории России и зоны Арктики.

## 2. Критерии

Для того, чтобы сделать выбор, нужны критерии. С критериями можно определиться, если знать назначенные системы. Предположим, что мы планируем развернуть систему подвижной спутниковой связи. Так как линии спутниковой связи работают в условиях прямой видимости (нет запаса на дифракционные потери), для предотвращения перекрытия в процессе движения местными предметами и рельефом потребуем, чтобы спутник был виден на углах места не ниже 40 град. Отнесем нашу систему к сетям профессиональной мобильной радиосвязи и зададим требования по доступности спутников системы абонентским станциям на уровне 100%.

В качестве инструмента для анализа степени выполнения заданных требований будем использовать гарантированные зоны радиовидимости (ГЗРВ). ГЗРВ - это часть территории Земли, в каждой точке которой в течение заданного процента времени на углах места, не ниже требуемо-

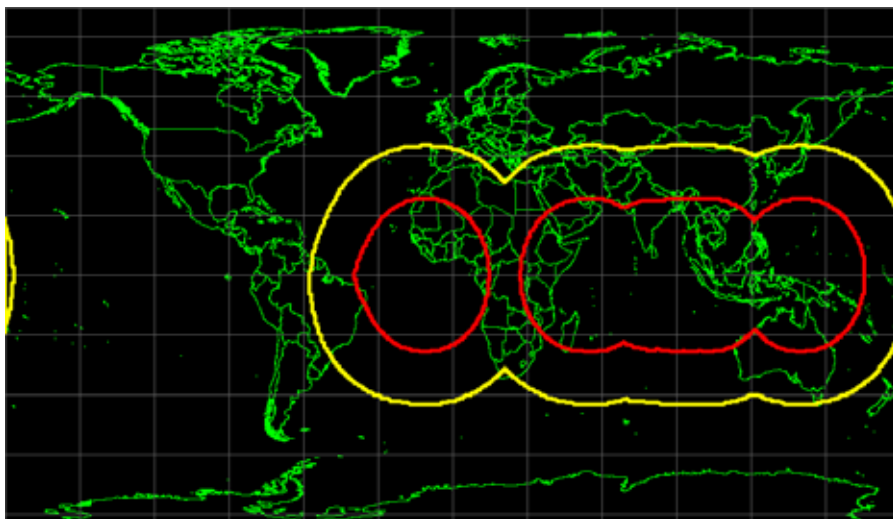
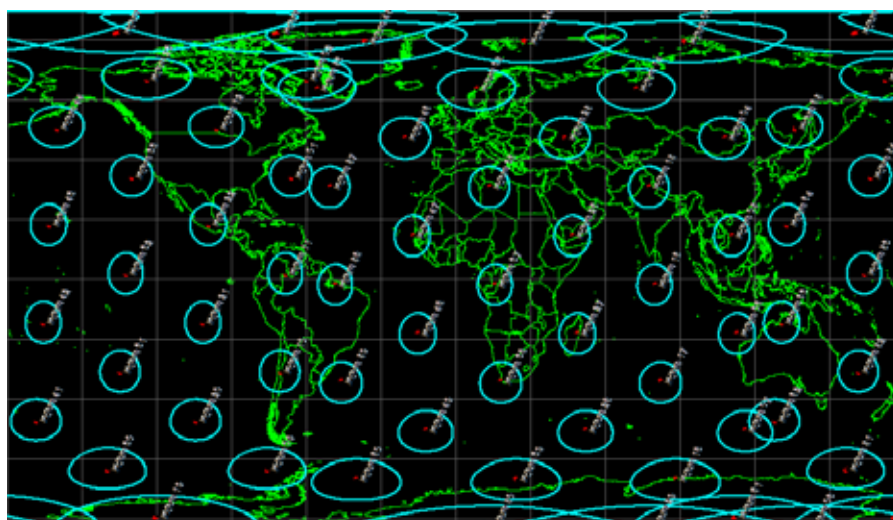
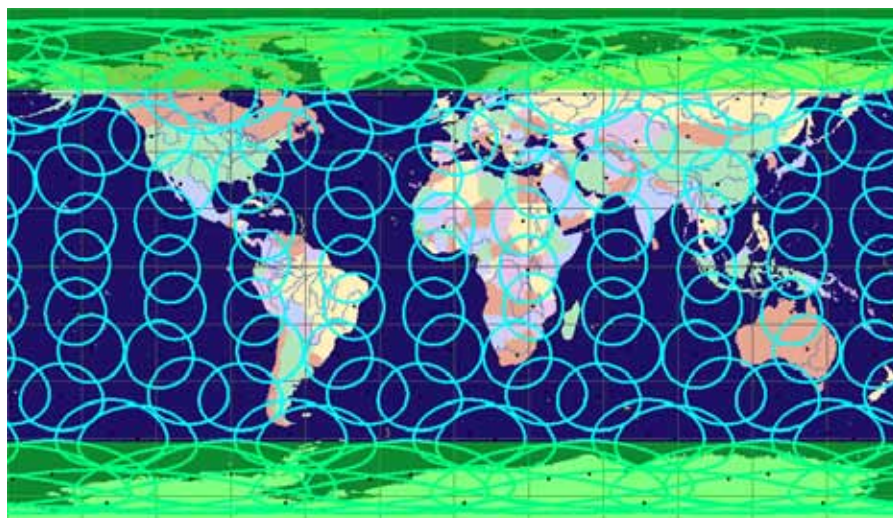


Рис.1 ГЗРВ российской ОГ на GCO


 Рис.2 Система Iridium  
(мгновенная зона радиовидимости для углов места 40 град)

 Рис.3 ОГ гипотетической системы в составе 120 КА  
(мгновенная зона радиовидимости и ГЗРВ для углов места 40 град)

го, наблюдается необходимое число рабочих спутников. В нашем случае для каждого сценария будет выполнен расчет ГЗРВ, в пределах которой для 100% времени года на углах места выше 40 град (для большей информативности и выше 60 град) гарантировано находится хотя бы один спутник.

Один из методов расчета ГЗРВ заключается в следующем. Территория Земли разбивается на достаточно малые элементарные площадки и на достаточно большом интервале времени для каждой площадки оценивается суммарное время выполнения условий для ГЗРВ. ГЗРВ системы определяется путем объединения площадок в соответствующую зону. Для построения ГЗРВ необходим специальный инструмент, поэтому все расчеты будем проводить на программном комплексе «Спутниковые технологии» [1]. Потребуем, чтобы ГЗРВ «накрыла» только территорию России и Арктики.

### 3. Анализ геостационарных систем

Геостационарная орбита (ГСО) расположена на высоте примерно 36 тыс. км над экватором. В настоящее время на орбите находится более 380 космических аппаратов (КА) различного назначения. Выберем для анализа российскую орбитальную группировку (ОГ) в составе КА серии Экспресс и Ямал. ГЗРВ ОГ для углов места 40 (желтый контур) и 60 (красный контур) представлена на рис.1. Из рисунка видно, что спутниковые системы на ГСО не способны выполнить поставленные нами требования.

### 4. Анализ систем на низких круговых орбитах

Низкие круговые орбиты – орбиты с высотой примерно до 2000 км. Наиболее известными системами на этих орбитах являются Iridium, Globalstar, Orbcomm, Гонец. В [2] были представлены основные характеристики этих систем и их ГЗРВ для углов места выше 10 град.

Однако, проведенный расчет показал, что ни одна из этих систем не способна сформировать ГЗРВ с надежностью 100% при углах места выше 40 град (для иллюстрации, на рис.2 представлена мгновенная зона радиовидимости КА ОГ Iridium).

Более того, дальнейшие исследования показали, что для обеспечения ГЗРВ на территории России системой, по параметрам сходной с системой Гонец, необходимо сформировать ОГ мощностью 120 КА (рис.3)!

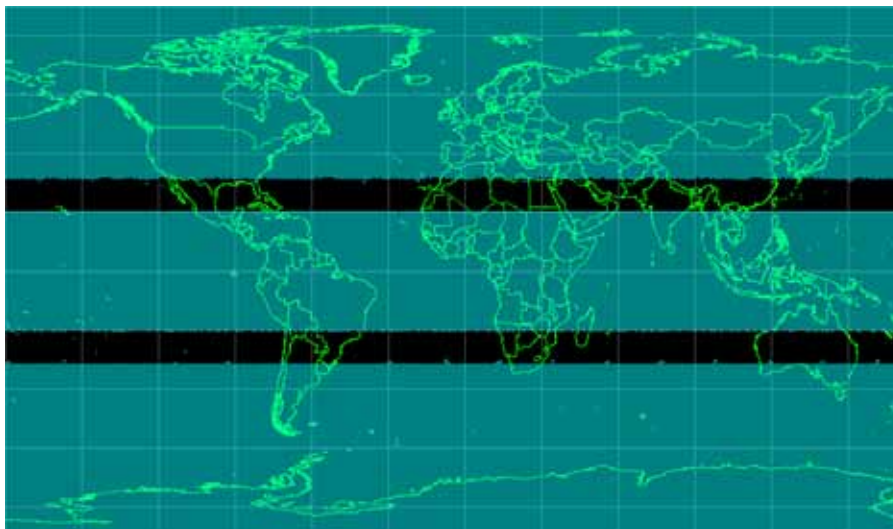


Рис.4 ГЗРВ системы на базе ОГ «Глонасс»

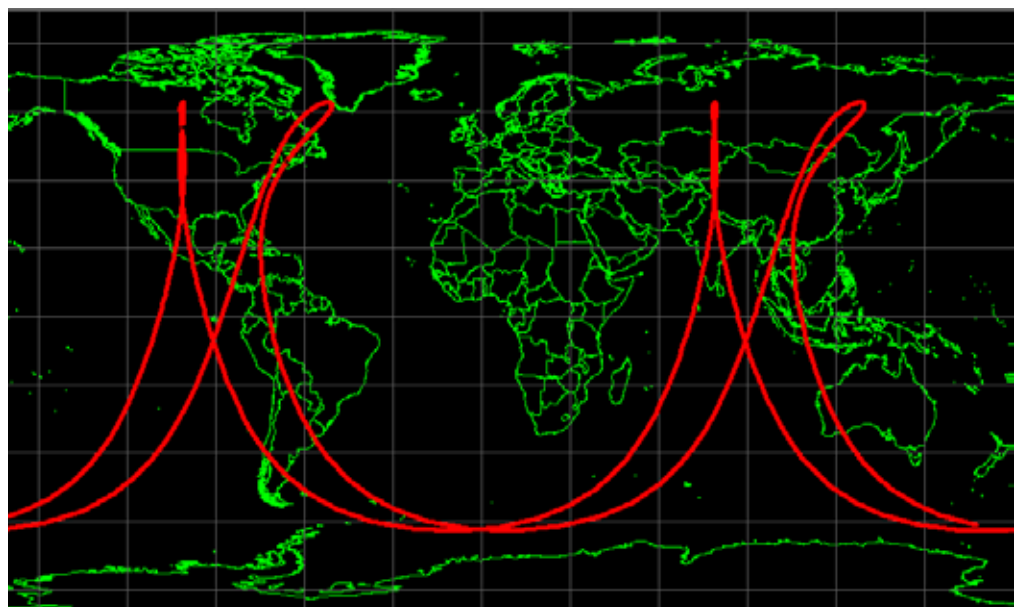


Рис.5 Трасса орбит «Молния» и «Кентавр»

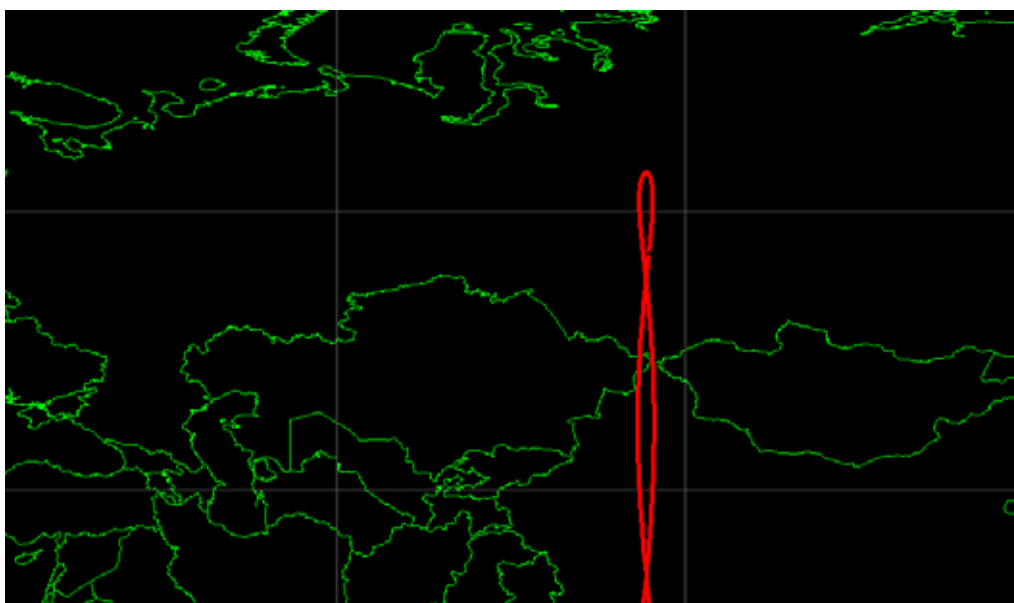


Рис.6 Апогейный участок орбиты «Кентавр»



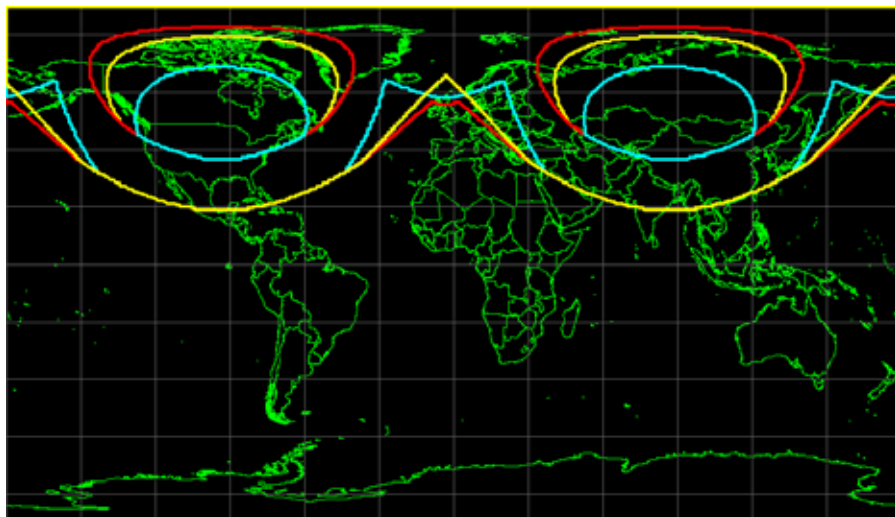


Рис.7 ГЗРВ системы на орбите «Кентавр» с ОГ в составе 3-х (синий цвет), 4-х (желтый цвет) и 5-и (красный цвет) КА для углов места 40 и 60 град

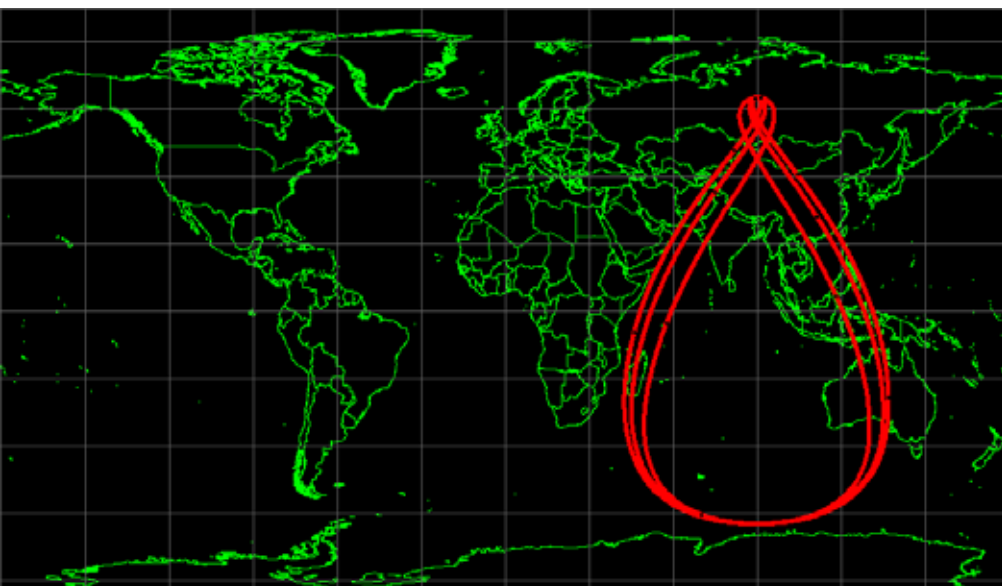


Рис.8 Трассы КА на орбите Тундра в составе ОГ из 3-х, 4-х и 5-и КА

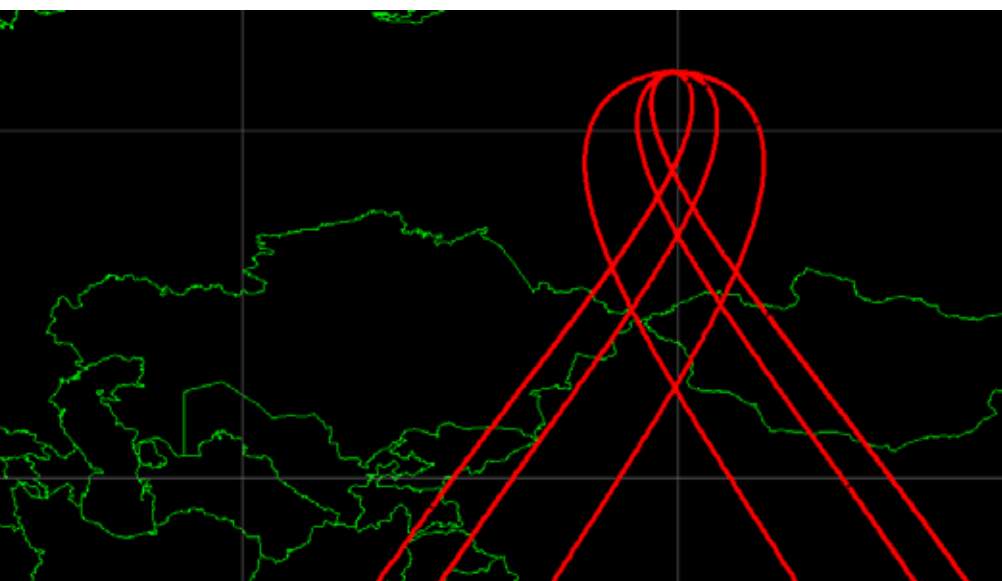


Рис.9 Апогейный участок трассы в составе ОГ из 3-х (большая «петля»), 4-х (средняя «петля») и 5-и (малая «петля») КА

## 5. Анализ систем на средних круговых орбитах

Средние круговые орбиты – орбиты с высотой примерно от 10000 до 22000 км. В настоящее время в этом высотном поясе нет систем, предназначенных для организации связи и вещания. Но, предположим, что на спутниках системы Глонасс может быть установлен бортовой ретранслятор для организации связи [3]. Проведенные исследования показали, что ГЗРВ такой системы накроет почти всю территорию Земли, за исключением небольших полос в южном и северном полушарии на широте около 30 град (рис.4). ГЗРВ для углов места выше 60 град отсутствует.

## 6. Анализ систем на орбитах «Молния» и «Тундра»

При построении систем на ВЭО используется тот факт, что видимое движение спутника на апогейном участке орбиты замедляется. Тогда, если развернуть синхронную группировку спутников, двигающихся по одной и той же трассе (следовательно, орбита должна быть изомаршрутной), и обеспечить синхронное включение/выключение спутников на апогейном участке, то образуется эффект работы одного «дрейфующего» спутника, причем на широте, примерно равной наклонению орбиты. К наиболее известным изомаршрутным ВЭО относят орбиты «Молния» и «Тундра».

Классическая орбита «Молния» хорошо известна - это орбита с периодом обращения 11.967 ч, начальным наклонением 62.8 град, эксцентриситетом 0.725 и аргументом перигея примерно 285 град. Трасса орбиты представлена на Рис. 5.

Однако, примерно в 1994 г. проводились исследования по поиску вариантов рационального построения ОГ перспективной системы спутниковой связи. В ходе этих исследований параметры орбиты «Молния» были незначительно скорректированы: аргумент перигея 270 (вместо 285) град, а эксцентриситет уменьшен с 0.725 до 0.715. Но результат превзошел все ожидания: трасса спутника на апогейном участке стала описывать характерную для ГСО «восьмерку», причем в верхней петле «восьмерки» спутник находился около 6..8 ч (Рис.5 и 6). Такой модифицированной орбите «Молния» для большей определенности было дано название «Кентавр» [4, 5, 6].

Исследования показали, что ГЗРВ может быть сформирована ОГ из 3-х, 4-х и 5-и КА. Результаты расчетов представлены на рис.7.

Орбита «Тундра» также хорошо известна - это геосинхронная орбита с периодом обращения 23.93 ч, начальным наклонением 63.4 град и аргументом перигея 270 град. При этом на трассе, как и для орбиты «Кентавр», образуется характерная «петля». Размер «петли», а, следовательно, и время нахождения спутника в «петле», определяется эксцентриситетом. Следовательно, для ОГ различной мощности эксцентриситет будет иметь разное значение.

Расчеты показали, что для ОГ в составе 3-х КА эксцентриситет должен быть равен 0.27, для 4-х КА – 0.338, и для 5-и КА – 0.37. Трассы спутников на орбитах с такими значениями эксцентриситета представлены на рис. 8 и 9.

Результаты расчета ГЗРВ системы на орбите «Тундра» для ОГ в составе 3-х, 4-х и 5-и КА представлен на рис. 10.

#### Выводы

Таким образом, по результатам проведенных исследований можно утверждать, что в наибольшей степени предъявленным требованиям к перспективной системе подвижной спутниковой связи, предназначенной для обслуживания территории России и Арктики, удовлетворяют только системы, построенные на основе орбитальных группировок на орбитах типа «Кентавр» и/или «Тундра». Орбитальная группировка может включать от 3-х до 5-и спутников. Для более определенного выбора между ними, нужно провести дополнительные исследования. Но это тема уже другого материала.

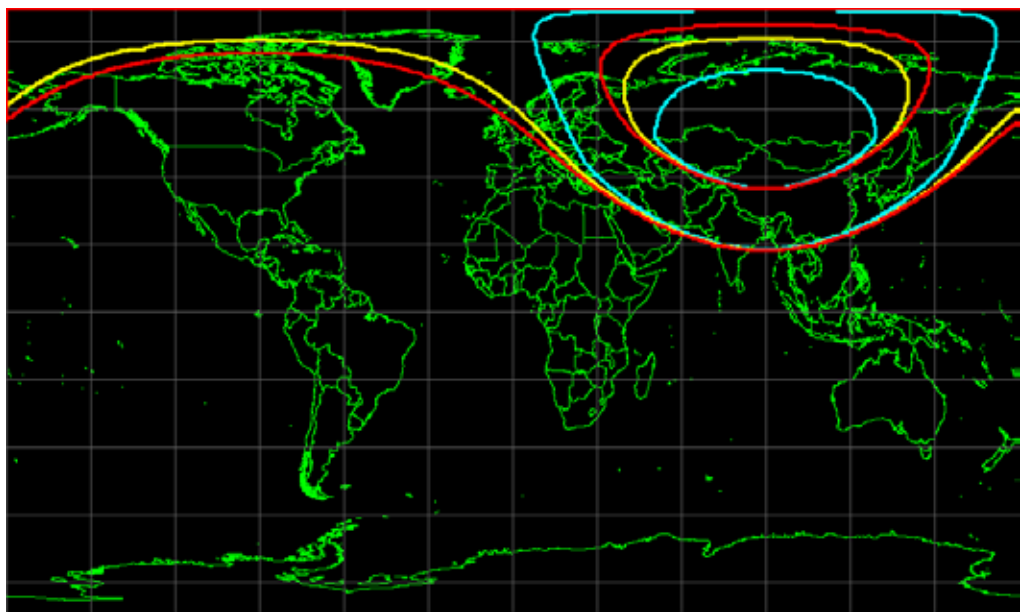


Рис.10

Рис.7 ГЗРВ системы на орбите «Тундра» с ОГ в составе 3-х (синий цвет), 4-х (желтый цвет) и 5-и (красный цвет) КА для углов места 40 и 60 град

#### Литература

1. А.А. Гриценко «Программный комплекс поддержки принятия решений на этапах разработки, развертывания и эксплуатации спутниковых средств»//Новый оборонный заказ. Стратегии, 2013, №3 (25), С. 64-66.
2. А.А. Акимов, А.А. Гриценко, Р.Н. Юрьев «Особенности расчета зон обслуживания низкоорбитальных спутниковых систем»//Инфосфера, №60, 2013 г, с. 15-19.
3. Е. Камнев, В. Камнев, В. Медведев, В. Бобков, А. Белов. «Система спутниковой связи «Росинфоком». Журнал «Военный парад», № 1 (109), январь-февраль 2012 г.
4. О.С.Тихонов, А.А.Липатов, А.А.Гриценко и др. «Использование эффекта относительной неподвижности спутников в северных широтах и особенности применения псевдостационарной орбиты в интересах построения региональных систем спутниковой связи и вещания», международная конференция IEEE-2001, Санкт-Петербург.
5. В.В. Витер, О.С.Тихонов, А.А.Липатов, А.А.Гриценко и др. «Виртуальные и псевдостационарные орбиты в региональных системах спутниковой связи и вещания»// №5, 2001 г., Технологии и средства связи.
6. В.В. Витер, О.С.Тихонов, А.А.Липатов, А.А.Гриценко и др. «Система спутников на эллиптических орбитах, эмулирующая характеристики системы спутников на геостационарной орбите», Патент РФ № 2223205.

**Уважаемые друзья, коллеги, читатели журнала «Инфосфера»!**  
Поздравляем Вас с нашим отраслевым праздником! Отрасль Связь остается единым сплоченным коллективом, уверенно смотрящим вперед, готовым покорять новые технические вершины.

Желаем всем уверенности, крепости духа и стабильности. Поздравляем наших дорогих ветеранов, выстоявших в мрачные годы испытаний. Здоровья Вам! Счастья Вам!



ИНФОРМАЦИОННЫЙ КОСМИЧЕСКИЙ ЦЕНТР  
«С Е В Е Р Н А Я К О Р О Н А»

АО «Информационный Космический Центр «Северная Корона»

Генеральный директор, к.т.н., Андрей Аркадьевич Гриценко

Телефон: +7 (812) 922 -36-21

E-mail: org@spacecenter.ru, www.spacecenter.ru