

Основной тренд в развитии спутниковых телекоммуникационных систем в ближайшей перспективе сохранится в развертывании многоспутниковых систем на основе малых космических аппаратов. Однако разработка и создание таких систем с орбитальными группировками большой мощности требуют как мощной информационной поддержки, так и получения оперативной информации по качественным характеристикам новой системы и ее бесконфликтному функционированию совместно с другими системами и комплексами спутниковой связи. Одной из таких систем, способных решать указанные задачи, является САПР “Альбатрос”.

Разработка перспективных спутниковых проектов невозможна без систем моделирования и поддержки принятия решений



Андрей Гриценко

Генеральный директор
АО “ИКЦ Северная корона”, к.т.н.

САПР “Альбатрос” – это набор взаимосвязанных прикладных программных комплексов, направленных на решение широкого спектра задач в области спутниковой и наземной радиосвязи [1]. В частности, инструментарий САПР позволил найти орбиту “Кентавр”, которая используется в проекте “Экспресс-РВ” [2], предложить оптимальное формирование орбитальных группировок на LEO [3, 4] и решить множество других задач. Рассмотрим решение некоторых из них.

Построение зон обслуживания спутниковых систем на НГСО

Построение зон обслуживания телекоммуникационных спутниковых систем на негеостационарных орби-

тах (НГСО) не всегда можно выполнить аналитическим путем, особенно если эта система планируется к развертыванию на низких (LEO) круговых орбитах и в ней при этом не предусмотрены межспутниковые линии связи. Зона обслуживания такой системы будет определяться не только космическим, но и земным сегментом – распределенной сетью земных станций (ЗС) сопряжения (шлюзов).

Для построения зоны обслуживания такой системы потребуются:

- мгновенные зоны радиовидимости спутников системы;
- зоны радиовидимости земных станций сопряжения.

Смысл зоны радиовидимости станции сопряжения состоит в том, что при положении спутника (подспутниковой точки) в пределах границ данной зоны значение угла места (УМ) на спутник со стороны станции сопряжения будет больше минимально допустимого значения (как правило, в диапазоне от 7 до 10 град).

Основные геометрические параметры конфигурации “КА – зона обслуживания” применительно к системе Iridium

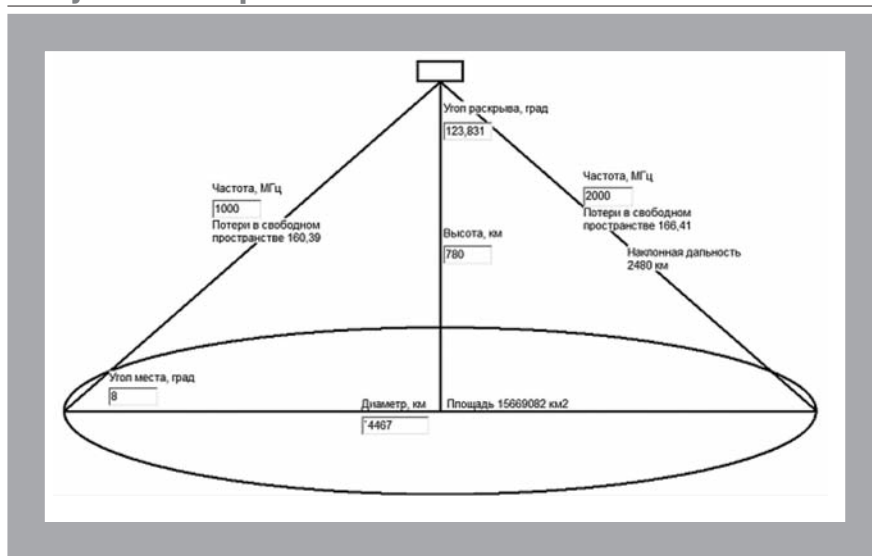


Рис. 1

Мгновенная зона радиовидимости системы “Гонец” (УМ = 8 град)

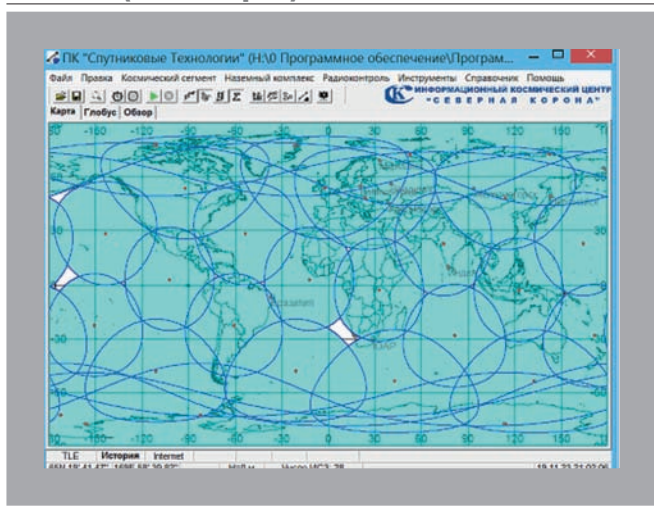


Рис. 2

Смысл мгновенной зоны радиовидимости спутника состоит в том, что в пределах этой зоны, ограниченной некоторым заданным минимальным углом места, системой гарантируется предоставление заявленных услуг с заявленным качеством. Параметр “минимальный угол места” для систем на НГСО является ключевым. Он определяет условия, в которых будет обеспечиваться работа абонентских станций, а также формирует требования к спутнику связи.

Например, в системе Iridium минимальный угол места принят равным 8 град. В этом случае мгновенные зоны радиовидимости спутников полностью и без “разрывов” накрывают поверхность Земли, обеспечивая непрерывное бесшовное глобальное обслуживание (сеть шлюзов в данном случае не нужна, так как есть межспутниковые линии). При этом зона обслуживания каждого спутника составляет в диаметре 4467 км, а наклонная дальность до границы зоны достигает 2480 км.

По сути, на этапе проектирования любой системы на НГСО рассматривают классический треугольник, который представлен на рис. 1.

Если бы для системы Iridium минимальный угол места был принят равным 25 град, то ситуация бы серьезно изменилась. Во-первых, диаметр зоны обслуживания уменьшился бы до 2480 км (то есть на 45%), а наклонная дальность сократилась бы до 1526 км (то есть почти на 40%). Это означает, что при

одних и тех же условиях энергетические затраты на обслуживание абонентов существенно снижаются, а значит, снижается и масса спутника. Однако сокращение размеров зон радиовидимости приведет к разрывам между мгновенными зонами радиовидимости спутников системы, что потребует нарастить мощность орбитальной группировки.

Поэтому представление любых зон (радиовидимости, обслуживания и др.) систем на НГСО информативно только при указании значения принятого минимального УМ. К сожалению, в большинстве случаев это игнорируется.

Рассмотрим проект системы “Гонец”, которая, как ожидается, должна заменить в части услуг подвижной персональной связи в S-диапазоне на территории России и в зоне Арктики глобальную систему Iridium. Как следует из [5], мощность орбитальной группировки составит 28 аппаратов (4 плоскости по 7 спутников), а наземный сегмент будет включать 7 станций сопряжения на территории РФ и 3 станции на территории стран БРИКС+.

Синтезируем орбитальную группировку и построим мгновенные зоны радиовидимости перспективной системы “Гонец” на некоторый произвольный момент времени при ограничении на минимальный УМ в 8 град. Результат представлен на рис. 2.

В ходе моделирования работы системы было видно возникновение, изменение формы и исчезновение таких характерных “островков не-

Зоны радиовидимости шлюзов системы “Гонец” (УМ = 7 град)

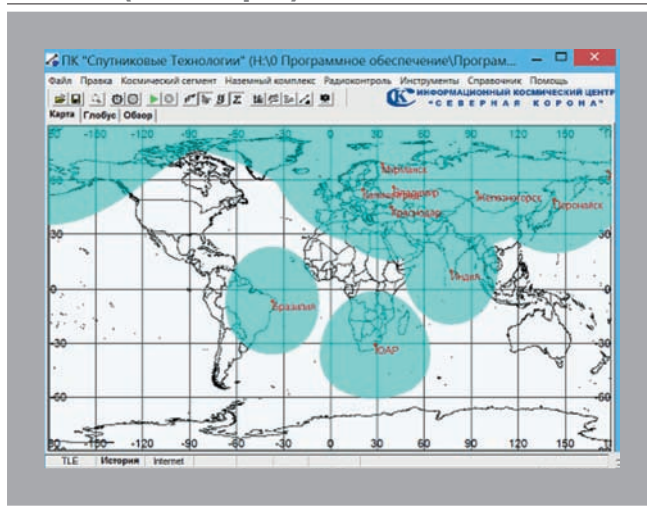


Рис. 3

обслуживания” (показано белым цветом на карте). Это означает, что глобальное радиопокрытие для 100% времени года не обеспечивается. Но “островки”, в общем-то, невелики, недолговечны и, по всей вероятности, не могут оказать существенного негативного воздействия на качество услуг системы.

Так как в системе нет межспутниковых линий, то зона обслуживания зависит от числа и мест расположения шлюзов. На рис. 3 представлены зоны радиовидимости шлюзов, размещенных на территории России и за рубежом, при ограничении на УМ = 7 град.

Зачастую зоны радиовидимости шлюзов (рис. 3) операторы представляют как зону обслуживания системы. Однако это не совсем так. Зона обслуживания может быть как больше, так и меньше зоны радиовидимости.

Зоной обслуживания будет являться гарантированная зона радиовидимости, в пределах которой для 100% времени года абонент всегда будет видеть хотя бы один спутник на УМ не менее минимального (в нашем случае 8 град) и сам спутник будет виден со стороны хотя бы одной станции сопряжения на УМ не менее минимального (в нашем случае 7 град). Получить ее можно путем моделирования.

На рис. 4 и 5 представлены зона обслуживания системы “Гонец” при использовании станций сопряжения только в РФ или всех заявленных соответственно. Зоны построены

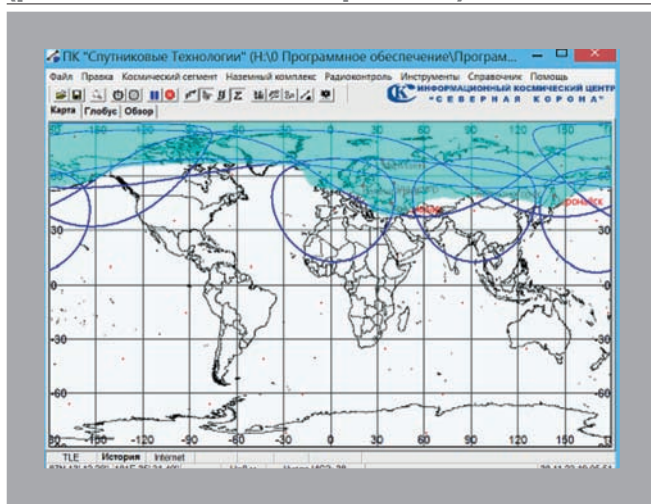


Рис. 4

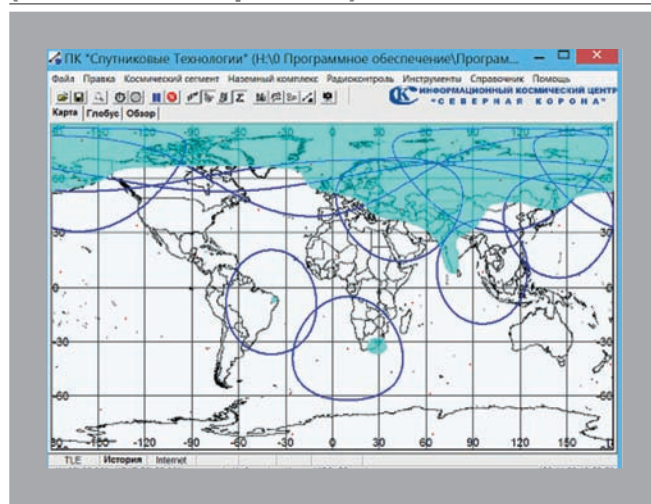


Рис. 5

для требуемой доступности 99% времени года. Здесь же представлены мгновенные зоны радиовидимости тех спутников, которые в некоторый момент времени доступны для станций сопряжения.

Из рисунков видно, что при развертывании российского сегмента шлюзов услуги системы будут доступны практически на всей территории РФ. Дополнительное развертывание международной сети шлюзов обеспечит обслуживание на большей части территории Индии, частично ЮАР и совсем незначительно в Бразилии.

Анализ данных Международного справочного регистра частот (BRIFIC)

Международный справочный регистр частот (BRIFIC) БР МСЭ содержит достаточно полную и детальную информацию по действующим и перспективным (заявленным) спутниковым системам (сетям). Информация BRIFIC для инженеров:

- позволяет оценивать принятые технические решения в спутниковых системах различного назначения;
- позволяет выбирать доступный высотный эшелон в группе низких орбит (LEO);
- является эталонной моделью загрузки и использования радиочастотного спектра в диапазонах частот спутниковых служб, что позволяет автоматизировать стандартные процедуры радиоконтроля.

Два или три раза в месяц выпускаются обновления к BRIFIC, так называемые IFIC – Информационные частотные циркуляры. Файлы IFIC доступны на сайте БР МСЭ, что позволяет с минимальной задержкой получать информацию о новых системах, о результатах координации заявленных систем и других изменениях.

BRIFIC, как и IFIC, имеют достаточно много различных таблиц, связанных между собой различными параметрами. Поэтому для решения практических задач удобно пользоваться программой “Альбатрос – БРИФИК”. Программа структурирует достаточно объемную информацию, содержащуюся в BRIFIC и IFIC, и представляет оператору результат в удобном виде.

В качестве примера загрузим и распакуем IFIC 3004 от 05.09.2023 [6]. Из списка спутниковых сетей выберем две на LEO-орбитах: RASSVET-1 и RASSVET-2. Как следует из [7], заявку на данные сети подало ООО “Бюро 1440”.

Информация о параметрах орбитальной группировки представлена на рис. 6. Видим, что эти две сети являются разными эшелонами одной спутниковой системы. Первая – это эшелон на наклонных орбитах (наклонение 60 град) высотой 500 км. Полные параметры эшелона RASSVET-1: [30; 45; 12; 0.27; УМ], [6871; 60]. Вторая – это эшелон на приполярных орбитах (наклонение 88 град) высотой 800 км. Полные параметры эшелона RASSVET-2: [10; 50;

Сети Rassvet-1 и Rassvet-2 в IFIC 3004 от 05.09.2023

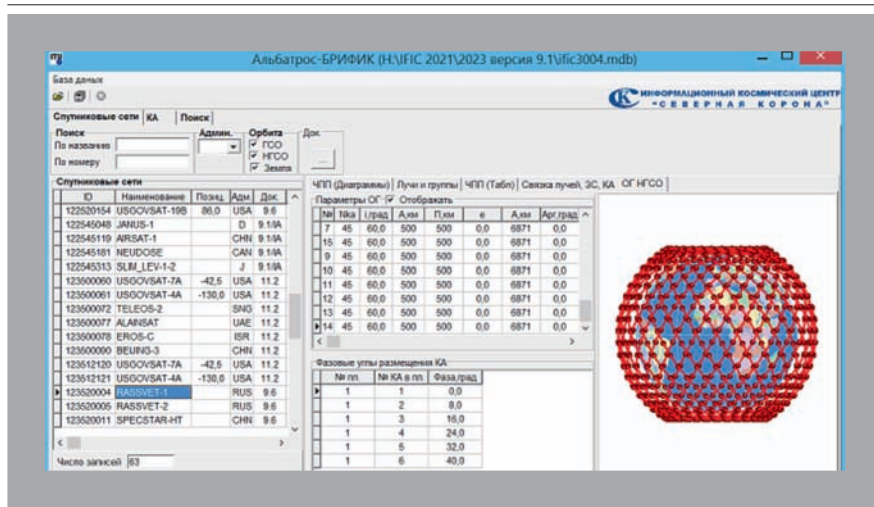


Рис. 6



Орбитальная группировка в составе двух эшелонов сети Rassvet

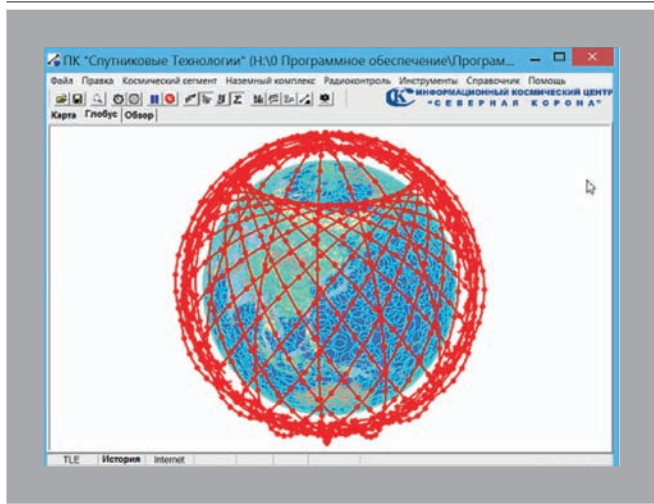


Рис. 7

18; 0.72; УМ], [7171; 88]. Параметр УМ — это минимальное значение угла места для абонентской станции, которое заложено в проекте. Информации о его значении в явном виде в IFIC нет. Оно может быть получено на этапе моделирования работы системы. Более подробно кодирование параметров орбитальных группировок было представлено в [8].

Синтезируем орбитальные группировки на основе полученных данных. Результат представлен на рис. 7.

Из заявки также видно, что работа системы будет осуществляться в Ки-и Ка-диапазонах частот. Заявлены также и межспутниковые линии.

Интеграция с аппаратурой земных станций

САПР “Альбатрос” может интегрироваться с аппаратурой земных станций спутниковой связи. Это позволяет визуализировать ситуацию, что называется, в “луче” антенны и обеспечивает решение множества задач, в частности:

- уточнять данные наведения антенны для гарантированного “захвата” спутника в случае его положения за пределами диаграммы направленности антенны (дрейф спутника на ГСО и др.);
- идентифицировать другие спутники, расположенные в “луче” антенны и, при необходимости, корректировать угловое положение электрической оси антенны, чтобы, с одной стороны, обеспечить требуемый уровень сигнала, а с другой — исключить перехват или постановку помех;

Ситуация в “луче” антенны ЗС

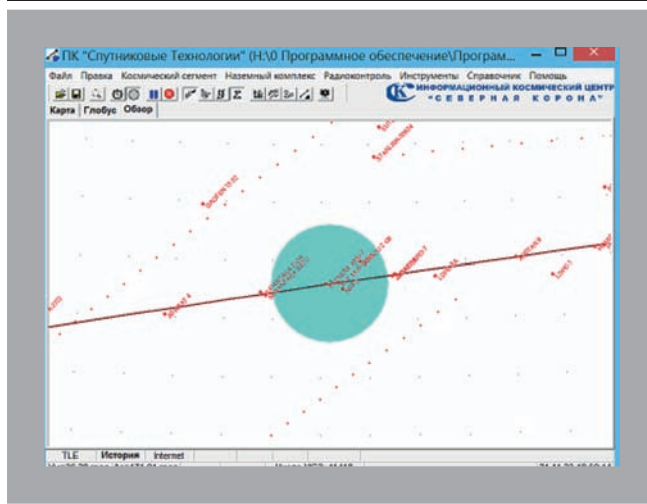


Рис. 8

- обеспечивать управление наведением антенны путем перетаскивания мышкой “луча” антенны на экране монитора на новый спутник и многое другое.

Пример экранной формы, на которой отображены участки геостационарной орбиты, мгновенное положение спутников на момент наблюдения и собственно “луч” антенны (круг синего цвета) представлен на рис. 8.

В этой конфигурации в состав комплекса входит встроенный частный каталог космических объектов (NORAD), а также BRIFIC. Это позволяет не только идентифицировать космические объекты, но и получить данные об их частотно-поляризационном плане. В совокупности это позволяет автоматизировать решение задач радиоконтроля. Например, земные станции радиоконтроля могут непрерывно сканировать видимую дугу ГСО и проверять по принципу “Есть излучение — соответствует BRIFIC?” и “Нет излучения — соответствует BRIFIC?”. Аналогичный подход можно использовать и к спутникам на НГСО.

В середине 2010-х гг. комплекс был интегрирован с аппаратурой станции радиоконтроля “Хабаровск” филиала ФГУП “РЧЦ ЦФО” в ДФО [9], и уже в скором времени это позволило решить одну из классических задач радиоконтроля — поиск и идентификацию источников помех.

В частности, земные станции, принимающие сигналы одного из транспондеров С-диапазона КА “Экс-

пресс-АМЗЗ”, стали испытывать периодическое ухудшение качества связи. Анализ ситуации показал, что в периоды такого ухудшения в непосредственной близости от “Экспресс-АМЗЗ” проходил геосинхронный КА BEIDOU I1-S с наклоном 55 град. Это было видно на экране монитора. Без использования такого программно-аппаратного комплекса решить эту задачу настолько оперативно было бы крайне затруднительно.

Гибридные радиосистемы

Характерная тенденция последнего времени — попытка развертывания гибридных сетей радиосвязи. В этом случае работа абонентских терминалов обеспечивается в сетях различной физической природы (отовых, кабельных, спутниковых, тропосферных и т.д.). Одна из основных целей развертывания гибридных сетей — достижение бесшовности обслуживания вне зависимости от положения абонентского терминала.

Для успешного решения этой задачи необходимы инструменты для проектирования и планирования не только спутниковых, но и наземных радиосетей. В состав САПР “Альбатрос” входит программный комплекс “Зона”, как раз и предназначенный для частотно-территориального планирования наземных радиосетей различных стандартов, в том числе LTE. Пример зоны обслуживания сети LTE в составе 5 базовых станций представлен на рис. 9.

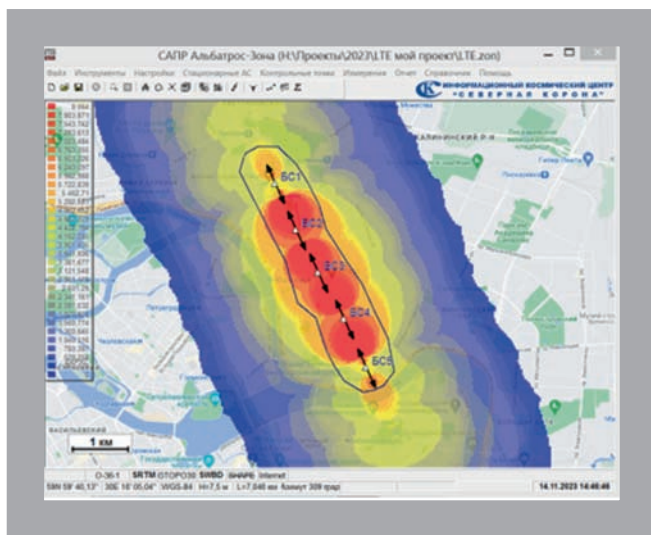


Рис. 9

Анализ ЭМС между системами на НГСО

Вопросы координации между спутниковыми сетями на ГСО достаточно хорошо отработаны. За последние годы также отработан методический аппарат координации между ГСО- и НГСО-системами. Точнее, отработаны методики, позволяющие исключить возникновение помех от НГСО спутниковых сетей ГСО спутниковым сетям. Однако наиболее сложный вопрос — это обеспечение ЭМС между сетями на НГСО. Ему посвящено достаточно много публикаций, в том числе [10, 11, 12]. Нужно отметить, что САИР “Альбатрос” позволяет “запустить” моделирование работы двух или большего числа многоспутниковых систем на НГСО и полу-

чать необходимую информацию для анализа ЭМС в любой точке сети, например получать в функции времени значения мощности сигнала и мощности помехи (от каждого источника и суммарно) на входе как абонентских станций, так и космических станций. На рис. 10 представлен график изменения значения отношения “сигнал/помеха” на входе абонентской станции системы “Экспресс-РВ” при анализе совместимости с системой OneWeb.

станции системы “Экспресс-РВ” при анализе совместимости с системой OneWeb.

Выводы

Инструментарий САИР “Альбатрос” позволяет решать широкий класс задач, связанных с анализом разнородных данных, моделированием функционирования спутниковых систем различного назначения, а также поддержкой принятия решений в области совершенствования систем и комплексов спутниковой связи.

Литература

1. <http://spacecenter.ru/Software.htm>
2. Витер В.В., Гриценко А.А., Липатов А.А., Степанов А.А., Тихонов О.С. Система спутников на эллипти-

ческих орбитах, эмулирующая характеристики системы спутников на геостационарной орбите. Патент на изобретение № 2223205.

3. Анпилогов В.Р., Гриценко А.А. Способ построения орбитальной группировки. Заявление о выдаче патента Российской Федерации на изобретение № 2022111889 от 29.04.2022 г.

4. Анпилогов В.Р., Гриценко А.А. О построении орбитальных группировок большой мощности на LEO для телекоммуникационных систем // Специальный выпуск “Спутниковая связь и вещание — 2023”. С. 48–52.

5. Манойло А.В Система спутниковой связи “Гонец” нового поколения. Доклад на X Международном форуме о профессиональных сетях и системах связи ProfComm-2023.

6. <https://www.itu.int/sns/ific91/ific3004.zip>

7. Приборкина И. Россия заявила Rassvet, ComNews, 01.03.2023, <https://www.comnews.ru/content/224619/2023-03-01/2023-w09/rossiya-zayavila-rassvet>

8. Анпилогов В.Р., Гриценко А.А. Оптимальные низкоорбитальные группировки // Специальный выпуск “Спутниковая связь и вещание — 2022”. С. 44–47.

9. Гриценко А.А., Мехов В.В. Опыт разработки ситуационного центра для решения задач радиоконтроля в диапазонах частот спутниковых служб // Инфосфера. 2015. № 68. С. 21–24.

10. Анпилогов В., Гриценко А. Результаты моделирования многоспутниковых систем связи на низких и высокоэллиптических орбитах и оценка помеховой обстановки при совместном использовании полос радиочастот // Технологии и средства связи. 2017. № 6–2. Специальный выпуск “Спутниковая связь и вещание — 2018”. С. 42–46.

11. Анпилогов В., Гриценко А., Чекушкин Ю., Зимин И. Результаты анализа совместной работы систем OneWeb и “Экспресс-РВ” в Ku-диапазоне // Специальный выпуск “Спутниковая связь и вещание — 2019”. С. 48–54.

12. Анпилогов В.Р., Гриценко А.А. Анализ многолучевой рабочей зоны спутников OneWeb // Специальный выпуск “Спутниковая связь и вещание — 2017”. С. 78–84.

График изменения (С/И) на входе абонентской станции системы “Экспресс-РВ” при анализе совместимости с системой OneWeb

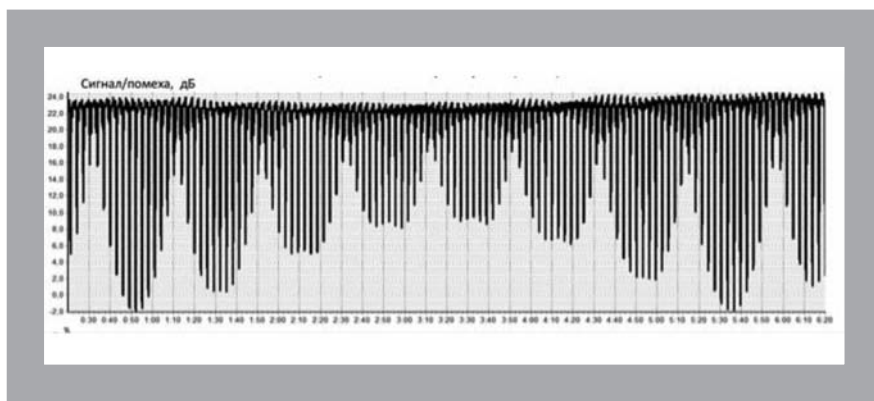


Рис. 10

Адреса и телефоны
АО “ИКЦ “СЕВЕРНАЯ
КОРОНА”
см. стр. 120 “Информация о компаниях”