

**ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ
INFORMATION SYSTEM AND TECHNOLOGIES**

УДК 621.396.933

DOI: 10.18413/2518-1092-2022-7-3-0-1

Калинин В.С.
Белов С.П.**ОБЗОР ИСТОЧНИКОВ ПОМЕХ В СПУТНИКОВЫХ СИСТЕМАХ
СВЯЗИ**Белгородский государственный национальный исследовательский университет,
ул. Победы д. 85, г. Белгород, 308015, Россия*e-mail: vladmirkalinin@yandex.ru***Аннотация**

В статье рассматриваются некоторые источники возникновения помех в спутниковых каналах связи, такие как воздействие ионосферы, космической погоды и воздействие техногенных источников помех. Показано, что спутниковые системы передачи информации остаются актуальными и продолжают развиваться, также рассмотрены планы и проекты по дальнейшему развитию данного вида связи в Российской Федерации. Рассмотрена актуальность VSAT-систем и область их текущего применения, а также предложены возможные способы применения данного вида спутниковой связи, основными способами применения видятся системы мониторинга и связь в отдаленных местах нашей планеты, а также изучение космоса и мониторинг состояния спутниковых ретрансляторов, находящихся в открытом космосе. Разобраны преимущества и недостатки построения подобных систем, а также, предложена идея нивелирования возникающих недостатков при помощи использования технологий когнитивного радио с использованием возможностей программно определяемых радиосистем.

Ключевые слова: спутниковая система связи; VSAT; мониторинг; помехоустойчивость; Арктика

Для цитирования: Калинин В.С., Белов С.П. Обзор источников помех в спутниковых системах связи // Научный результат. Информационные технологии. – Т.7, №3, 2022. – С. 3-13. DOI: 10.18413/2518-1092-2022-7-3-0-1

Kalinin V.S.
Belov S.P.**OVERVIEW OF SOURCES OF INTERFERENCE IN SATELLITE
COMMUNICATION SYSTEMS**

Belgorod State National Research University, 85 Pobedy St., Belgorod, 308015, Russia

*e-mail: vladmirkalinin@yandex.ru***Abstract**

The article discusses some sources of interference in satellite communication channels, such as the impact of the ionosphere, space weather and the impact of man-made sources of interference. It is shown that satellite information transmission systems remain relevant and continue to develop, plans and projects for the further development of this type of communication in the Russian Federation are also considered. The relevance of VSAT systems and the scope of their current application are considered, as well as possible ways of using this type of satellite communication are proposed, the main methods of application are monitoring systems and communications in remote places of our planet, as well as the study of space and monitoring the state of satellite repeaters located in outer space. The advantages and disadvantages of building such systems are analyzed, and the idea of leveling the emerging shortcomings by using cognitive radio technologies using the capabilities of software-defined radio systems is proposed.

Keywords: satellite communication system; VSAT; monitoring; noise immunity; Arctic

For citation: Kalinin V.S., Belov S.P. Overview of sources of interference in satellite communication systems // Research result. Information technologies. – Т.7, №3, 2022. – Р. 3-13. DOI: 10.18413/2518-1092-2022-7-3-0-1

ВВЕДЕНИЕ

Можно утверждать, что многие аспекты жизни завязаны, в частности, на спутниковую связь: связь во время походов в море, комфорт на дачных участках, в виде интернета и телевидения, отслеживание состояния удаленных объектов, различного рода исследования и многое другое. Несмотря на удобство, относительную простоту установки конечного оборудования, на стороне пользователя, спутниковые системы связи весьма ненадежны, если сравнивать с другими видами беспроводной связи. Это вызвано огромными расстояниями, которые вынужден преодолевать сигнал, а также большим количеством помех разного рода, возникающих, в том числе, в зависимости от погодных условий и других природных явлений. При повышении защищенности от подобного рода помех увеличится качество предоставляемых услуг как для абонентов различных сервисов триплпэй (интернет, телевидение и телефония), так и для персонала, отвечающего за мониторинг и обслуживание различного рода установок в отдаленных регионах нашей страны.

МЕТОДЫ

Начать стоит с возможных перспектив: развитие данной отрасли коммуникационных услуг достаточно успешное, и это невзирая на определенную стагнацию этой отрасли в начале века и крах таких проектов как Иридиум и Глобстар, которые являлись попытками коммерциализации подвижной спутниковой связи, более того огромный успех радиовещания в спутниковых коммуникациях перекрыл эти проблемы. А наибольшие дивиденды получили такие услуги как теле- и радиовещание.

За период с 2000 по 2012 года, рынок вещания вырос более чем в 3 раза, в 3.5 если быть точным, и составил 113 млрд. \$, на столь позитивный рост не повлиял даже мировой финансовый кризис, а орбитальная группировка насчитывала 13 ретрансляторов на геостационарной орбите и выполняла следующие цели:

- Теле и радиовещание на 5 зон РФ и других стран, как коммерческих, так и государственных программ
- Организация сетей уровня магистральной, передача потоков данных, в том числе Интернет и телефония
- Поддержка мобильной связи в спутниковом диапазоне L
- Телевидение
- VSAT для корпораций и других локальных сетей.

В зону покрытия вошли страны Евразии, Северной Америки, Южной Америки, Австралии.

Федеральная космическая программа на 2006-2015 годы подразумевала обновление гражданской системы спутниковой связи, которая и была завершено после запуска спутникового ретранслятора Экспресс-АМУ1

Для обеспечения безопасности, государственного управления и развития экономики Российской Федерации на период 2017-2025 годы Минкомсвязью России совместно с Россвязью и ГП КС в 2015 г. разработан проект концепции ФЦП «Развитие орбитальной группировки спутников связи и вещания гражданского назначения, включая спутники на высокоэллиптической орбитах».

Для осуществления необходимо:

- Запустить в промышленную эксплуатацию группировку спутников для осуществления связи и вещания на высокоэллиптических орбитах в количестве 4 штук, срок выполнения до конца 2022 года.

-Запустить в промышленную эксплуатацию группировку спутников для осуществления связи и вещания на геостационарной орбите в количестве 7 штук, срок выполнения до конца 2025 года.

-В качестве научного приоритета установить развитие и использование сетей связи на основе спутниковых систем.

Выполнение выше названных пунктов приведет к укреплению лидерства России в Арктическом регионе, полностью покрыв нужды региона со стороны телекоммуникационных услуг, тем самым сократив цифровое неравенство.

Подробнее останавливаясь на VSAT, следует отметить, что данная система получила своё распространение в 2005 году в США, когда попала на рынок для физических лиц, что привело к созданию одноименных сетей в Ка-диапазоне, в таких странах как Австралия, США, Канада. Главным преимуществом такой системы является низкая стоимость, в размере нескольких сотен долларов, что приводит к условному равенству стоимости переданной единицы информации, в сравнении с проводными системами передачи информации.

Емкость подобным систем рассчитана на число пользователей порядка нескольких миллионов, спутники Экспресс АМ5 и АМ6 были созданы с возможностью поддержки VSAT систем, после успеха за океаном, это было единственным верным решением, учитывая небольшие размеры требуемой антенны на МЗССС, диаметр которой составляет всего 1 метр

Учитывая актуальность новых VSAT станций, в рамках работ по конверсии радиочастотного спектра ЗАО «ВИСАТТЕЛ» и ФГУП НИИР были рассмотрены такие системы. Результатом стало принятие решения ГКРЧ на перспективу, которое уже сегодня гарантирует потенциальным инвесторам минимум барьеров при использовании VSAT станций Ка-диапазона. Следует отметить, что развитие VSAT Ка-диапазона не исключает применение различных технологий VSAT в Ку-диапазоне, ориентированных на крупных корпоративных заказчиков или средний бизнес. Интересно отметить, что новые массовые системы VSAT Ка-диапазона впервые начинают конкурировать с сотовыми сетями. Особенно эта конкуренция будет проявляться по мере развития сетей WiMax и LTE. Настораживает только то, что готовится новый Технический регламент «О безопасности средств связи», который вобрал в себя ряд давно устаревших норм; подготовлен проект федерального Закона «О радиочастотном спектре»; отсутствует ясность по будущим правилам оплаты за использование радиочастотного спектра. Главное, чтобы все это не привело к формированию дополнительных барьеров на пути развития новых радиотехнологий, в том числе VSAT.

Однако в след за таким скачком возникает вопрос безопасности передаваемых данных, тут приходят на помощь нижеупомянутые системы «свой-чужой».

А безопасность подобных станций находится на весьма высоком уровне, во многом благодаря тому, что наблюдаются все виды предпринимаемых действий, дабы информация не попала к злоумышленнику.

Начать стоит с шифрования данных, в базовом виде оно происходит дважды: на конечном оборудовании пользователя и на специальном оборудовании, которое установлено в ЦУС. Более того, в некоторых системах предусмотрено, что абонент может дополнительно присоединить персональный модуль, который будет отвечать за шифрование данных.

Собственно, в ЦУС на сервере безопасности находится БД ключей шифрования и сеансовых. Это первая часть, вторая часть находится в аппаратной части конечно оборудования – аппаратный ключ, который соответствует определенным данным из БД в ЦУС. Только при этих условиях оборудование будет работать в этой сети. Соответственно, за выдачу и создание таких ключей ответственна компания-производитель оборудования, также он обязан обезопасить от различных методов заполучения ключа или его изучения.

Далее сами серверы:

Во-первых, у подобной компании не может быть лишь один сервер, соответственно, есть некое межсерверное взаимодействие, для которого, как правило, используются специальные

протоколы. Это необходимо для абсолютного контроля сетевых интерфейсов, что может снизить вероятность несанкционированного доступа к оборудованию из сети до крайне низких значений.

Во-вторых – дублирование. У каждого важного сервера должен быть дублирующий, который, в случае поломки основного, может взять всю нагрузку на себя.

В-третьих, активное использование виртуальных сетей для разграничения пользователей, что почти нивелирует угрозу подключения из сети Интернет через пользователя, а также препятствует глобальному внедрению вирусного ПО.

Безопасность самого конечного оборудования, то есть спутникового пользовательского терминала. Во-первых – сетевой фильтр, именно он позволяет исключить возможность атаки на порты и сеть абонента. Во-вторых, возможность регистрации различных событий, таких как попытки взлома, возникновение ошибок и т.п., после чего эта информация передается диспетчеру ЦУС, для принятия оперативных решений или изучения журнала событий.

Также информационная безопасность повышается на этапе построения каналов передачи информации. Существует два канала: прямой и обратный. Как правило по прямому каналу наземная станция получает управляющие сигналы из ЦУС и также другую служебную информацию, по обратному каналу наземная станция передает свои данные. Итак, в случае неправильной работы одного из этих каналов, то есть наземная станция не получит сигналы по прямому каналу, то и свои данные на отдалить не сможет, верно и обратное: при некорректной передаче данных с наземной станции, управляющие сигналы также приняты не будут. Вдобавок к такой системе идет достаточно сложное шифрование.

Все вышеперечисленное позволяет выполнять передачу личной, служебной и закрытой информации, вплоть до самых высоких грифов. В последнем случае используется дополнительное оборудование, о котором упоминалось ранее.

Исходя из всего перечисленного можно сделать вывод, что защищенность системы VSAT достаточно велика и в дальнейшем будет развиваться в след за развитием отрасли.

Говоря о иных преимуществах данного типа связи, в первую очередь отмечают высокий охват территории, которую может обслуживать один ИСЗ, из этого параметра и вытекает возможность проведения различных замеров и видов контроля за различной инфраструктурой.

То есть осуществление мониторинга. Мониторинг, это процесс, во время которого отслеживаются определенные показатели и индикаторы, влияющие на производительность системы, более того благодаря этому процессу можно составлять различные отчеты и собирать информацию, в зависимости от индикаторов, введенных в средства мониторинга, которые в свою очередь бывают активными и пассивными. При условии автоматизации определенного рода процессов, связанных с мониторингом, в итоге повышается производительность системы, подверженной мониторингу, в частности это касается и спутниковых систем связи, так как из-за высокой ненадежности система мониторинга может значительно повысить эффективность работы с информационными потоками, тем самым уменьшая время реакции на различные изменения в работе систем.

Благодаря всему вышеперечисленному, у ответственного персонала уменьшается количество неизвестных переменных, тем самым позволяя принять оптимальные решения в кратчайшие сроки.

С точки зрения науки, мониторинг позволяет выявлять факторы, ухудшающие работоспособность системы.

Более того, под мониторингом можно понимать не только снятие индикаторов и показателей системы, но и различные варианты сбора информации с оных, а при подключении различного рода интерфейсов, позволяет контролировать распространение каналов связи в различных сетях и контролировать потоки данных, а также проводить различную деятельность, направленную на контроль различными структурами.

Из чего вытекают основные задачи мониторинга:

- Непрерывный мониторинг исходящего трафика
- Запись трафика для специальных надзорных мероприятий.

-Предоставление аналитической информации

Поскольку современные сервера способны принимать любые виды трафика, то это позволяет организовать хранение различных данных, содержащих информацию технического плана о подключенном оборудовании и предоставлять доступ в зависимости от настроек политики безопасности сервера.

Говоря о труднодоступных местах мониторинга, можно утверждать, что сервер будет иметь достаточное техническое оснащение для прослеживания работы каналов от приемника абонента до ЦУС оператора, а также позволит интегрировать в себя различные измерительные инструменты, что откроет возможность проводить аналитику в режиме реального времени, т.к. обычно подобные системы предоставляют доступ к следующим данным:

-Карты состояний оборудования и проблем на оном.

-Основные показатели оборудования

-Просмотр хронологий или историй различных триггеров системы.

Подобная визуальная составляющая может быть достаточно красочна, и состоять из разноцветных диаграмм и схем (Например, Инити Соло), либо иметь сухие словесные сводки, даже без цветовой маркировки (Проекты на базе Citect scada), все эти инструменты служат для упрощения взаимодействия ответственного персонала и систем контроля, для увеличения вероятности принятия правильных решений в критических ситуациях.

Непосредственно предоставление подобных данных осуществляется при помощи интегрированных модулей, предназначенных для снятия показателей, в дальнейшем, при проведении настройки систем мониторинга есть возможность произвести предварительный анализ, для того, чтобы система была более наглядной, либо настроить автоматические варианты решения определенного рода неисправностей или неточностей путем установки различного оборудования по типу модулей прерывания электропитания или программных средств контроля. С увеличением длительности эксплуатации системы мониторинга увеличивается информативность графиков, показателей и т.д., при условии постоянной актуализации оборудования, стоящего на мониторинге.

А различные модули и интерфейсы позволяют настроить удаленный доступ, оповещение и некоторые другие инструменты для увеличения оперативности, т.е. снижения времени реагирования на возникающие проблемы.

Как говорилось ранее есть пассивные, а есть активные системы мониторинга, разница заключается в том, что в первом случае мониторинг осуществляется за счет различного рода предупреждений, а во втором используются специальные автоматические проверки. Во втором случае, как правило, при возникновении расхождении параметров с рекомендуемыми, это влечет за собой определенные действия – письма персоналу, звуковые оповещения операторов и т.п., при пассивном просто возникает сохраняется история, без как-либо предпринимаемых действиях, то есть такая тревога может пройти мимо внимание дежурного персонала.

Из чего вытекает небольшое разделение, заключающееся в том, что активный мониторинг выгоднее использоваться на важных узлах или устройствах, в то время как пассивный на редко используемых и важность которых значительно меньше.

Говоря об оповещении персонала при активном способе мониторинга, следует упомянуть что существует ряд оповещений: информационные и предупредительные, последние в свою очередь могут делиться по важности.

Под информационными принято понимать оповещения не влияющие на работу системы: перезапуски удаленными командами, авторизация пользователя и т.п. Предупредительные же указывают на приближение определенных параметров к критическим значениям (мало место на диске, повышенное напряжение и т.п.) и сообщения о сильных отклонениях (Пропадание электропитания, сетевой доступности и т.п.).

Исходя из этого, можно утверждать, что подобные системы являются важным звеном в обеспечение бесперебойности работы оборудования, и предоставления услуг пользователям. При правильной работе с подобными системами увеличивается общая отказоустойчивость

оборудования, повышается оперативность устранения неисправностей и уменьшается время простоя, а также позволяет провести оптимизацию затрат ресурсов, что повлечет экономию средств бюджета, в связи с отсутствием избыточных мощностей и объемов в подотчетном оборудовании, либо позволит рассчитать мощности необходимые для масштабирования данной системы.

Второй ветвью развития из главного преимущества спутниковой связи, является работа в труднодоступных местах, в частности в Арктических широтах. Однако есть множество факторов, влияющих на создание системы связи и организацию связи в Арктике:

1. Значительные водные просторы, ледовые территории и тундра. В акватории Арктики не много островов, которые находятся на больших расстояниях между собой и материковой частью.
2. Суровые климатические условия. Температура воздуха опускается до минус 55° – 60° . Близки к 0° средние температуры летних месяцев. Для Арктики характерны полярные дни и ночи.
3. Отсутствие сети транспортных дорог в тундре. Сообщения между населенными пунктами возможны водным транспортом во время короткой навигации с мая по сентябрь или авиацией.
4. В Арктической зоне часто возникают полярные сияния, так называемые «полярные шапки». Магнитные и ионосферные бури отрицательно влияют на распространение коротких радиоволн

Тропосферная и радиорелейная связь возможна как на островах, так и между ними, то есть существует возможность применения для строительства сетей связи на материковой и островной частях. Исходя из возможности технических средств, можно утверждать, что средние и длинные волны делают связь возможно в пределах 20-180 км, в зависимости от того, является оборудование радиорелейным или тропосферным, в первом случае радиус передачи будет меньше. С другой стороны, короткие и ультракороткие волны тоже могут передавать информацию в северных широтах, однако из-за особенностей обстановки, эти волны не могут использоваться на сколько-то не было большие расстояния, только малые дистанции. Иными словами, спутниковая связь является лучшим вариантом для этих широт, ввиду своего главного преимущества – глобальности. В определенных широтах есть возможность связи с геостационарных спутников, однако, чем ближе к полюсу, тем меньше вероятность приёма сигнала от геостационарного спутника, однако на этот случай существуют высокоэллиптические орбиты.

Если принять во внимание стратегическую важность освоения Арктики, а также управление и контроль на отдаленными объектами инфраструктуры, то появляется проблема сохранения безопасного доступа к спутниковым системам коммуникаций.

Различные отрасли, имеющие большую протяженность коммуникаций, такие как нефтегазовые, электрические и т.п., имеют удаленные объекты, за которыми нужно осуществлять удаленный мониторинг. И если в экваториальных широтах особой проблемы с этим нет, то в северных широтах используются низкоорбитальные спутниковые ретрансляторы в количестве до 70 штук, в зависимости от высоты, которая может составлять до 1500 км, таким аппаратом может быть, например, «Ямал», используемый нефтедобывающей компанией Газпромом.

Главным недостатком таких аппаратов является короткое окно связи, составляющие менее часа, из-за чего у подобных систем связи ярко выражена частая смена каналов, из-за чего возникает опасность перехвата сигналов управления или информации, передающейся по каналу. Самый опасный момент – первый этап связи с ретранслятором, когда устройства обмениваются служебными маркерами, служащими для установления соединения. При имитации этих сигналов сторонним лицом велик шанс потери контроля над оборудованием и дальнейших проблем с мониторингом или коммуникациями в целом, что в свою очередь грозит огромными потерями: финансовыми, информационными и репутационными.

Поэтому в спутниковое оборудование и устанавливают систему идентификации устройств, которую можно назвать системой «свой-чужой», она позволяет в режиме реального времени контролировать устанавливаемые соединения.

Говоря о безопасности, следует понимать, что некий злоумышленник может не только получить доступ к управлению, но и предпринять попытку ограничить доступ персонала к

спутниковому оборудованию, путем постановки помех, зная спецификацию используемого оборудования, злоумышленник может использовать постановку помех в определенном спектре.

Как известно, в спутниковых каналах связи часто встречаются различного рода активные помехи, с энергией рассредоточенной в ограниченной полосе частот, из-за чего появился простор для использования сигналов, полоса спектра которых очень велика, из-за чего сигналы стали называться сложные широкополосные сигналы, а преимуществом данного типа сигналов является снижение вероятности ошибки. Однако, из-за особенностей строения спутникового канала связи возникает следующая дилемма: существует ряд возможностей для создания возмущений в ионосфере, что повлечет за собой многолучевое распространение, тем самым ограничивая полосы спутникового ретранслятора. Вследствие этого возникает межсимвольная интерференция и частотно селективные замирания, возникновение которых при использовании широкополосных сигналов снижают их эффективность. Но если уменьшить полосу данного сигнала, то это поможет избежать частотно-селективных замираний, однако это также приведет к снижению эффективности широкополосных сигналов из-за потери их главной особенности. Для обеспечения максимальной достоверности, то есть низкой вероятности ошибки, находят зависимость между частотно-селективными замираниями на широкополосном сигнале и влиянии сосредоточенных по спектру помех.

А учитывая современные возможности оборудования, система может самостоятельно находить подобные неоднородности, зависимости и подстраивать параметры передающего оборудования для нивелирования негативного влияния

Также следует учитывать, что спутниковая связь находится вне нашей планеты, из-за чего возникает целый ряд различных трудностей, одной из которых являются мерцания.

Мерцания, или сцинтилляции, замирания, вызываются, как и многие другие подобные явления, за счет электронной неоднородности ионосферы, как говорилось ранее, именно это является причиной возникновения многолучевого распространения, правда ранее упоминалось стороннее воздействие, в данном случае подразумеваются естественные процессы, которые подчиняются m -распределению Накагами и могут быть очень сильными, особенно в полярных и экваториальных широтах, разница может быть весьма существенна: до десятка раз, если сравнивать со средними широтами. Иными словами, на конечном оборудовании пользователя спутниковой системы связи возникают изменения амплитуды и/или фазы. Фазовые изменения вызваны частотно-селективными замираниями, говоря простыми словами сигнал приходит в точку приема с задержкой, а амплитудные изменения вызваны снижением уровня сигнала, которое обусловлено тем, что при повышении электронной концентрации ионосферы, на её преодоление сигналом теряется больше мощности, чем при более низкой концентрации в предыдущий период времени, тем самым снижая полезную энергию сигнала.

Однако, даже в средних широтах бывают замирания, которые по своей глубине могут быть отнесены к релеевским, иными словами, настолько глубокие замирание характерны для крайних широт – то есть для экваториальных и полярных, но все же бывают и в средних широтах, пусть и реже. Из-за чего возникает необходимость мониторинга электронной концентрации ионосферы для предсказания возможных проблем со спутниковой помехозащищённостью в различных районах.

По результатам мониторинга среднеквадратического отклонения мелкомасштабных вариаций полного электронного содержания ионосферы, которые базируются на экспериментальных данных мониторинга ионосферы, и указывают на возможность образования в средних широтах областей с повышенным значением СКО мелкомасштабных вариаций электронной концентрации, которые могут вызывать глубокие мерцания принимаемых сигналов и недопустимое снижение помехоустойчивости систем спутниковой связи в течение 13 мин. Эти данные могут быть использованы для адаптации частотно-временных параметров спутниковых систем связи к изменению условий трансionoсферного распространения радиоволн с целью повышения помехоустойчивости в условиях ионосферных возмущений типа образования мелкомасштабных неоднородностей электронной концентрации.

Непосредственно для выстраивания прогнозов было предложено экспериментально установить зависимость функции передачи канала связи, зависящей от мощности принимаемого сигнала на стороне пользователя, от параметров средней электронной концентрации и замираний ею вызванной.

Для создания подобной модели необходимо использовать построение многолучевых каналов связи с замираниями из области статистической теории связи, а также радиофизические методы и уравнения.

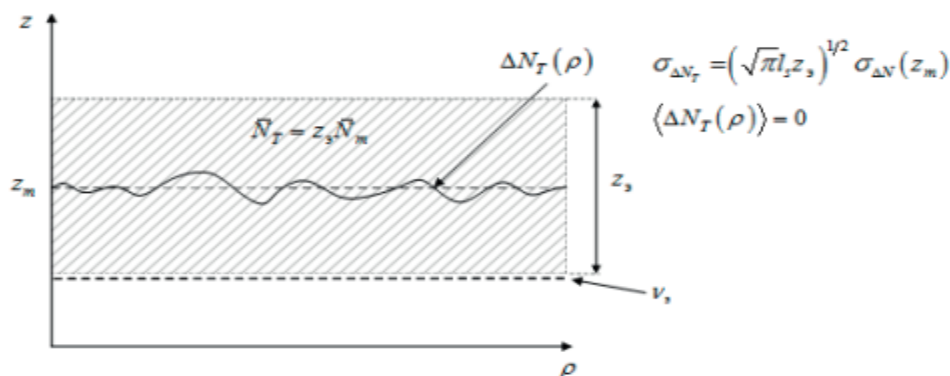


Рис. Комплексная модель ионосферы
Fig. Integrated model of the ionosphere

Комплексная модель распределения ЭК неоднородной ионосферы по высоте z и пространству $\rho(x,y)$ которую можно представить в виде совокупности трех слоев:

- однородного слоя с эквивалентной толщиной z расположенного на высоте $z = z_m$, максимума ионизации и характеризующегося средним значением ПЭС
- расположенного на его нижней границе тонкого слоя, где происходят только столкновения электронов с ионами и нейтральными молекулами с эффективной частотой
- тонкого слоя неоднородностей, расположенного на высоте $z = z_m$ максимума ионизации, который описывается статистическими характеристиками пространственных флуктуаций ПЭС, нулевым математическим ожиданием и постоянным СКО

Помимо проблем с ионосферой, в космосе также существует ряд действующих сил, так называемая космическая погода, среди которой можно выделить вспышки солнечного радиоизлучения, геомагнитные возмущения и другие факторы космической погоды. экстремальные факторы космической погоды могут стать причиной существенного ухудшения качества функционирования ГНСС и их функциональных дополнений. Анализ проблемы позволяет наметить следующие направления совершенствования ГНСС:

- а) улучшение точности измерений радионавигационных параметров в условиях действия экстремальных факторов космической погоды;
- б) совершенствование контроля целостности системы и доступности требуемых навигационных характеристик пользователей ГНСС.

Улучшение точности измерения радионавигационных параметров предполагает максимальное уменьшение систематической и случайной погрешностей измерения фазы или псевдозадержки в условиях действия геомагнитных возмущений, ионосферных неоднородностей и мощных солнечных радиовспышек.

В автономном режиме навигации это может быть достигнуто следующими путями:

- 1) использованием моделей или оперативнообновляемых карт для коррекции ионосферных дальномерных погрешностей;
- 2) адаптивной настройкой следящих измерителей радионавигационных параметров;

3) снижением тепловых шумов радиотракта навигационного приемника и, как следствие, уменьшением порогового отношения сигнал/шум, определяющего устойчивость сопровождения радионавигационного параметра и точность его измерений;

4) использованием кодов дальномерных измерений, обладающих лучшими кросс-корреляционными свойствами и потенциальной точностью измерений.

Мероприятия 1 и 4 обеспечивают уменьшение систематической погрешности дальномерных измерений и повышают их потенциальную точность. При этом использование моделей ионосферной дальномерной погрешности далеко не всегда достаточно эффективно даже в спокойных условиях, не говоря об условиях геомагнитных бурь. Альтернативой может быть использование локальных или глобальных/региональных карт ПЭС, обновляемых в масштабе времени, близком к реальному.

Однако не следует забывать и о другой стороне спутникового канала связи – наземной. Как и говорилось в начале, основным движущим фактором стало развитие телевидения. Что подразумевает относительно высокую плотность людей, а, следовательно, различных бытовых приборов, которые, как правило, работают в одном и том же спектре частот, из-за чего возникают так называемые сосредоточенные по спектру помехи, о них кратко упоминалось ранее, в городской черте это особо заметно из-за обилия устройств. Физика процесса заключается в том, что большое количество относительно слабых сигналов на определенной частоте перебьют по мощности информационный сигнал, который мощнее отдельно взятых, но не суммы.

Как понятно из ранее сказанного, подобного рода препятствия в канале связи, как правило, являются искусственными, то есть так или иначе созданы руками людей. Быстрые темпы развития различного оборудования, такого как медицинское, например, привело к большому сужению сводного радио пространства в местах густонаселенных.

Это и стало причиной создания таких канальных сигналов, энергия сообщения в которых будет расположена вне полосы помехи, из-за чего информационная часть сообщения будет передана в полном объеме. Такая функция называется адаптивностью спектральных свойств, а сигналы, соответственно ими обладают.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Использование технологии когнитивного радио, суть которого будет заключаться в поиске неоднородностей ионосферы, и как следствие обнаружение различных проблем, такие как, например, затухание, а также при наличии возможности настройки собственных передающих характеристик имеет смысл в ряде случаев:

- Мониторинг и устранение неисправностей на отдаленных объектах.
- Мониторинг и устранение неисправностей на объектах теле и радиовещания.
- Мониторинг и устранение неисправностей на спутниковых ретрансляторах в открытом космосе.

Иными словами, там, где доступ обслуживающему персоналу будет затруднителен или невозможен в принципе.

При установке оконечного оборудования на удаленных объектах следует уделить больше внимания различным влияниям ионосферы на канал связи, при космическом на так называемую космическую погоду.

Список литературы

1. Абдраимова А.С., Ларин А.А. Состояние и перспективы развития спутниковых систем связи // Инновации и инвестиции. 2016. №6. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sostoyanie-i-perspektivy-razvitiya-sputnikovyyh-sistem-svyazi>
2. Аблаймеко С.В., Саечников В.А., Спиридонов А.А. Спутниковые системы связи // Пособие для студентов факультетов радиофизики и компьютерных технологий, механико-математического и географического // URL: <https://elib.bsu.by/bitstream/123456789/114395/1/Ablameiko-Saechnikov-Spiridonov.pdf>

3. Аганесов А.В., Макаренко С.И. Модель объединенной воздушно-космической сети связи с децентрализованным принципом ретрансляции информационных потоков на основе mesh-технологий // Инфокоммуникационные технологии. – 2016. – Т. 14. – №1. – С. 7-16.
4. Богуш Р.Л., Гильяно Ф.У., Непп Д.Л. Влияние частотно-селективных эффектов распространения радиоволн на автоматическое слежение за сигналом в приемниках широкополосных систем связи // ТИИЭР. 1981. – Т. 69. – № 7. – С. 21-32.
5. Варакин Л.Е. Системы связи с шумоподобными сигналами. М.: Радио и связь, 1985. – 284 с.
6. Гурлев Игорь Валентинович Методы и способы обеспечения безопасности информации, передаваемой по спутниковой сети технологии VSAT // Вестник евразийской науки. 2017. №3 (40). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metody-i-sposoby-obespecheniya-bezopasnosti-informatsii-peredavaemoy-po-sputnikovoy-seti-tehnologii-vsats>
7. Демьянов В.В. Космическая погода: факторы риска для глобальных навигационных спутниковых систем / В. В. Демьянов, Ю. В. Ясюкевич // Солнечно-земная физика. – 2021. – Т. 7. – № 2. – С. 30-52. – DOI 10.12737/szf-72202104. – EDN MDYWKR.
8. Жилияков Е.Г., Белов С.П., Пашинцев В.П., Старовойт И.А., Ушаков Д.И. Реализация метода формирования сигналов с изменяющимися частотными свойствами на базе платформы ni rxi-1065 // Инфокоммуникационные технологии. – 2014. – Т. 12. – №3. – С. 62-66.
9. Ипатов В.П. Широкополосные системы и кодовое разделение каналов. Принципы и приложения. М.: Техносфера, 2007. – 488 с.
10. Калмыков И.А., Пашинцев В.П., Калмыков М.И., Ляхов А.В. Применение помехоустойчивого протокола аутентификации космического аппарата для низкоорбитальной системы спутниковой связи // Инфокоммуникационные технологии. – 2015. – Т. 13. – №2. – С. 183-190.
11. Коротков С.Ю., Пашинцев В.П., Солчатов М.Э., Яремченко С.В. Помехоустойчивость спутниковой связи при активных помехах и ограниченной полосе когерентности канала // Инфокоммуникационные технологии. – 2013. – Т. 11. – №4. – С. 17-24.
12. Кулешов И.А., Солозобов С.А. Шевченко В.В. Проблемы радиосвязи в Арктике // Техника средств связи. – 2018. – №3 (143). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/problemy-radiosvyazi-v-arktike>
13. Маслов О.Н., Пашинцев В.П. Модели трансионосферных радиоканалов и помехоустойчивость систем космической связи. Приложение к ИКТ. – 2006. – Вып. 4. – 357 с.
14. Паршуткин А.В., Маслаков П.А. Исследование помехоустойчивости современных стандартов спутниковой связи к воздействию нестационарных помех. Труды СПИИРАН. – 2017. – 4(53). – С. 159-177.
15. Пашинцев В.П., Тишкин С.А., Солчатов М.Э. Влияние частотно-селективных замираний и межсимвольной интерференции на помехоустойчивость высокоскоростных систем космической связи // Известия ВУЗов. Радиоэлектроника. – 2001. – №9. – С. 49-60.
16. Пашинцев В.П., Шевченко В.А., Песков М.В., Полежаев А.В. Структурно-физическая модель спутникового радиоканала с учетом поглощения и сцинтилляций волны в ионосфере // Инфокоммуникационные технологии. – 2018. – Т. 16. – №4. – С. 366-379.
17. Сикарев А.А., Фалько А.И. Оптимальный прием дискретных сообщений. М.: Связь, 1978. – 328 с.
18. Фомина А. Э. Система мониторинга как основа совершенствования качества производственных процессов / А. Э. Фомина, Т. В. Карлова // Инфокоммуникационные технологии. – 2018. – Т. 16. – № 4. – С. 437-441. – DOI 10.18469/ikt.2018.16.4.11. – EDN EEAPLE.
19. Шевченко В.А., Чипига А.Ф., Пашинцев В.П., Топорков К.И. Прогнозирование помехоустойчивости спутниковой связи по результатам мониторинга индекса мерцаний ионосферы // Инфокоммуникационные технологии. – 2015. – Т. 13. – №4. – С. 365-375
20. Шубин, В. И. Многогранность развития в России VSAT / В. И. Шубин // Век качества. – 2010. – № 2. – С. 48-50. – EDN NCDOON.

References

1. Abdraimova A.S., Larin A.A. Status and development prospects of satellite communication systems // Innovations and investments. – 2016. – №6. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sostoyanie-i-perspektivy-razvitiya-sputnikovyyh-sistem-svyazi>
2. Ablameiko S.V., Saechnikov V.A., Spiridonov A.A. Satellite communication systems // Handbook for students of the Faculty of Radiophysics and Computer Technology, Mechanics and Mathematics and Geographic//URL: <https://elib.bsu.by/bitstream/123456789/114395/1/Ablameiko-Saechnikov-Spiridonov.pdf>

3. Aganesov A.V., Makarenko S.I. Model of a unified aerospace communication network with a decentralized principle of relaying information flows based on mesh-technologies // Infocommunication technologies. – 2016. – V. 14. – No. 1. – P. 7-16.
4. Bogush R.L., Guiliano F.U., Nepp D.L. Influence of frequency-selective effects of radio wave propagation on automatic signal tracking in receivers of broadband communication systems // TIIER. – 1981. – Т. 69. – No. 7. – P. 21-32.
5. Varakin L.E. Communication systems with noise-like signals. M.: Radio and communication, 1985. – 284 p.
6. Gurlev I.V. Methods and ways of ensuring the security of information transmitted over a satellite network of VSAT technology // Bulletin of the Eurasian Science. – 2017. – No. 3 (40). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/methody-i-sposoby-obespecheniya-bezopasnosti-informatsii-peredavaemoy-posputnikovoy-seti-tehnologii-vsats>
7. Demyanov, V.V. Space weather: risk factors for global navigation satellite systems / V.V. Demyanov, Yu.V. Yasyukevich // Solnechno-zemnaya physics. – 2021. – Т. 7. – No. 2. – P. 30-52. – DOI 10.12737/szf-72202104. – EDN MDYWKR.
8. Zhilyakov E.G., Belov S.P., Pashintsev V.P., Starovoit I.A., Ushakov D.I. Implementation of the method for generating signals with varying frequency properties based on the ni pxie-1065 platform // Infocommunication technologies. – 2014. – Т. 12. – No. 3. – P. 62-66.
9. Ipatov V.P. Broadband systems and code division of channels. Principles and applications. M.: Technosfera, 2007. – 488 p.
10. Kalmykov I.A., Pashintsev V.P., Kalmykov M.I., Lyakhov A.V. Application of a noise-immune protocol for spacecraft authentication for a low-orbit satellite communication system // Infocommunication technologies. – 2015. – Т. 13. – No. 2. – P. 183-190.
11. Korotkov S.Yu., Pashintsev V.P., Solchatov M.E., Yaremchenko S.V. Noise immunity of satellite communication with active interference and limited channel coherence band // Infocommunication technologies. – 2013. – Т. 11. – No. 4. – P. 17-24.
12. Kuleshov I.A., Solozobov S.A. Shevchenko V.V. Problems of radio communication in the Arctic // Technique of means of communication. – 2018. – No. 3 (143). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/problemy-radiosvyazi-v-arktike>
13. Maslov O.N., Pashintsev V.P. Models of transionospheric radio channels and noise immunity of space communication systems. Application to ICT. – 2006. – Issue. 4. – 357 p.
14. Parshutkin A.V., Maslakov, P.A. Investigation of the noise immunity of modern satellite communication standards to the effects of non-stationary interference. SPIIRAS Proceedings. 2017. – 4(53). – P. 159-177.
15. Pashintsev V.P., Tishkin S.A., Solchatov M.E. Influence of frequency-selective fading and intersymbol interference on the noise immunity of high-speed space communication systems. Izvestiya VUZov. Radioelectronics. – 2001. – No. 9. – P. 49-60.
16. Pashintsev V.P., Shevchenko V.A., Peskov M.V., Polezhaev A.V. Structural-physical model of a satellite radio channel taking into account wave absorption and scintillations in the ionosphere // Infocommunication technologies. – 2018. – V. 16. – No. 4. – P. 366-379.
17. Sikarev A.A., Falko A.I. Optimal reception of discrete messages. M.: Communication, 1978. – 328 p.
18. Fomina A.E. Monitoring system as a basis for improving the quality of production processes / A.E. Fomina, T. V. Karlova // Infocommunication technologies. – 2018. – Т. 16. – No. 4. – P. 437-441. – DOI 10.18469/ikt.2018.16.4.11. – EDN EEAPLE.
19. Shevchenko V.A., Chipiga A.F., Pashintsev V.P., Toporkov K.I. Forecasting the noise immunity of satellite communications based on the results of monitoring the scintillation index of the ionosphere // Infocommunication technologies. – 2015. – Т. 13. – No. 4. – P. 365-375
20. Shubin, V.I. The versatility of development in Russia VSAT / V.I. Shubin // Century of quality. – 2010. – No. 2. – P 48-50. – EDN NCDOON.

Калинин Владимир Сергеевич, аспирант 1-го года обучения направления подготовки «Теоретические основы информатики»

Белов Сергей Павлович, доктор технических наук., профессор, профессор кафедры информационно-телекоммуникационных систем и технологий

Kalinin Vladimir Sergeevich, 1st year post-graduate student of the "Theoretical Foundations of Informatics"

Belov Sergey Pavlovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Information and Telecommunication Systems and Technologies