



ПРОСПЕКТ СВОБОДНЫЙ-2015

МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ СТУДЕНТОВ,
АСПИРАНТОВ И МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ

ЭЛЕКТРОННЫЙ СБОРНИК МАТЕРИАЛОВ
МЕЖДУНАРОДНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ СТУДЕНТОВ,
АСПИРАНТОВ И МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ
«ПРОСПЕКТ СВОБОДНЫЙ-2015»,
ПОСВЯЩЕННОЙ 70-ЛЕТИЮ ВЕЛИКОЙ ПОБЕДЫ

КРАСНОЯРСК, СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

15-25 АПРЕЛЯ 2015 Г.

Министерство образования и науки Российской Федерации
ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет»

Сборник материалов
Международной конференции студентов,
аспирантов и молодых ученых
«Перспектив Свободный-2015»,
посвященной 70-летию Великой Победы

Красноярск, Сибирский федеральный университет, 15-25 апреля 2015 г.

Красноярск, 2015.

«Вооружение и военная техника»



ПРОСПЕКТ СВОБОДНЫЙ-2015

МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ СТУДЕНТОВ, АСПИРАНТОВ И МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ

Красноярск, Сибирский федеральный университет, 15-25 апреля 2015 г.

**РАЗРАБОТКА ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ
ПО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ АППАРАТУРЫ ЗАЩИТЫ РЛС55Ж6
ОТ АКТИВНЫХ ШУМОВЫХ ПОМЕХ**

Д.О.Анциферов,
научный руководитель канд. техн. наук Лютиков И.В.
*Учебно-военный центр Военно-инженерного института
Сибирский Федеральный университет*

В ходе противоборства сил противовоздушной обороны с авиацией, которая всё шире использует высокоточное оружие для огневого поражения радиоэлектронных средств и радиоэлектронное их подавление, различные тактические приемы и нешаблонные решения, активно ведёт разведку и маскировку замыслов авиационных ударов, первостепенное значение приобретает решение проблемы обеспечения устойчивости функционирования систем управления войсками и оружием ПВО [1-3]. Она решается путем защиты радиоэлектронных средств от подавления активными и пассивными помехами, огневого поражения самонаводящимся оружием и обеспечения электромагнитной совместимости различных радиоэлектронных устройств, входящих в эти системы. Таким образом, для РТВ в целом вопрос совершенствования аппаратуры от активных шумовых помех является актуальным.

В качестве предложений по совершенствованию устройства защиты от активных шумовых помех рассматриваются схема ШАРУ, схемы малошумящего усилителя высокой частоты осуществляется выбор структуры преобразования напряжения в код.

РЛС часто работает в условиях АШП, при которых снижаются боевые возможности РЛС. В основном действие помех приводит к снижению дальности РЛС и засветке экрана, на котором отображается информация о воздушной обстановке. Основными характеристиками АШП являются: ширина и вид спектральной плотности, время корреляции, коэффициент несовпадения поляризации. Для решения задачи обеспечения требуемой помехозащищённости РЛС от активно-шумовых помех можно использовать метод расширения динамического диапазона приёмного устройства, метод “силовой борьбы”, метод пространственной селекции, метод поляризационной селекции, метод частотной селекции. Все перечисленные методы защиты в большинстве случаев оказываются эффективными только при условии их комплексирования и при достаточно большом динамическом диапазоне тракта приёма и выделения сигналов РЛС.

Характеристиками устройств аппаратуры защиты от АШП являются:

- коэффициент подпомеховой видимости канала дальномера и высотомера;
- коэффициент подавления АШП;
- постоянная времени автокомпенсатора.

В РЛС 55Ж6 задействован большой объём аппаратуры от АШП. Основной защитой является аппаратура автокомпенсации помех. В аппаратуре автокомпенсации помех канала дальномера и высотомера используются автокомпенсаторы. В аппаратуре УПБЛ используется быстродействующий квадратурный автокомпенсатор. Для анализа интенсивности сигнала используется специальное устройство анализа, а поддержание уровня шумов осуществляется схемой ШАРУ.

Для разработки предложений по совершенствованию системы защиты за основу взят один из методов повышения помехозащищённости РЛС от активных помех – это расширение динамического диапазона приёмного устройства. Исходя из реальных условий обнаружения целей во всём диапазоне дистанций, реальный динамический диапазон сигналов по входу РЛС конкретного назначения лежит в пределах 80-120дБ.



Одним из основных способов улучшения помехозащищённости РЛС является расширение динамического диапазона приёмника по входу. Основными параметрами определяющими широкий динамический диапазон РПрУ является напряжение питания оконечных каскадов и собственные шумы приёмника.

Наиболее целесообразными способами расширения динамического по входу являются: уменьшение $U_{швх}$; использование нелинейных устройств или регулировки усиления приёмника. Введение регулировки усиления позволяет осуществлять стабилизацию ложных тревог. Стабилизацию уровня ложных тревог успешно решает схема ША-РУ. С целью обеспечения высокой чувствительности и линейности ВЧ - тракта РПрУ целесообразно использование в качестве УРЧ - каскадной схемы усилителя на транзисторах (ОЭ-ОБ), а в качестве ПЧ с линейной отрицательной обратной связью.

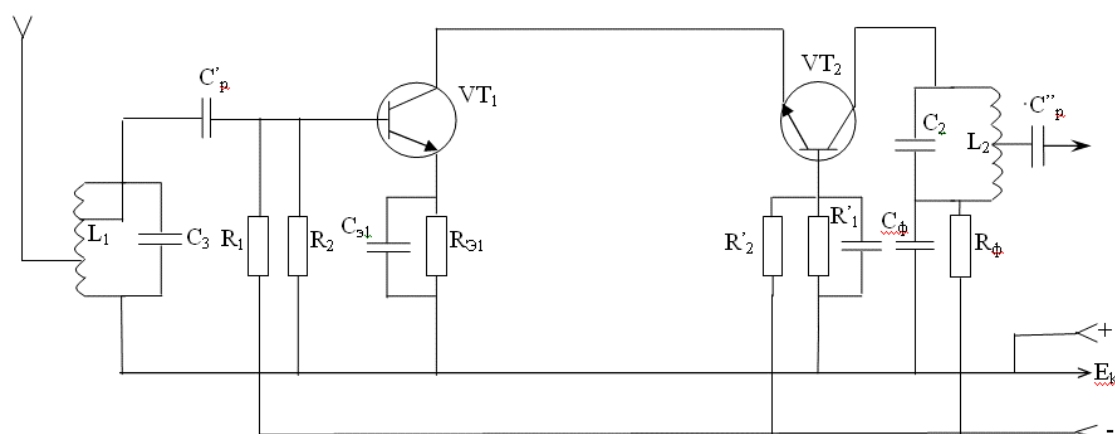


Рисунок 1. Принципиальная схема резонансных усилителей с каскадным включением транзисторов ОЭ-ОБ

В схеме, изображённой на рисунке (1) транзисторы включены последовательно по постоянному току. Эта схема имеет меньшее количество деталей. Применение последовательной схемы питания базы транзистора по постоянному току уменьшает коэффициент шума $K_{ш}$ первого транзистора. Данная схема на рисунке (1) имеет малый коэффициент шума $K_{ш}$, определяемый первым каскадом. Имеет большой коэффициент усиления и малощунтирующий входной контур. Схема также имеет хорошую устойчивость при высокой частоте усиливаемых колебаний. Учитывая указанные положительные свойства транзисторных усилителей, а также возможность их совершенствования, следует считать транзисторные усилители самыми перспективными УВЧ. Данная схема, представленная на рисунке (1) может использоваться в аппаратуре УВЧ РЛС 55Ж6.

Одним из методов улучшения характеристик преобразователей частоты (ПЧ) является компенсационный метод. Он нашёл широкое применение в балансных и двухбалансных ПЧ, которые обладают свойством подавления чётных продуктов нелинейного преобразования.

Преимущество схемы на рисунке (2) заключается в отсутствии трансформаторов как по сигнальному, так и по гетеродинному входу, что во-первых значительно расширяет частотный диапазон ПЧ по обоим входам; во-вторых увеличивает линейность смесителя, так как позволяет увеличивать линейность смесителя, так как позволяет обеспечить высокую скорость нарастания фронта гетеродина; в-третьих облегчает интеграцию ПЧ, что в свою очередь повышает технологичность последнего. Эти две схемы целесообразно применить в РЛС 55Ж6.

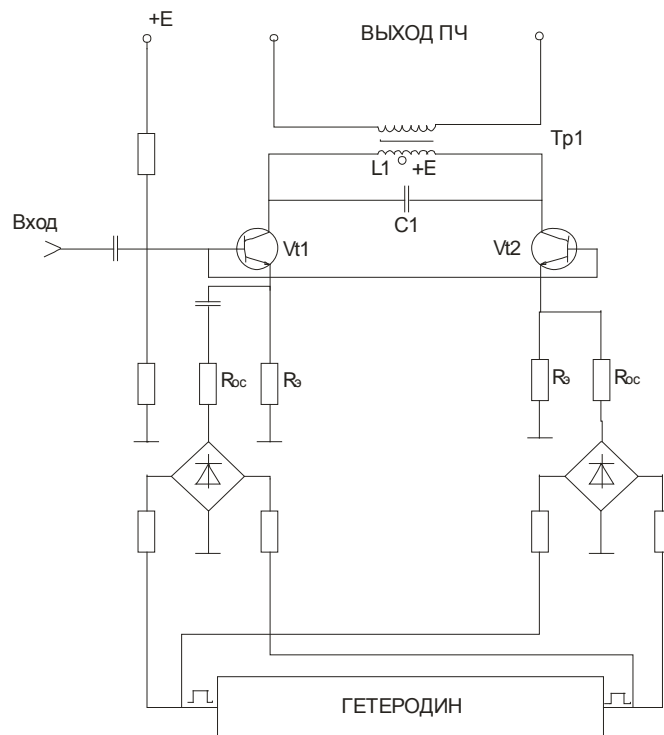


Рисунок 2. Усовершенствованный реализованный двухбалансный ПЧ

При цифровой обработке радиолокационной информации алгоритмы помехозащиты требуют высокой точности преобразования на основе высокой разрядности АЦП. От разрядности АЦП зависит динамический диапазон преобразуемого аналогового сигнала на выходе приёмника.

Предложен способ и устройство его реализующее широкодиапазонного масштабного преобразования напряжения в код.

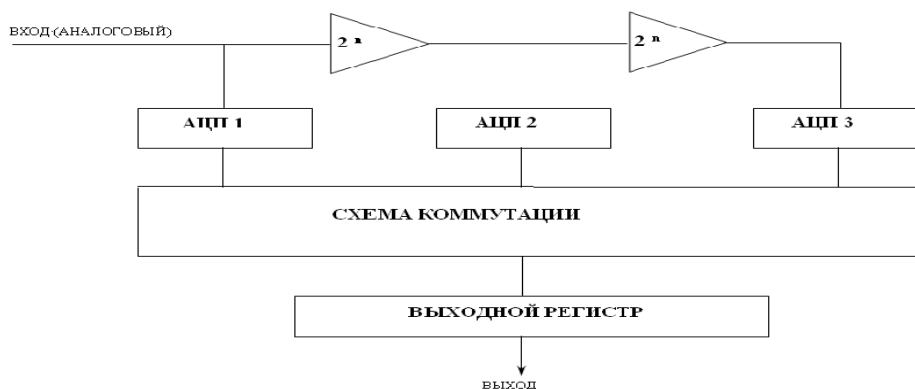


Рисунок 3. Широкодиапазонный масштабный преобразователь напряжения в код

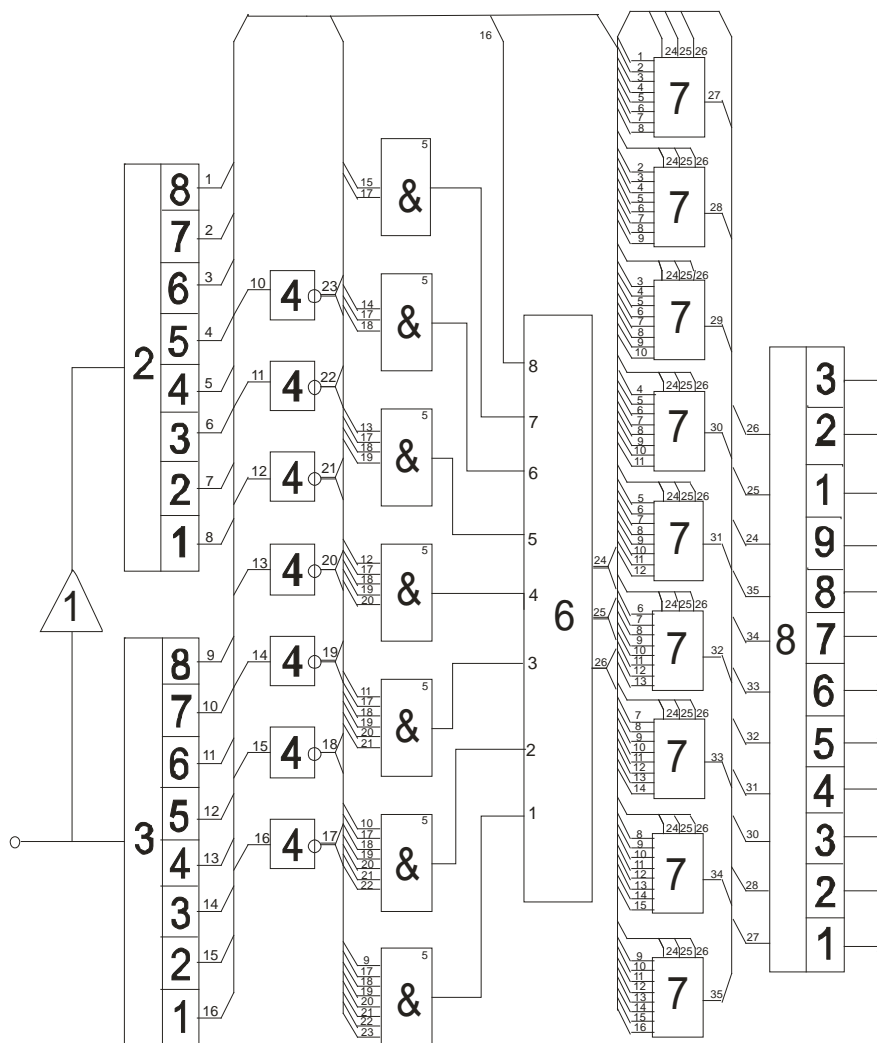


Рисунок 4. Схема устройства широкодиапазонного масштабного преобразователя напряжения в код

Таким образом, технические преимущества предложенного устройства, по сравнению с ранее известными, характеризуется более высокой точностью преобразования входных сигналов при сохранении широкого динамического диапазона. Данное устройство наиболее целесообразно использовать в цифровых устройствах обработки сигналов и особенно для защиты РЛС от активных помех, когда напряжение в усилительном тракте имеет широкий динамический диапазон.

Выводы

Таким образом, предполагается, что применение разработанного устройства приведет к существенному улучшению характеристик аппаратуры защиты РЛС 55Ж6 от активных шумовых помех.

Список литературы

1. Богданович Б.М. Радиоприёмные устройства с большим динамическим диапазоном: - М.: Радио и связь. 1984-176с.
2. Справочник по радиолокации: Пер. с англ./ Под ред. М.Сколкина Т1-4 – М: Сов. радио, 1978.
3. Радиоэлектронная борьба / Под ред. А.Палия: - М: Воениздат, 1981.



МОБИЛЬНЫЙ ТЕЛЕСКОПИЧЕСКИЙ ПОДЪЕМНИК**Михеенко А. В.****научный руководитель канд. техн. наук Спирин Е. А.***Сибирский федеральный университет*

Подъемник относится к грузоподъемным устройствам, в частности к антенным устройствам и касается телескопической мачты, используемой для мобильной тропосферной и радиорелейной связи. Технический результат заключается в упрощении, снижении стоимости, повышении надежности и жёсткости конструкции, уменьшении времени разворачивания системы. Мобильный телескопический подъёмник базируется на автомобиле повышенной проходимости с будкой-кунгом содержит телескопическую мачту, в транспортном положении расположенную на крыше кунга, базовой трубы установленной вертикально между кабиной и кунгом, боковых откидных штанг растяжек расположенных в транспортном положении на продольных верхних срезах кунга, пневматический цилиндр подъёма телескопической мачты в вертикальное положение. На верхней секции телескопической мачты расположена полезная нагрузка, например радиопост с антеннами. Подъём радиопоста производится выдвиганием 2-й и 3-й секций телескопической мачты сжатым воздухом от пневматической системы базового автомобиля. Устойчивость системы ветровым нагрузкам выполняется за счёт опорного контура создаваемого откидными штангами растяжек с нижними оттяжками. Вывешивание и горизонтирование подъёмника выполняется тремя опорами базового автомобиля.

Целью создания представленного в статье Мобильного телескопического подъёмника является его максимальное упрощение и, как следствие, повышение надёжности и живучести и быстрота развёртывания-свёртывания при передислокации подъёмника- качества важные для обеспечения связи сил быстрого реагирования, защита от случайных повреждений в транспортном положении, обеспечение компактности, снижение массы и габаритов, повышение точности наведения высокоточных устройств, например антенн острой направленности.

Это достигается тем, что мобильный телескопический подъёмник содержит мачту состоящую из 3-х трубных секций входящих с уплотнением друг в друга и представляющей из себя телескопический пневмоцилиндр, располагаемый в транспортном положении на крыше будки- кунга базового автомобиля и поворачиваемый в рабочее вертикальное положение пневмоцилиндром, выдвигаемый сжатым воздухом от пневмосистемы базового автомобиля, несущий в верхнем положении, например, радиопост с антеннами. Устойчивость подъёмника и необходимая поперечная жёсткость выдвинутой мачты обеспечивается опорным контуром, создаваемый 2-мя откидными упорными штангами растяжек с нижними оттяжками, опираемых в поверхность рабочей площадки башмаками. Растяжки закреплены за верх телескопической мачты подъёмника и фиксируют её от колебаний от воздействия ветровых нагрузок.

На рисунке 1 показан подъёмник в транспортном положении, на рисунке 2 показан мобильный телескопический подъёмник в развёрнутом рабочем положении.



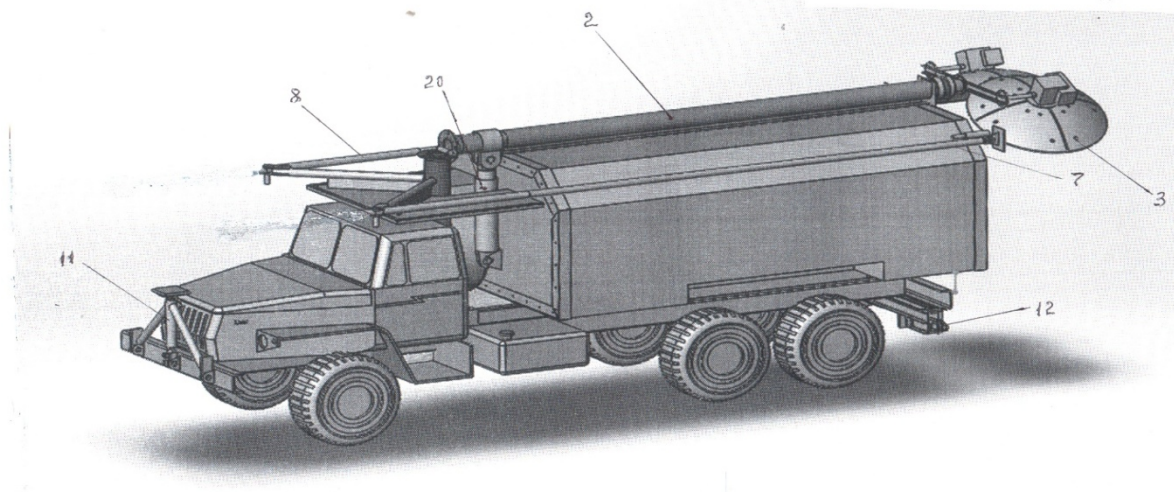


Рис. 3

Рисунок 1. Мобильный телескопический подъемник в транспортном положении

Мобильный телескопический подъемник установлен на транспортное средство 1. Он включает телескопическую мачту 2, радиопост с параболическими антеннами 3, звеньевые прутковые растяжки телескопической мачты 4,5,6, откидные штанги растяжек мачты 7,8, оттяжки откидных штанг растяжек мачты 9,10, поворотные опоры базового автомобиля 11,12(2 шт.), замки секций телескопической мачты 13,14, пружинные гидроцилиндры растяжек мачты 15,16,17, пружинные гидроцилиндры оттяжек откидных штанг растяжек мачты 18,19, пневмоцилиндр подъема мачты 20.

Мобильный телескопический подъемник работает следующим образом. Развёртывание мобильного телескопического подъемника в рабочее положение начинается с устройства опорного контура, для чего опоры базового автомобиля 11 и 12 (2шт) поворачиваются с упором в грунт и с помощью встроенных пружинных гидроцилиндров 1,2,3 (рис5) производят вывешивание и горизонтирование подъемника. Затем откидные штанги растяжек мачты 7,8 поворачиваются из транспортного положения со срезов кунга и опускаются концами на грунтовую площадку. Далее производится сжатие штанг растяжек натяжением оттяжек 8,9, предварительно закрепляемые за базовый автомобиль, пружинными гидроцилиндрами 18,19. При этом создаётся опорный контур подъемника. Затем производится поворот телескопической мачты 2 пневмоцилиндром 20 в вертикальное положение с закреплением её с вертикальной базовой трубой установленной за кабиной базового автомобиля. Затем производится выдвигание 2-й и 3-й секций телескопической мачты 2 сжатым воздухом от пневматической системы базового автомобиля 1, при этом поднимается, например, радиопост тропосферной связи с параболическими антеннами 3. Секции 1-я и 2-я, 2-я и 3-я мачты телескопического подъемника 2 фиксируются автоматическими замками 13,14. После этого пневматическая система отключается. Звеньевые прутковые растяжки мачты 4,5,6 закреплённые за её верхний конец, уложенные в транспортном положении ограничительными элементами на откидных штангах растяжек мачты 7,8 (не показаны), полностью подаются на верхний конец телескопической мачты подъемника и получают синхронно предварительное натяжение пружинными гидроцилиндрами 15,16,17. Необходимость в промежуточных



растяжках мачты отпадает т.к. обеспечена её жёсткость на изгиб за счёт не полного выхода её 2-й и 3-й секций. Демонтаж в транспортное положение подъемника производится в обратном порядке при ручном открывании замков 13,14 секций мачты подъемника натяжением расфиксирующих тросиков (не показаны) при кратковременной подаче сжатого воздуха в мачту для ослабления замков 13,14.

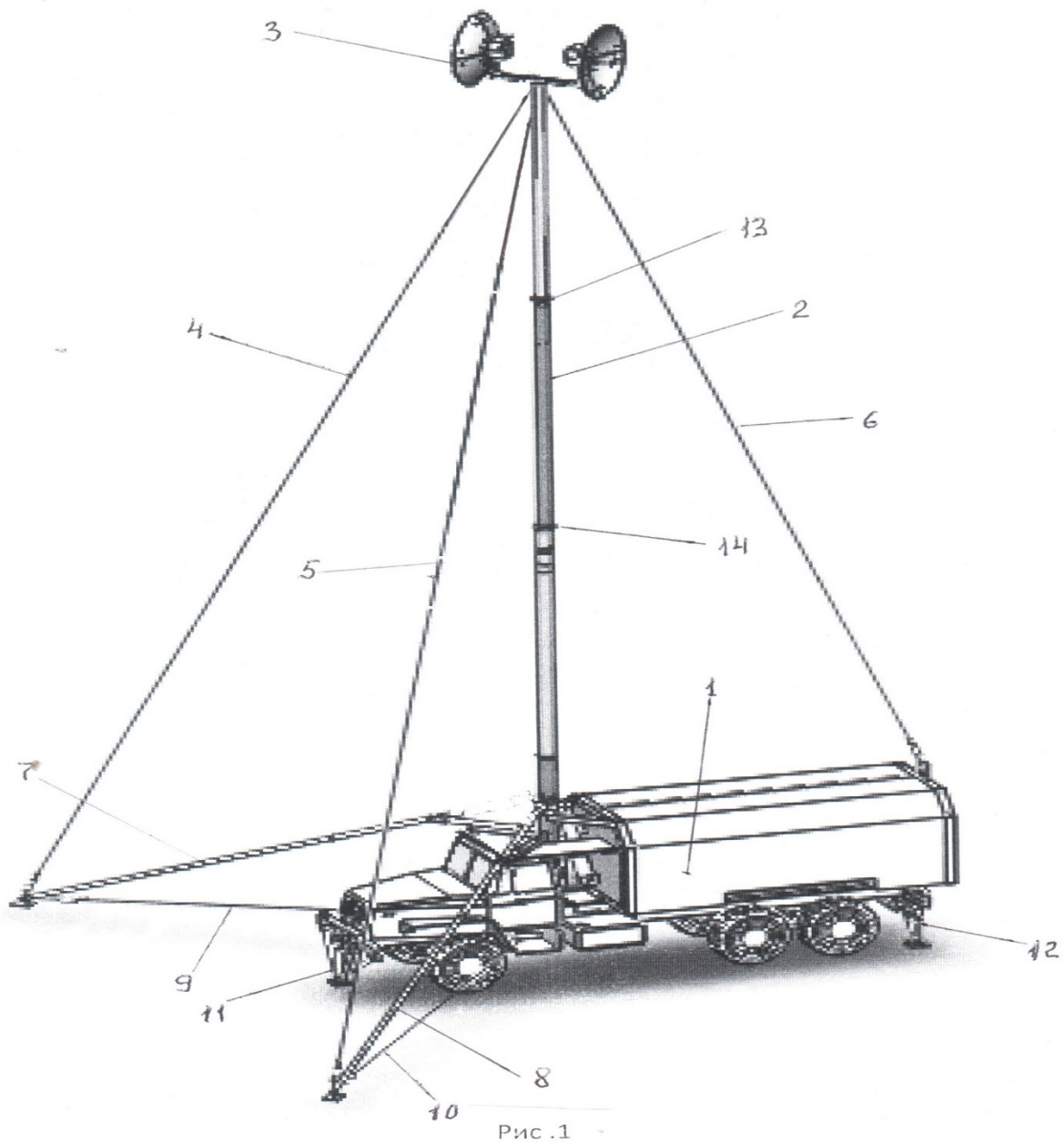


Рисунок 2. Мобильный телескопический подъемник в рабочем положении.



ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТЕЙ МОБИЛЬНЫХ БАЗОВЫХ СТАНЦИЙ СОТОВОЙ СВЯЗИ

ПО ОБНАРУЖЕНИЮ САМОНАВОДЯЩИХСЯ РАКЕТ

Пудалев Т.О., Пронькин Л.А.,

научный руководитель кандидат техн. наук Вяхирев В.А.

Сибирский федеральный университет

Опыт вооруженных конфликтов последних десятилетий показывает, что одной из первоочередных целей противника, в период начала боевых действий, является уничтожение инфраструктуры связи [1]. Наиболее распространенной технологией мобильной связи на данный момент является технология сотовой связи на базе стандартов Global System for Mobile Communications (GSM) и Universal Mobile Telecommunications System (UMTS). Важным элементом сети, построенной на базе приведенных выше технологий, является базовая станция сотовой (БС) связи. БС – системный комплекс приемопередающей аппаратуры, осуществляющей централизованное обслуживание группы окончательных абонентских устройств.

На данный момент существуют различные типы БС сотовой связи. Принимая за основание деления критерий мобильности, можно выделить следующие типы БС [2]:

- стационарные БС. Данный тип БС представляет собой стационарные долговременные сооружения, выполненные в виде башен, вышек, столбов либо надстроек над гражданскими или промышленными объектами со смонтированным на них или в непосредственной близости оборудованием связи. Координаты БС данного типа, ввиду их стационарности, как правило известны предполагаемому противнику. Вследствие этого уничтожение данных объектов производится с помощью высокоточного оружия по предварительно заданным координатам. Данное обстоятельство не позволяет производить эффективную защиту БС радиотехническими методами.

- мобильные БС сотовой связи. Данный тип БС представляет собой передвижной приемопередающий узел радиосвязи, размещенный на автомобильном базовом шасси (АБШ). В качестве АБШ, как правило, используются автомобили повышенной проходимости типа КАМАЗ. Одной из задач мобильных БС является обеспечение открытой и защищенной шифрованной мобильной связью органов государственной власти, военного управления, правоохранительных и силовых структур в период нарастания угрозы агрессии и с началом военных действий, а также в зоне локальных вооруженных конфликтов. Одним из преимуществ БС данного типа, получаемых вследствие их мобильности, является сложность оперативного определения их координат вероятным противником. Ввиду приведенных выше обстоятельств, наиболее вероятным способом уничтожения БС является применение самонаводящегося оружия, в частности ракет с головками наведения, работающими в радиодиапазоне.

Наиболее распространенным стандартом сотовой связи на данный момент является GSM-900 – все без исключения мобильные станции (МС) поддерживают работу в данном стандарте. Приведенное выше обстоятельство обуславливает использование головок самонаведения, настроенных на частоты стандарта GSM-900: 935 - 960 МГц. Данный частотный диапазон используется в стандарте GSM-900 для передачи сигнала от БС к МС.

Неиспользование частот стандартов GSM-1800 и UMTS для наведения ракет обусловлено несколькими обстоятельствами. Во-первых, приведенные стандарты, ввиду большей рабочей частоты, по сравнению с GSM-900, имеют меньшую зону покрытия и, как следствие, обнаруживаются головками самонаведения ракет с меньшего рас-



стояния. Во-вторых, сигналы UMTS, представляющие собой широкополосные сигналы (ШПС), имеют малую мощность излучения порядка 30 - 43 дБм. И наконец, данные стандарты являются менее распространенными, ввиду более высокой стоимости оборудования.

Обнаружение факта пуска СНР может быть обеспечено путём приёма радиосигналов, передаваемых от МС к БС, но отражённых от данной воздушной цели. Принимаемый БС сигнал будет отличаться от сигнала, пришедшего без переотражения, увеличенным временем задержки. Кроме того, данный сигнал, ввиду эффекта Доплера, будет характеризоваться большим значением несущей частоты.

Оценим возможности обнаружения пуска ракеты силами БС без использования дополнительных устройств радиолокации и разведки. Для решения данной задачи воспользуемся основным уравнением радиолокации [3], описывающим дальность действия радиолокатора с пассивным ответом:

$$D_{обн}(\beta, \varepsilon) = \sqrt[4]{\frac{P_u \cdot G(\beta, \varepsilon) \cdot A(\beta, \varepsilon) \cdot \sigma(\beta, \varepsilon)}{(4\pi)^2 \cdot P_{мин}}}, \quad 1)$$

где β – азимут в направлении на цель, °;

ε – угол места в направлении на цель, °;

P_u – мощность, излучаемая БС, Вт;

$G(\beta, \varepsilon)$ – коэффициент направленного действия (КНД) передающей антенны;

$A(\beta, \varepsilon)$ – эффективная площадь приемной антенны, м²;

$\sigma(\beta, \varepsilon)$ – эффективная площадь рассеяния (ЭПР) цели, м²;

$P_{мин}$ – минимальная чувствительность приемника, Вт.

Преобразуем данное уравнение к виду, позволяющему вычислить дальность обнаружения для случая распространения радиосигнала по маршруту «МС – СНР – БС»:

$$D_{обн}(\beta, \varepsilon) = \sqrt[2]{\frac{P_u \cdot G(\beta, \varepsilon) \cdot A(\beta, \varepsilon) \cdot \sigma(\beta, \varepsilon)}{(4\pi)^2 \cdot R^2 \cdot P_{мин}}}, \quad 2)$$

где R – расстояние между МС и СНР, м.

Для определения дальности обнаружения определим значения параметров, входящих в данное уравнение.

В азимутальной плоскости диаграмма направленности антенны БС имеет вид окружности с неравномерностью КНД не более 3 дБ.

Ширина диаграммы направленности антенн БС в угломестной плоскости составляет порядка 5-10°. Угол наклона оси антенны к горизонту составляет, как правило 1-7°.

Вычислим угол места, с которого будет обнаружена ракета, используя формулу:

$$\varepsilon = \frac{180}{\pi} \cdot \arccos\left(\frac{D_{пуск}^2 + (R_з + h)^2 - (R_з + H)^2}{2 \cdot D_{пуск} \cdot (R_з + h)}\right) - 90, \quad 3)$$

где $D_{пуск}$ – дальность прицеливания ракеты, м;



R_3 – радиус Земли, м;

H – высота пуска ракеты, м

h – высота подъема антенны БС, м.

На рисунке 1 изображено взаимное расположение антенны БС и воздушного объекта, с заданием их высот и расстояния между ними. Кроме того, обозначен угол места цели, который рассчитывается по формуле (3).

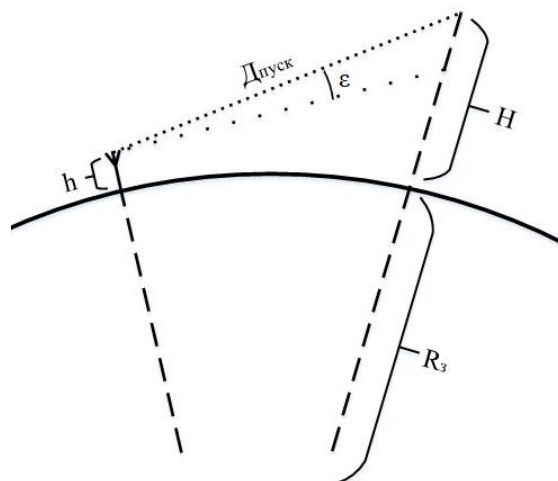


Рисунок 1. Взаимное расположение объектов

Существующие на данный момент ракеты с пассивными радиолокационными головками самонаведения, такие как Standard-ARM и HARM-AGM-88, нацеливаются на объект с расстояния не более 50 км [4]. Высота пуска ракеты со стандартных носителей составляет от 1 до 10 км. Типичная высота подъема антенны мобильной БС составляет 10-15 м. Таким образом, угол места принимает значения в диапазоне от 1 до 11°. Как правило, антенна БС наклонена на угол $\pm 1^\circ$ относительно линии горизонта, что даёт значение КНД в направлении на СНР в диапазоне от -22 до -18 дБ. Столь высокое ослабление радиосигнала в данном направлении значительно снижает вероятность обнаружения БС ракетой с данных углов места, что делает актуальной задачу обнаружения воздушных объектов исключительно с направлений главного лепестка диаграммы направленности.

В GSM используется технология медленных скачков по частоте, между 124 смежными частотами в диапазоне 935 - 960 МГц для нисходящего направления. На каждой из частот в течение 4,615 мс передается информация от восьми абонентов. Объем информации, передаваемой одним абонентом в течении кадра, составляет 156,25 бит [5].

Важную роль в достижении максимальной дальности обнаружения пуска ракеты играет чувствительность приемника, величина которого, для современных БС, лежит в пределах от -120 до -110 дБм. В целях увеличения вероятности обнаружения сигнала БС, полученного в результате отражения от самонаводящейся ракеты, и оценки его параметров, возникает потребность в увеличении отношения сигнал/шум на входе приемника. Использование алгоритмов оптимальной обработки сигналов позволяет достичь требуемого увеличения отношения сигнал/шум.

Наибольшая дальность обнаружения достигается при использовании максимально возможного числа бит в передаваемом радиосигнале, что возможно достичь благодаря использованию информации нескольких следующих друг за другом кадров. Выигрыш в отношении сигнал/шум будет равен числу бит зондирующей последова-



тельности. Кроме того, приём сигналов от нескольких МС позволяет увеличить мощность сигнала на входе приёмника БС в число раз, равное числу работающих МС.

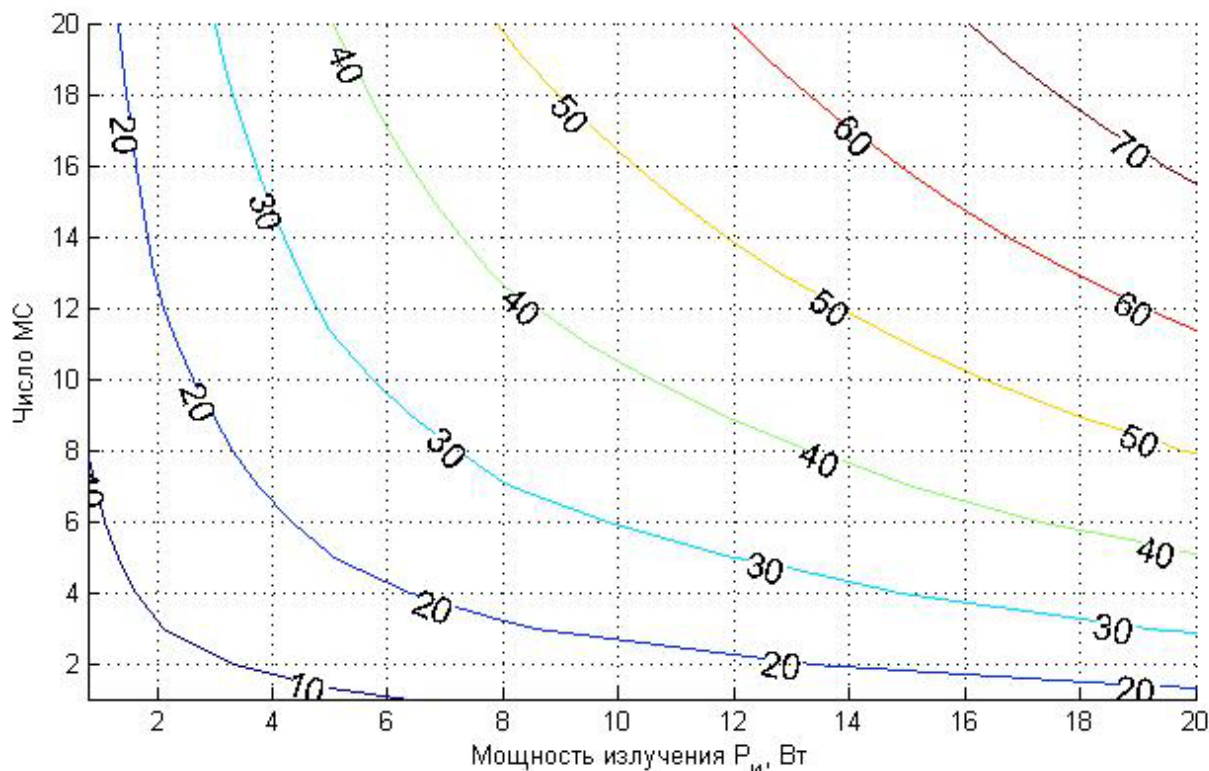


Рисунок 2. Зависимость дальности обнаружения от мощности передатчика и числа используемых частот при $R=10000$ м

Рассмотрим рисунок 2. Контурными линиями показаны дальности, при которых может быть зафиксирован факт пуска самонаводящейся ракеты. По осям абсцисс и ординат отложены мощность излучения МС и их число соответственно. Из рисунка видно, что максимальное расстояние, на котором может произойти обнаружение СНР, при наличии шестнадцати приёмников с мощностью каждого 2 Вт, составляет 22,5 км.

Список литературы

1. Балувеский Ю. Новые смыслы военной доктрины. Журнал «Военно-промышленный курьер», выпуск №42 (560) за 12 ноября 2014г. Режим доступа: <http://www.vpk-news.ru/articles/22618>
2. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практические применений. Изд. 2-е, испр.: Пер. с англ. – М.: Вильямс, 2003. – 1104 с.
3. Ширман Я.Д. Теоретические основы радиолокации. Учебное пособие для вузов. – М.: Советское радио, 1970. – 560 с.
4. Радомиров И. Авиационные противорадиолокационные управляемые ракеты. Журнал «Зарубежное военное обозрение», выпуск №8 за 1976г, с. 54-60.
5. Попов В.И. Основы сотовой связи стандарта GSM. – М.: Эко-Трендз, 2005г. – 296 с



АНАЛИЗ АЛГОРИТМОВ ОЦЕНКИ ВРЕМЕНИ ЗАПАЗДЫВАНИЯ ПРИ НАЛИЧИИ УВОДЯЩЕЙ ПОМЕХИ

**В.В. Семёнов, В.А. Рубленко,
научный руководитель В.А. Вяхирев**

Институт инженерной физики и радиоэлектроники СФУ

На сегодняшний день в современных радиолокационных станциях наибольшее распространение получили широкополосные сигналы (ШС). Но не смотря на большой интерес, адекватных, а самое главное технически реализуемых алгоритмов по обработке широкополосных сигналов при наличии структуроподобных помех практически нет. В большинстве имеющихся материалов обработка ШС сводится к преобразованию сложного сигнала в простой [1]. Также не нашли должного отражения в литературе алгоритмы измерения времени запаздывания широкополосного сигнала при наличии такой же помехи, имеющей различия только во временном сдвиге меньше длительности элемента релейского разрешения по дальности, т.е. уводящей по дальности помехи. Воздействие уводящих помех по дальности (УП), представляющих собой ответные активные помехи, применение которых приводит к перегрузке устройств обработки информации РЛС и срыву сопровождения целей [2].

По этим причинам возникает задача исследования существующих алгоритмов по критерию минимума среднеквадратической ошибки измерения времени запаздывания широкополосного сигнала при воздействии уводящей по дальности помехи.

Проведя патентный поиск, было выяснено, что наибольшее распространение получили два алгоритма адаптивной обработки для решения выбранной задачи. Первым методом является так называемый LMS-алгоритм [3] адаптивной фильтрации

$$Z(t_3) = \int_{-\infty}^{\infty} \mathbf{Y}^T(t) \Phi_{\Pi}^{-1*} \mathbf{X}^*(t, t_3) dt, \quad (1)$$

где $\mathbf{Y}^T(t)$ вектор-столбец аддитивной смеси входных сигналов, преобразующий одноканальную обработку в многоканальную, Γ - знак показывающий транспонирование вектора столбца, Φ_{Π}^{-1*} обратная корреляционная матрица помех, $\mathbf{X}^*(t, t_3)$ - вектор-столбец ожидаемого распределения сигнала.

Несмотря на потенциальные преимущества данного алгоритма [3] основная сложность его решения заключается в вычислении обратной корреляционной матрицы сигналов, что представляет собой трудоемкую задачу при существенном перекрытии полезного и помехового сигналов [4]. Поэтому наибольшее распространение в литературе получил технически реализуемый алгоритм оценочно-корреляционно-компенсационной обработки сигналов [5]:

$$\tilde{y}_t = \hat{S}_t + \hat{V}_{1t} - \hat{V}_{0t} + \tilde{\xi}_t, \quad (2)$$

где \hat{S}_t - оценка сигнала на выходе согласованного фильтра сигнала при условии отсутствия помехи, $\hat{V}_{1t}, \hat{V}_{0t}$ - оценки помехи на выходе согласованного фильтра помехи при наличии и отсутствии сигнала; $\tilde{\xi}_t$ - обновляющий процесс, статистически не отличимый от гауссовского шума; \tilde{y}_t - процесс на выходе обеляющего фильтра (ОБФ), фактически осуществляющего адаптивную к помехе обработку сигналов.



В работе[6] приводится структурная схема реализации данного алгоритма в обнаружителе сигналов.

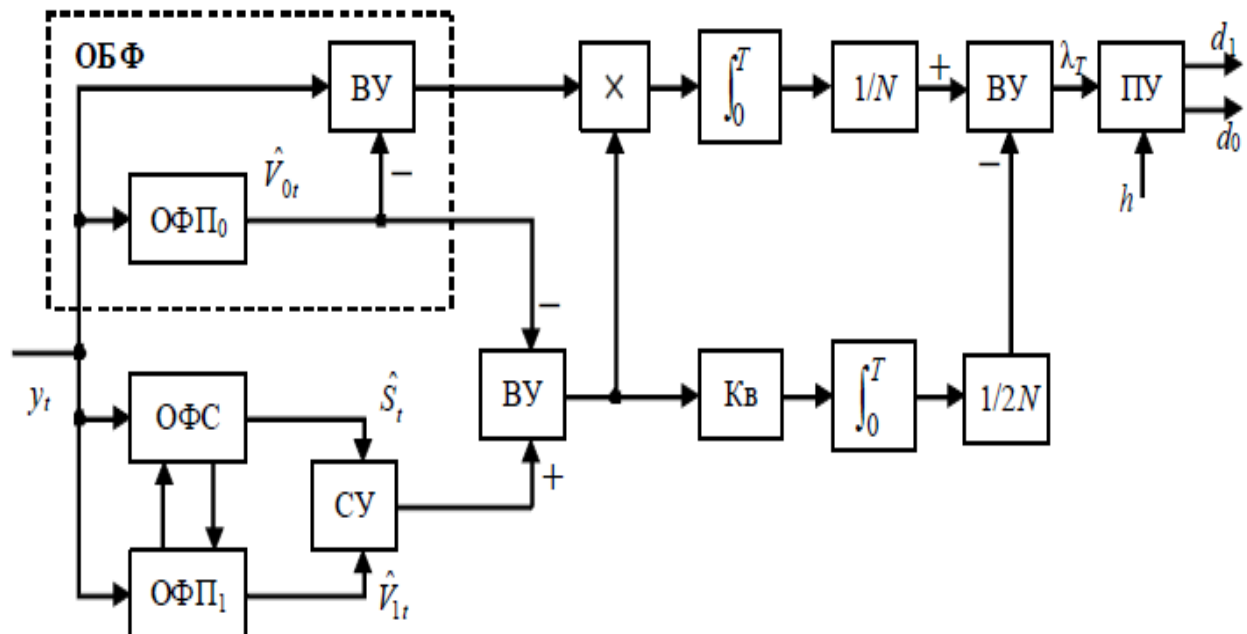


Рис. 1. Структурная схема оптимального оценочно-корреляционно-компенсационного обнаружителя с обеляющим фильтром

Здесь OFC, OFP1, OFP0 – оптимальные фильтры сигнала и помехи при наличии и отсутствии сигнала, СУ – суммирующее устройство, ВУ – вычитающее устройство, Кв – устройство возведения в квадрат, ПУ – пороговое устройство, d_0 и d_1 – принимаемые решения по обнаружению сигнала.

В таблице 1 приведён сравнительный анализ оценки времени запаздывания алгоритма 2, где П- помеха (2,5; 25; величины амплитуд), СФ – согласованный фильтр оценочно-корреляционно-компенсационного алгоритма.

Таблица 1. Сравнительный анализ оценок времени запаздывания

Параметр	Сигнал на выходе СФ без помех	Сигнал+шум на выходе СФ	Сигнал+П(2,5)+шум на выходе СФ	Сигнал+П(25)+шум на выходе СФ
Среднее значение отсчёта, показывающего максимальное значение	1012	1012,1	1012,2	1012
Отношение сигнал/шум на выходе обеляющего фильтра	12,008	12,008	12,008	12,008

Вычисление q^2 (отношения сигнал/шум):

$$q^2 = \frac{U^2(c)}{U^2(n)} = \frac{(2,54)^2}{0,73^2} = 12,008, \quad (3)$$

где $U^2(c)$ - среднее значение мощности полезного сигнала, $U^2(n)$ - среднее значение мощности помехи на выходе обеляющего фильтра.

Таким образом по результатам моделирования алгоритм 2 фактически является не смещенным алгоритмом оценки времени запаздывания при наличии уводящей по дальности помехи.

Список литературы

1. Слока, В.К. Вопросы обработки радиолокационных сигналов /В.К. Слока. - М. : Сов. радио, 1970. - 256 с.
2. Защита от радиопомех /Под ред. Максимова М.В. - М. : Сов. радио, 1976. - 496 с.
3. Джиган, В.И. Адаптивная фильтрация сигналов: теория и алгоритмы/ Джиган, В.И. - М. : Техносфера, 2013. - 528 с.
4. Робастные адаптивные антенные решётки / А.Б. Гершман // Антенны. - 2000 № 2. - С. 5-16.
5. Сосулин, Ю.Г. Оценочно-корреляционная обработка сигналов и компенсация помех / Ю.Г. Сосулин, В.В. Костров, Ю.Н. Паршин.- М. : Радиотехника, 2014. - 632 с.
6. Компенсация помех в радиотехнических системах: оценочно-корреляционный подход / В.В. Костров // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. - 2014 № 1. - С. 21-34.



ЭФФЕКТ ДОПЛЕРА В СПУТНИКОВЫХ СИСТЕМАХ СВЯЗИ

Цимбал М.С.,

научный руководитель д-р техн. наук, проф. Панько С.П.

Сибирский федеральный университет

Характерной особенностью радиосвязи с использованием космических аппаратов (КА) на высокоэллиптических орбитах (ВЭО), является большая скорость движения КА относительно наземных абонентов, достигающая нескольких километров в секунду. Вследствие эффекта Доплера передаваемая частота будет отличаться от принимаемой на величину f_d :

$$f_d = f_0 v_r / c, (1)$$

где f_0 – частота сигнала, c – скорость света, v_r – радиальная скорость между передатчиком и приёмником.

Доплеровский сдвиг частот может существенно ухудшить условия радиосвязи, поскольку для обеспечения приёма смещённого по частоте сигнала приходится расширять полосу пропускания приёмника, что приводит к необходимости увеличения мощности передатчика с целью сохранения необходимого отношения сигнал/шум [1].

Для прохождения сигнала без искажений полосу пропускания необходимо расширить на величину двойного значения максимального доплеровского сдвига. Удвоенное значение объясняется тем, что смещение несущей частоты может быть положительным или отрицательным, в зависимости от направления движения КА: приближается или удаляется спутник относительно абонента. Известно, что значительные величины частотного сдвига могут привести к потере информации в ходе приёма [2].

Поскольку движение КА по ВЭО, и динамика возникающего при этом частотного сдвига, носят нелинейный характер, для осуществления автоподстройки приёмного устройства должны предъявляться требования по обеспечению необходимого диапазона и скорости перестройки частоты.

В первом приближении задача движения спутника решается в рамках модели сферической Земли с радиусом $R=6371$ км и равномерно распределённой по объёму массой, соответственно создающей центральное гравитационное поле [3].

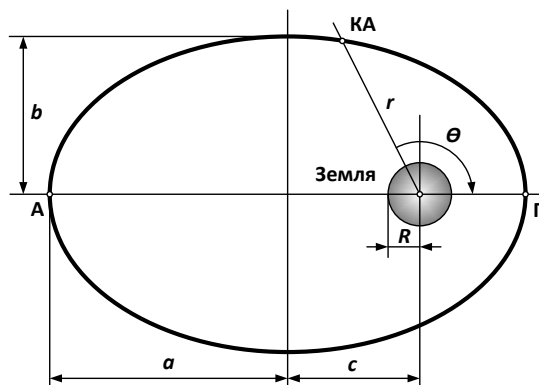


Рис.1. Параметры эллиптической орбиты

В общем случае движение спутника описывается кривой второго порядка, в фокусе которой располагается центр гравитационного поля. Из первого закона Кеплера следует, что при начальных условиях, обеспечивающих замкнутое движение, траектория

спутника описывается эллипсом, в одном из фокусов которого располагается Земля (рисунок 1). Максимальное расстояние КА от поверхности Земли соответствует апогею А, минимальное – перигею П.

Основными параметрами эллиптической орбиты являются [3]: e – эксцентриситет, a – большая полуось, b – малая полуось, θ – истинная аномалия.

Таблица 1. Основные параметры высокоэллиптических орбит

Тип орбиты	Период, ч	Наклонение	Большая полуось (a), км	Эксцентриситет (e)
Молния	12	63°47'	26562	0,71
Тундра	24	63°26'	42125	0,27

При движении по орбите значения радиус-вектора – расстояния от центра Земли до КА изменяется согласно выражению [3]:

$$r_0 = a(1 - e^2)/(1 + e \cdot \cos \theta). (2)$$

С учётом (2), текущее со временем изменение высоты КА над поверхностью Земли r в процессе движения с периодом одного оборота T будет определяться выражением:

$$r(t, \omega) = \frac{a(1-e^2)}{1+e \cdot \cos(\omega t)} - R, (3)$$

где $\omega = 2\pi/T$ – круговая частота вращения по орбите.

Радиальная скорость движения КА v_r будет определяться производной:

$$v_r(t, \omega) = dr/dt = \frac{d}{dt} \left[\frac{a(1-e^2)}{1+e \cos(\omega t)} - R \right] = \frac{a(1-e^2)e\omega}{(1+e \cos(\omega t))^2} \sin(\omega t). (4)$$

С учётом (4) выражение для определения величины частотного сдвига (1) принимает вид:

$$f_d(t, \omega) = \frac{a(1-e^2)e\omega}{(1+e \cos(\omega t))^2} \frac{f_0}{c} \sin(\omega t). (5)$$

Скорость доплеровского смещения частоты определяется с помощью первой производной:

$$df_d/dt = \frac{d}{dt} \left[\frac{a(1-e^2)}{(1+e \cos(\omega t))^2} \frac{\omega f_0}{c} e \sin(\omega t) \right] = \left[\frac{2e \sin(\omega t)^2}{(1+e \cos(\omega t))^3} + \frac{\cos(\omega t)}{(1+e \cos(\omega t))^2} \right] \frac{a(1-e^2)ef_0\omega^2}{c} (6)$$

Эта характеристика накладывает ограничения на возможности системы слежения за частотой несущей [2].

Используя типичные параметры геосинхронных орбит (таблица 1), с помощью полученного выражения (5) были построены зависимости относительного частотного сдвига и определены максимальные значения доплеровских сдвигов частоты для двух типов высокоэллиптических орбит: “Молния” и “Тундра” (рисунок 2). Так для орбиты “Молния” максимальный относительный частотный сдвиг составил $1,7 \cdot 10^{-6}$, а для орбиты “Тундра” $3,2 \cdot 10^{-6}$ – более чем в 5 раз меньше, что обусловлено более низкой скоростью изменения расстояния относительно центра Земли вследствие 24-часового периода и меньшего эксцентриситета.



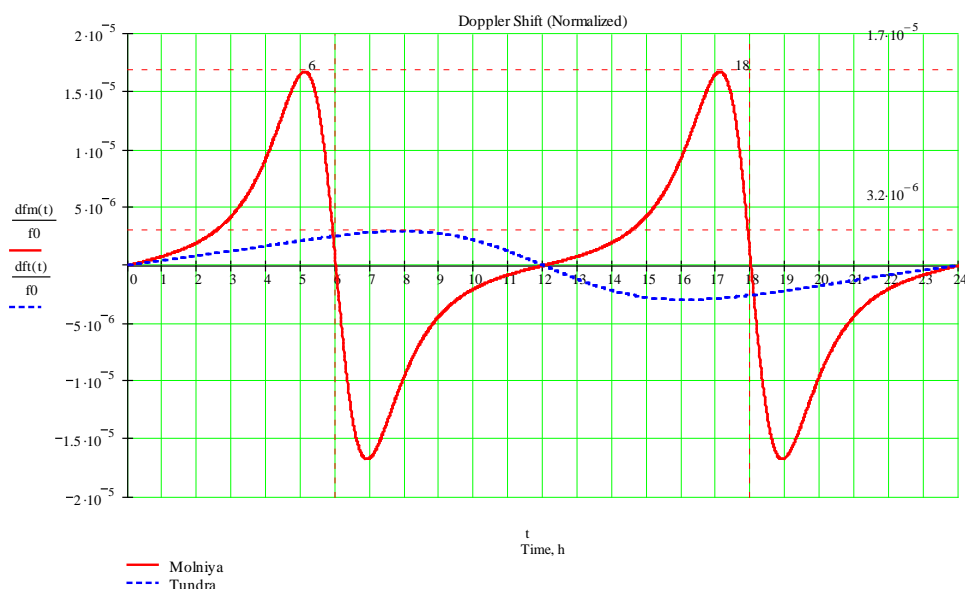


Рис.2. Динамика относительного доплеровского сдвига

С целью оценки полученных результатов на соответствие данным опубликованным в зарубежных источниках [4],[5] были построены зависимости абсолютных значений частотного сдвига для L- и S-диапазонов (рисунок 3).

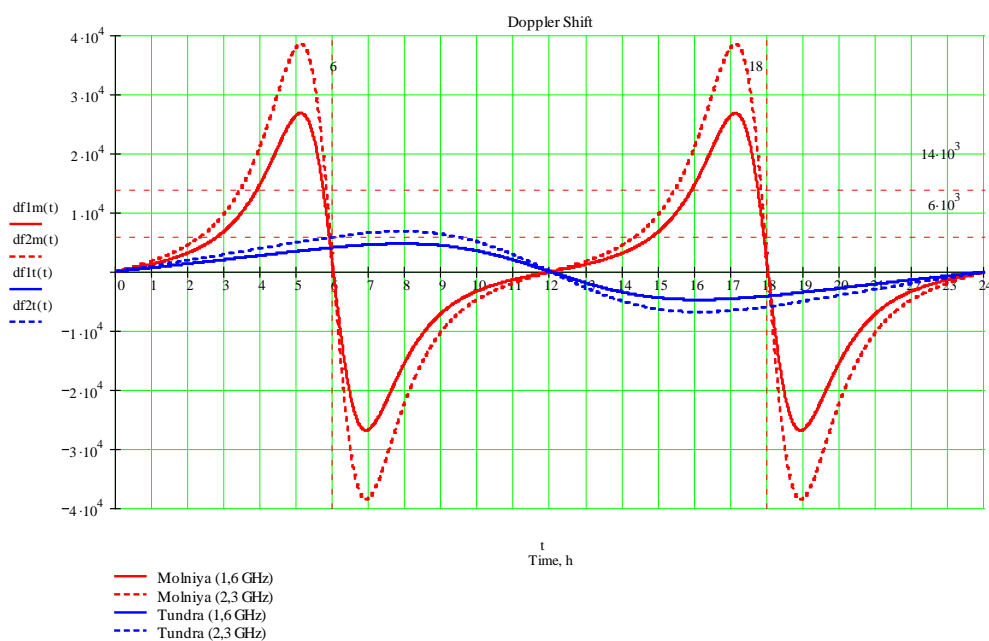


Рис. 3. Динамика доплеровского сдвига для частот L-, S – диапазонов

Согласно данным приведённым в [4] значение доплеровского сдвига на частоте 1,6 ГГц для орбиты типа “Молния” составляет 14 кГц, для орбиты типа “Тундра” 6 кГц. На рисунке 3 можно видеть, что для орбиты типа “Тундра” подтверждение соответствует приведенным в источнике сведениям – на протяжении всего суточного интервала доплеровский сдвиг не превышает значения 6 кГц. Однако, в случае орбиты “Молния”, значение частотного сдвига 14 кГц справедливо только для интервала менее 1-го часа в районе точки апогея, и для двух участков в начале и конце рабочего сеанса продолжительностью менее 2-х часов, в то время как общая продолжительность работы КА на одном витке для данного типа орбит может достигать 8-ми часов. Таким образом,

на протяжении почти 4 часов, что составляет половину рабочего времени, значение доплеровского сдвига превышает значение 14 кГц, достигая почти двукратного превышения в максимуме.

В работе [5] приводятся значения максимального доплеровского сдвига значительно ниже расчётных: 2 кГц для орбиты “Тундра” и 8-9 кГц для орбиты “Молния”, что меньше полученных результатов в 3 раза.

Подобные несоответствия указывают на необходимость уточнения условий, для которых получены приведённые результаты.

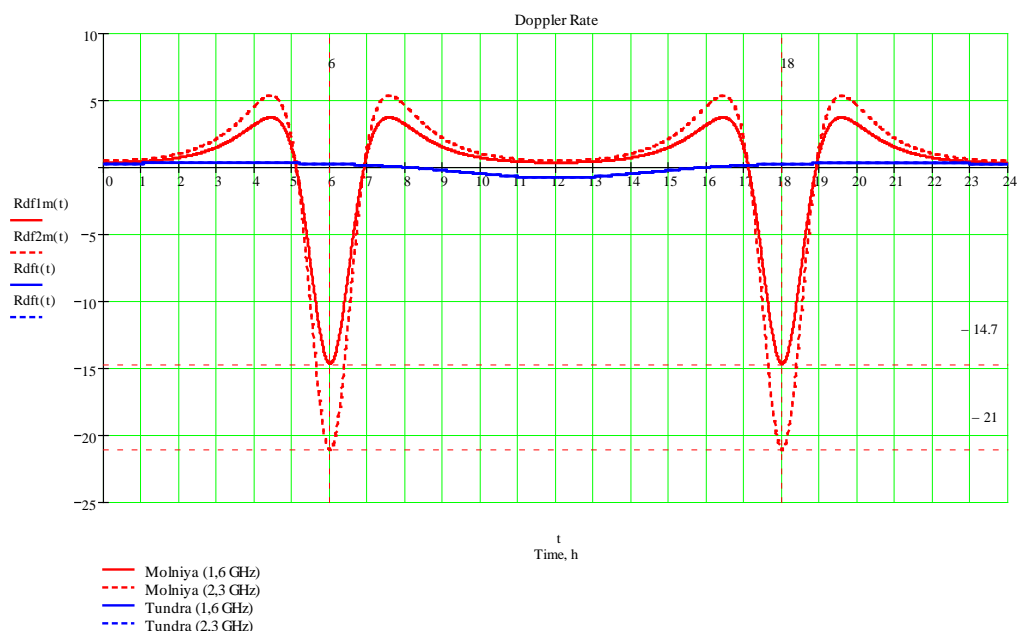


Рис. 4. Скорость изменения доплеровского сдвига для частот L, S – диапазонов

Из рисунка 4 следует, что максимальная скорость доплеровского сдвига для орбиты “Молния” при работе в L-диапазоне составляет 15 Гц/с, в S-диапазоне – 21 Гц/с. В случае использования орбиты “Тундра” скорость доплеровского сдвига для этих частот не превысит значения 1 Гц/с, что позволяет сделать вывод о том, что требования к системе слежения за частотой несущей для этого типа орбит ниже, по сравнению с “Молнией”, более чем в 20 раз.

Полученные результаты определяют требования к системе компенсации доплеровского сдвига, реализовать которую целесообразно по двухступенчатой схеме. На первом этапе выполняется априорная компенсация частотного сдвига на значение, рассчитанное в соответствии с формулой (5), учитывающему расчетное положение спутника относительно Земной станции. Благодаря этому на втором этапе появляется возможность использовать более узкополосную схему автоподстройки, что обеспечивает увеличение отношения сигнал/шум и, как следствие, повышение пропускной способности канала связи.

Целью дальнейших исследований является оценка эффективности и поиск оптимальных путей реализации предложенного решения.

Список литературы

- [1] Грудинская Г.П., Распространение радиоволн, 1967.– 190-191с.
- [2] Скляр Б. Цифровая связь. Теоритические основы и практическое применение. Изд. 2-е, испр., 2004, 620-625 с.
- [3] Камнев Е.Ф., Акимов А.А., Бобков В.Ю. и др. Системы спутниковой связи с эллиптическими орбитами, разнесением ветвей и адаптивной обработкой. – М.: Глобсатком, 2009. – 258 с.;
- [4] Pcev S.D. Global Mobile Satellite Communications For Maritime, Land and Aeronautical Applications, Springer, 2005, pp. 85– 87;
- [5] Håkegård J.E., Bakken T., Myrvoll T.A., User Requirements for HEO SATCOM for ATM in High Latitudes, IEEE, 2009, p.7.

