

МЕТОД АКТИВНОЙ ЗАЩИТЫ МЕТЕОРНОЙ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ОТ ПОМЕХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ШУМОПОДОБНЫХ СИГНАЛОВ

Введение

Явление отражения радиоволн от ионизированных следов метеоров известно с 50-х годов XX века [1]. Это явление лежит в основе принципа функционирования метеорного радиоканала (МРК). Изучение свойств метеорного распространения радиоволн осуществляется при помощи метеорных радиолокационных станций. В 70-е годы в Харькове были проведены наблюдения отражений радиосигнала от ионизированных следов метеоров. Специально для этих целей была создана метеорная автоматизированная радиолокационная система (МАРС). Реализованная в комплексе МАРС система защиты от помех показала свою эффективность при подавлении импульсных и периодических помех. В комплексе реализован метод защиты от помех класса ВНЗ, основанный на значительном увеличении периода следования зондирующих импульсов. Но его применение приводит к уменьшению количества зарегистрированных метеоров.

Во время проведения измерений особенно в летние месяцы в периоды высокой солнечной активности уровень помех, обусловленных ВНЗ, настолько высок, что приводит к значительной потере информации о метеорах, вплоть до полного «забоя» приемника.

Для успешного проведения измерений на усовершенствованном комплексе МАРС необходимо предусмотреть эффективную защиту от подобных помех. Рассмотрим более подробно механизм воздействия помех ВНЗ на приемник сигналов, предназначенных для приема метеорных отражений

Основная часть

Как известно, метеорные следы возникают в диапазоне высот 80 – 105 км [1, 2]. Если угол места, под которым ориентирован максимум ДН антенн РЛС составляет 30 градусов, то наклонная дальность до основной массы метеорных следов находится в пределах (150–300) км. Количество метеорных отражений на других дальностях значительно меньше и для расчетов не принимается.

ВНЗ обусловлено отражением метровых волн от сильно ионизированной ионосферы. Степень ее ионизации определяет (критический угол) и, соответственно, дальность до отражающей области. Протяженность отражающей области и уровень отраженного сигнала также могут быть различными. Наблюдаемая дальность возникновения ВНЗ может составлять от 900 до 2500 км, протяженность отражающей зоны – до нескольких сотен километров. Интенсивность сигнала ВНЗ сопоставима с уровнем полезного (метеорного) сигнала. Возникновение помех класса ВНЗ схематично изображено на рис. 1.

Помехи, вызванные ВНЗ, не представляли бы проблемы для метеорных наблюдений, если бы период следования зондирующих сигналов превышал 20 мс, что позволяло бы однозначно различать сигналы и помеху. При отражении сигнала от метеорного следа возникает амплитудно-временная характеристика (АВХ), которая изображена на рис. 1. Но время существования метеорного следа в среднем 300 мс, а время, в течение которого изменяется форма АВХ, – несколько миллисекунд, потому при периоде зондирования 20 мс будет невозможно получить точное описание АВХ.

В существующей системе МАРС период следования составляет 2 мс, что для указанных целей вполне достаточно. Но при таком периоде следования зондов сигналы, отраженные от метеорных следов, и помехи ВНЗ «накладываются» друг на друга, делая невозмож-

ной работу системы. Таким образом, необходимо, сохранив небольшой период следования зондирующих импульсов, как-то различать полезные метеорные сигналы и помехи ВНЗ.

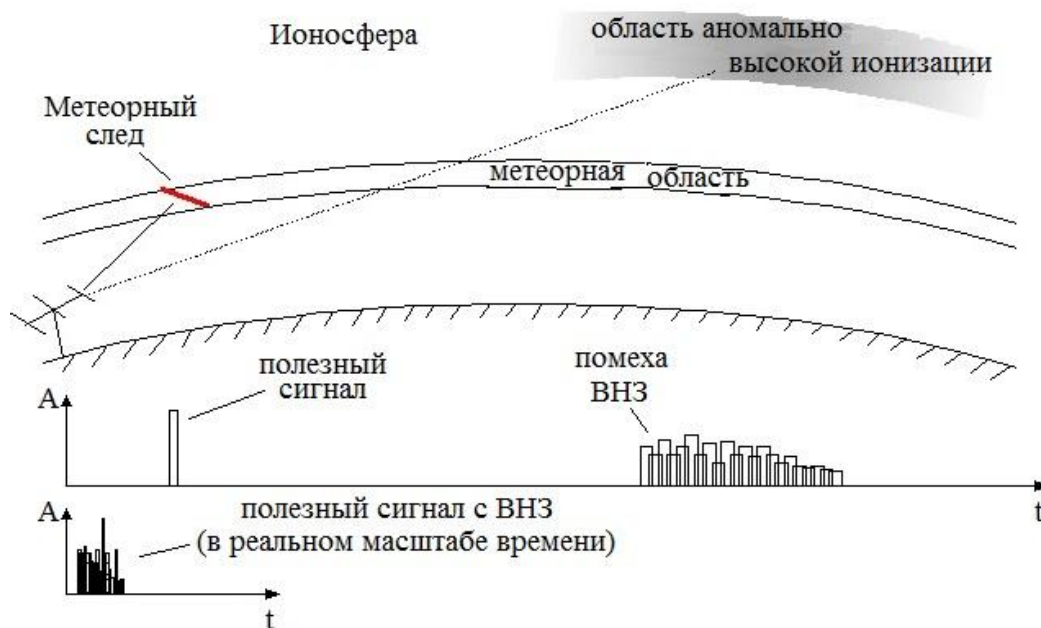


Рис. 1

Одним из вариантов реализации такого метода является применение шумоподобных сигналов, которые обеспечивают кодовое разделение сигналов. Реализовать такой механизм, можно, если использовать в качестве сигнала сложный широкополосный сигнал (ШПС). Как было сказано выше, для нормальной работы системы требуется выбрать 10 сигналов, которые будут отличаться друг от друга. Прием ШПС осуществляется с помощью корреляционной обработки, а следовательно, требуется выбрать 10 сигналов с низкой степенью корреляции друг с другом. Подобный механизм применяется в системе глобального позиционирования GPS, там используется 1023-позиционный сигнал [3]. С другой стороны, использование сигнала с большой базой может усложнить его прием, а именно процесс синхронизации. Так как для поставленной задачи требуется всего лишь 10 сигналов, то достаточно будет использовать 16-позиционный сигнал.

В качестве основы для ШПС могут быть псевдослучайные последовательности или ортогональные сигналы [4]. Псевдослучайные последовательности инвариантны к сдвигу, таким образом, компенсируются запаздывания прихода лучей. Автокорреляционная функция (АКФ) псевдослучайных сигналов имеет низкий уровень выбросов боковых лепестков, что хорошо при использовании данного сигнала в качестве чипа для систем связи, для которых важна точная синхронизация. Автокорреляционная функция позволяет определить полезный сигнал, только когда ПСП приходит целиком:

$$R_{XY}(\tau) = \int_{-T}^T X(t) \cdot Y(t - \tau) dt \quad (1)$$

К псевдослучайным последовательностям относятся M-последовательности, коды Голда, коды Касами [5, 6], коды Уилларда [7]. Недостатком ПСП является высокий уровень боковых лепестков взаимной корреляционной функции (ВКФ) (2). На рис. 2, а, б изображены АКФ M-последовательности и псевдослучайной последовательности Голда соответственно, а на рис. 2, в, г – их ВКФ.

Исходя из требований к последовательности, которая должна быть выбрана для защиты от помех класса ВНЗ, каждый сигнал должен быть отличен от другого, а следовательно, ВКФ должна иметь минимальные всплески амплитуды по боковым лепесткам.

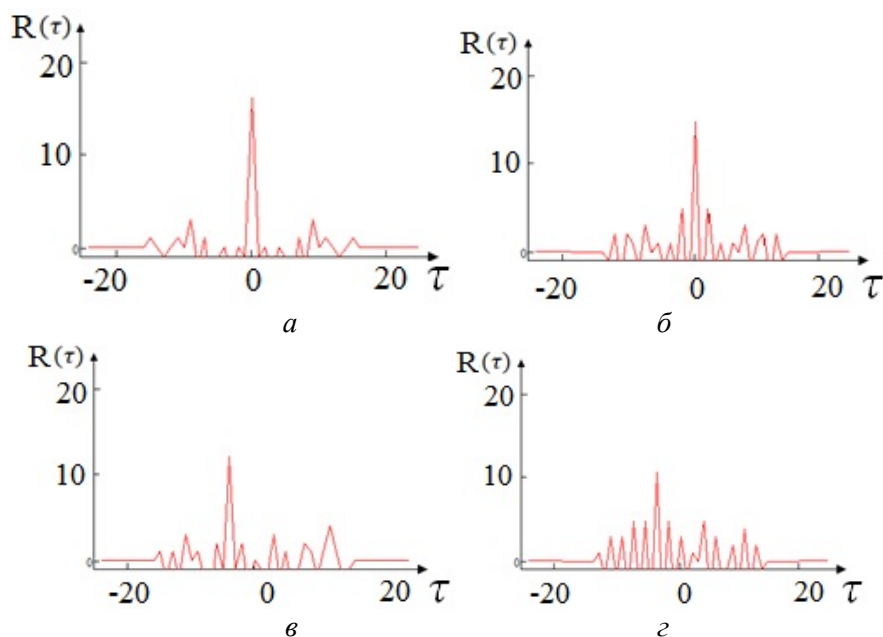


Рис.

Требование к всплескам боковых лепестков ВКФ сигналов согласно [8] при количестве разрядов N :

$$|H(\omega)| = \sqrt{N} \quad (2)$$

Другим классом последовательностей, которые могут лежать в основе ШПС, являются ортогональные сигналы. Ортогональные сигналы, по сравнению с псевдослучайными последовательностями, имеют АКФ с достаточно высоким уровнем боковых лепестков, но взаимно корреляционная функция имеет минимальные уровни. Условием для использования ортогональных сигналов является точная синхронизация системы передачи-приема информации, так как из-за высокого уровня боковых лепестков АКФ могут возникнуть ошибки синхронизации. Для задачи, которая была поставлена, данное свойство является ключевым, так как нужен минимальный коэффициент взаимной корреляции между сигналами. В системе МАРС синхронизация может быть осуществлена на основе вероятного времени прихода отраженного луча от метеорной области. Как и в предыдущем случае, приемник системы метеорной радиолокации в отдельные моменты времени будет настроен на прием определенного вида сигнала, чтобы не принимать сигналы, отраженные от ионосферы. Таким образом, приемник будет настраиваться на сигнал, который должен быть принят через ожидаемое время отражения радиоволны от метеорной области.

Математический анализ

В качестве ортогонального сигнала может быть взята последовательность Уолша, которая образуется на основе строк матрицы Адамара [4]. В матрице Адамара каждый столбец ортогонален друг другу. Для формирования ортогональной последовательности была взята матрица Адамара 16-го порядка.

Так как для осуществления оптимальной защиты от помех ВЧЗ достаточно только 10 сигналов, были взяты первые 10 строк матрицы Адамара и проведен анализ ВКФ ансамбля сигналов. На рис. 3 изображены ВКФ разных сигналов. Стоит заметить, что для 16-разрядной последовательности величина всплесков ВКФ меньше, чем требуется согласно (2). Таким образом, при использовании данного ансамбля из 10 16-позиционных сигналов ВКФ будет минимальна, а следовательно, помехи, возникающие за счет ВЧЗ и приходящие в момент времени, в который ожидается приход другого сигнала, также будут минимальны.

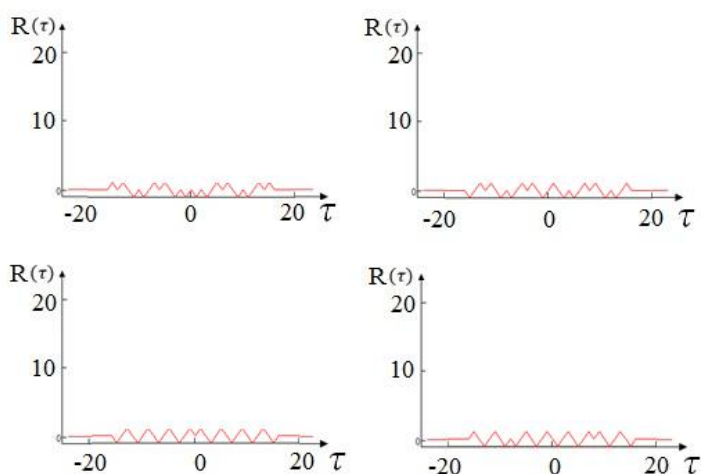


Рис. 3

Использование ШПС в системе метеорной радиолокации может обеспечить не только защищенный от помех прием, но также и улучшить ряд характеристик комплекса МАРС. Сигнал, отраженный от метеорного следа, несет в себе ряд полезной информации. Применение ШПС может улучшить качество принимаемой информации. Можно расширить полосу частот передаваемого сигнала, тем самым сузить его импульс. Уменьшая длительность импульса до величины, меньшей времени запаздывания лучей, осуществляем прием одного или ряда запаздывающих лучей, при этом, суммируя их энергию, можно получить высокую помехоустойчивость.

Кроме этого, более узкие, чем у простого сигнала, импульсы позволяют точнее определять дальность до метеорного следа и, как следствие, скорость и радиант. Также применение сложных сигналов позволяет более точно определять доплеровское смещение частоты, из которого можно определять ветровое смещение следа. Помехоустойчивость ШПС позволяет легко выделять полезный сигнал на фоне узкополосных помех. Таким образом, сегодня можно проводить метеорные исследования, несмотря на возросший уровень помех.

Выводы

Рассмотрен метод борьбы с помехами класса ВНЗ, которые являются серьезной помехой для работы имеющихся систем метеорной радиолокации. Предложено использовать сигналы, различающиеся по какому-либо признаку. Исходя из наклонной дальности до ионосферы (~2500 км) и наклонной дальности до метеорной области (~200 км), был сделан вывод, что всего требуется взять 10 сигналов. В описываемом методе было предложено использовать ШПС. Также предложено основное требование: четкая различимость сигнала одного от другого. Для реализации этого требования были выбраны 10 сигналов, ВКФ которых не имеет всплесков выше уровня \sqrt{N} , где N – число разрядов. Исходя из этого, был выбран 16-позиционный сигнал. На основе выполненного моделирования был выбран ансамбль сигналов, удовлетворяющий поставленным требованиям. Результаты, полученные в статье, могут быть использованы в системах метеорной радиосвязи.

Список литературы: 1. Мак-Кинли, Д. Методы метеорной астрономии / Д. Мак-Кинли ; пер. с англ. Л. А. Катасева. – М. : Мир, 1964. – 383 с. 2. Кашеев, Б. Л. Метеорные явления в атмосфере Земли / Б. Л. Кашеев, В. Н. Лебединец, М. Ф. Лагутин. – М. : Наука, 1967. – 260 с. 3. Tsui, J. B. Y. Fundamentals of Global Positioning System Receiver / J. B. Y. Tsui. – A John Wiley & Sons, Inc. Publication, 2000. – 255 p. 4. Невдяев, Л. CDMA: сигналы и их свойства / Л. Невдяев // Сети/Network world. – 2000. – №11. – С. 150–157. 5. Диксон, Р. К. Широкополосные системы : пер. с англ. – В. И. Журавлева. – М. : Связь, 1979. – 304 с. 6. Прокис, Дж. Цифровая связь ; пер. с англ. ; под ред. Д. Д. Кловского. – М. : Радиоисвязь, 2000. – 800 с. 7. Fakatselis, J. Processing Gain for Direct Sequence Spread Spectrum Communication Systems and PRISMTM / J. Fakatselis, J. Madjid, A. Belkerdid. – Application Note 9633, Harris Semiconductor, 1996. – 4 p. 8. Варакин, Л.Е. Системы связи с шумоподобными сигналами / Л. Е. Варакин. – М. : Радио и связь, 1985. – 384 с.

Харьковский национальный
университет радиоэлектроники

Поступила в редколлегию 20.03.2016