

*Н.А. Дугин*  
ФБОУ ВПО «ВГАВТ»  
*М.Б. Нечаева*  
ФГБНУ НИРФИ

## О НЕКОТОРЫХ ОСОБЕННОСТЯХ КОРРЕЛЯЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ СО СЛОЖНЫМ СПЕКТРОМ

### Введение

В Нижегородском Научно-исследовательском радиофизическом институте (ФГБНУ НИРФИ) многие годы проводятся работы по применению радиоинтерферометров с независимым приемом (или со сверхдлинной базой – РСДБ) в задаче РСДБ-локации объектов «космического мусора» и потенциально опасных астероидов, а с 2010 года начаты наблюдения навигационных космических аппаратов (НКА) СРНС ГЛОНАСС и GPS с целью высокоточного определения их координат [1,2].

При приеме излучения радиоисточника на разнесенные антенны РСДБ в процессе обработки определяются два основных параметра: групповая задержка сигнала и частота интерференции, которые являются главными измеряемыми величинами для расчета координат и скоростей КА. Пространственная задержка принятых сигналов измеряется тем точнее, чем шире полоса приема (регистрации). До появления НКА СРНС в большинстве КА использовались узкополосные или монохроматические сигналы, не позволявшие применить стандартную методику РСДБ для определения задержки (дальности). Сигналы НКА имеют достаточно широкий спектр для точного измерения задержки, но из-за сложной процедуры кодирования их можно считать лишь квазишумовыми. При РСДБ-локации объектов в околоземном космическом пространстве использовалось два вида сигналов: монохроматический для измерения частот Доплера и ЛЧМ – для измерения задержки. Если для монохроматического сигнала получены хорошие и достоверные результаты, то при локации ЛЧМ сигналом возникли существенные затруднения с обработкой данных, как считалось из-за сильного уменьшения дальности (малого уровня эхо-сигнала) и несовершенства методики обработки.

Проведенные к настоящему времени эксперименты выявили ряд особенностей как работы с сигналами со сложным спектром, так и в интерпретации результатов. Это обстоятельство потребовало более точного теоретического исследования эффектов, возникающих из-за сложной частотной и временной структуры подобных сигналов.

### Результаты теоретических и экспериментальных работ

Экспериментальные работы по приему сигналов НКА (частоты 1565-1607 МГц) проводились на РСДБ-сети НИРФИ (3–4 пункта) с подключением пунктов в Евпатории (РТ-70, Крым) и Вентспилсе (РТ-32 «Ирбене», Латвия). Локация «космического мусора» и астероидов осуществлялась планетным локатором РТ-70 (Евпатория, частота 5 ГГц), прием проводился на нескольких пунктах международной РСДБ сети.

Прием сигналов НКА. В качестве примера на рисунках 1 и 2 приводятся спектры принимаемых сигналов некоторых НКА. На рис. 1 – вид спектра сигнала НКА НАВСТАР в пункте «Ирбене» в полосе частот около 100 МГц (на первой промежуточной частоте), хорошо видна «штатная» структура сигнала – широкополосная часть 20 МГц и узкополосный сильный пик. На рис. 2 – вид сигнала НКА ГЛОНАСС в более узкой полосе тоже на первой ПЧ, также видна структура сигнала – широкополосная часть 10 МГц и центральный пик (0,5-1) МГц. Видно, что спектры обоих сигналов идентичны по форме.

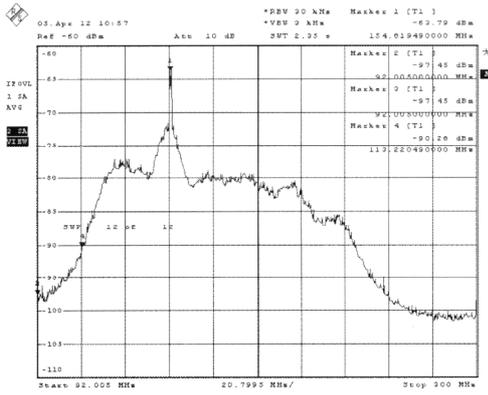


Рис. 1

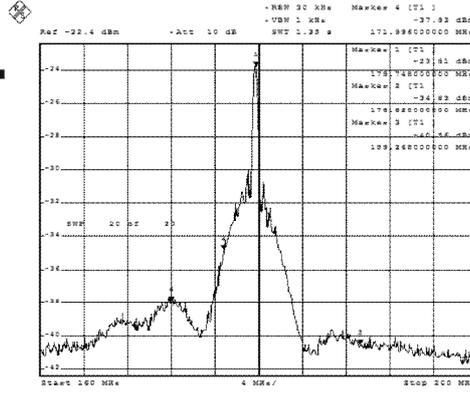


Рис. 2

После корреляционной обработки принятых и записанных на пунктах сигналов НКА были получены корреляционные функции (КФ), показанные на рис. 3 (в стандартных для РСДБ координатах «амплитуда корреляционного сигнала – задержка – частота») и рис. 4 (КФ для НКА двух СРНС при точной компенсации задержки и при сдвиге на 1 мс). Полоса регистрации – 8 МГц.

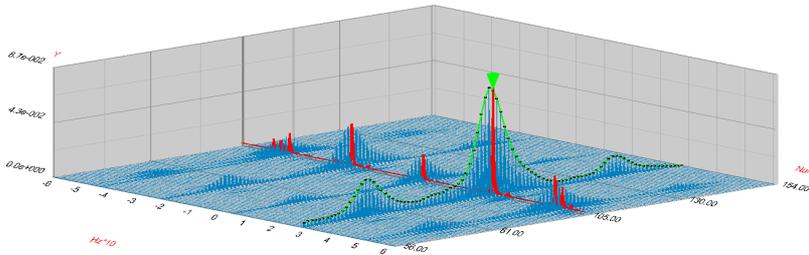


Рис. 3

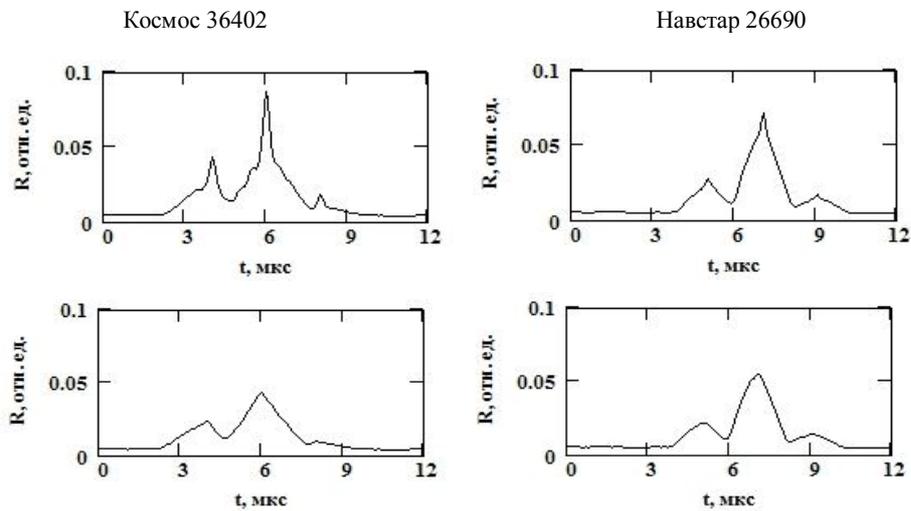


Рис. 4

На обоих рисунках хорошо видны особенности КФ, обусловленные структурой сигналов: просмотр в широких пределах изменения задержки и частоты показывает наличие дополнительных экстремумов, отсутствующих для КФ естественного шумового сигнала, кроме того есть корреляция узкополосных сигналов при сдвиге по задержке, кратном  $\pm 1$  мс – периоду фазовой манипуляции (боковые максимумы обусловлены применяемой системой регистрации). Видно существенное различие в форме КФ для сигналов двух СРНС. Для выяснения этого эффекта были рассчитаны (с определенными допущениями) КФ для сигналов, имеющих спектр в виде суммы двух полос гауссовой формы с шириной, соответствующей реальным сигналам и полосе регистрации. Амплитуда узкой части спектра взята в два раза большей, чем у широкой части, что тоже близко к реальности. (Для шумового сигнала с прямоугольной формой спектра КФ описывается функцией вида  $\sin x/x$ ). На рис. 5 показаны результаты расчетов, которые качественно согласуются с экспериментом. Для получения более полного соответствия необходимы точные расчеты для частотных полос с различной формой ( $\cos$ ,  $\cos^2$  и др.) и разным соотношением амплитуд.

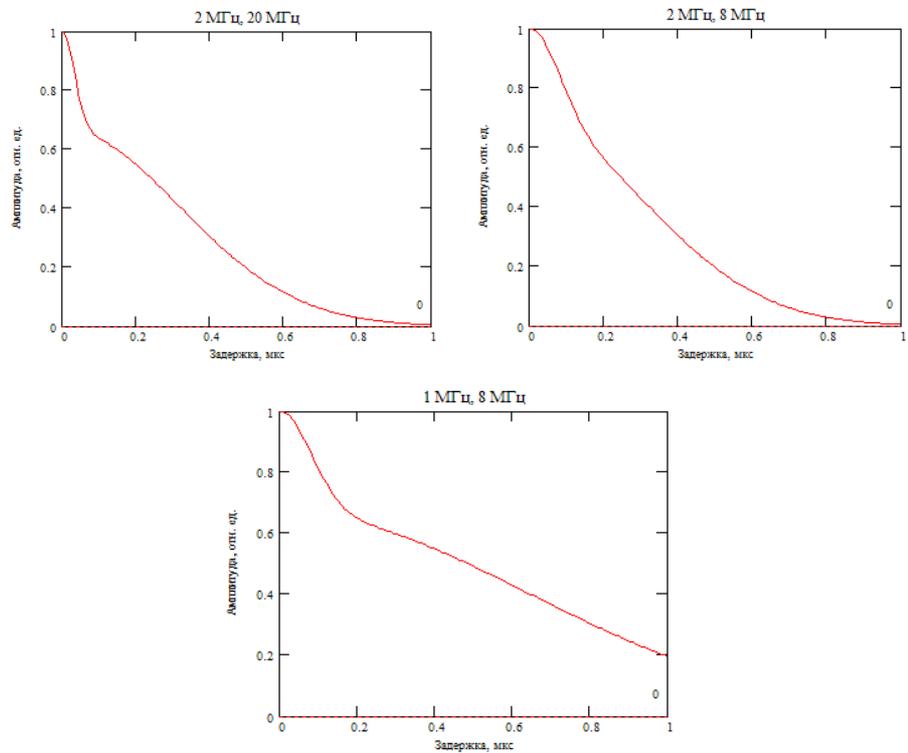


Рис. 5

### РСДБ-локация

Передатчик РТ-70 излучает ЛЧМ сигнал со следующими параметрами: несущая частота 5,024 ГГц, частота девиации 512 КГц, период девиации 32 мс. Вид спектра – квазишумовой с полосой 512 КГц, что соответствует теории подобных сигналов [3, 4]. Измерение дальности до цели в РЛС с ЛЧМ сигналом основано на измерении разности частот передатчика и отраженного от цели сигнала, принятого в том же пункте (рис.6). При оптимальной обработке сигнала с ЛЧМ достигается эффект сжатия за счет фазирования частотных составляющих спектра этого сигнала. Смысл этой

операции в том, что при наличии достаточной энергии излучаемого сигнала большой длительности сохраняется высокая разрешающая способность по дальности.

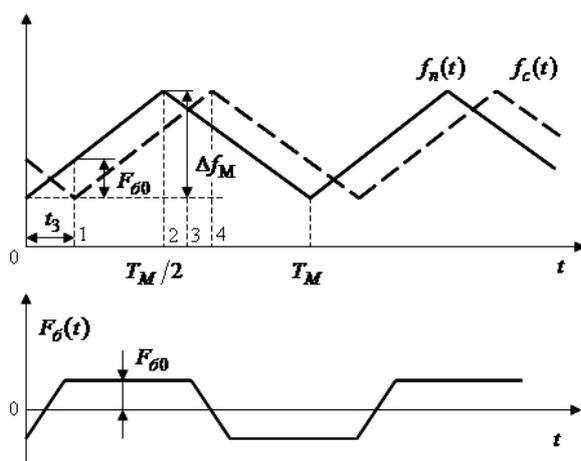


Рис. 6

Для случая РСДБ с разнесенными пунктами все указанные операции должны проводиться программно в центре обработки. Т.е. излученный сигнал лоатора должен записываться в том же формате, что и эхо-сигналы на пунктах. Обработка может проводиться в два этапа.

1) Перемножение сигналов лоатора и каждого приемного пункта; в этом случае дальность до объекта определяется способом, аналогичным для одиночной РЛС, исключая особенности цифровой обработки данных, принятые в РСДБ. Здесь возможна практически любая компенсация задержки сигналов и, соответственно, увеличение дальности при фиксированном периоде модуляции. Главное требование – синхронизация локационного сигнала с использованием водородных стандартов частоты, включая привязку фазы излучаемого сигнала в начале каждого периода модуляции.

2) Перемножение сигналов приемных пунктов; в этом случае определяется стандартная задержка сигналов, по которой проводится определение координат объекта при многопунктовом приеме.

Практическая реализация указанных способов обработки ЛЧМ сигналов в РСДБ-локации потребует разработки соответствующих алгоритмов, модификации программного обеспечения и отработки их на реальных данных проведенных к настоящему времени экспериментов.

### Выводы

По результатам, полученным в ходе экспериментов по РСДБ-приему сигналов со сложным спектром, можно сделать предварительные выводы.

1. Работа радиointерферометра (РСДБ) по сигналам с квазишумовым спектром НКА СРНС практически идентична работе по шумовым внеземным источникам.

Корреляционная обработка сигналов позволяет получить достоверные значения пространственной задержки и частоты интерференции. Учет особенностей спектра сигналов позволяет повысить точность измерений.

2. Применение ЛЧМ сигналов при РСДБ-локации внеземных объектов для измерения дальности и пространственной задержки требует дополнительных экспериментальных и теоретических исследований.

Авторы выражают благодарность сотрудникам РСДБ-лабораторий и радиоастрономических обсерваторий НИРФИ, Евпаторийского пункта и Вентспилского между-

народного радиоастрономического центра, проводившим экспериментальные работы и обработку данных.

Работа поддержана грантами РФФИ № 13-02-00586 и 13-02-97080.

**Список литературы:**

- [1] Нечаева М.Б., Антипенко А.А., Дементьев А.Ф., Дугин Н.А., Снегирев С.Д., Тихомиров Ю.В. РСДБ-исследования в Научно-исследовательском радиофизическом институте // Изв. ВУЗов «Радиофизика». 2007. Т. 50, № 7. С. 577–592.
- [2] Дугин Н.А., Антипенко А.А., Дементьев А.Ф., Нечаева М.Б., Тихомиров Ю.В. Особенности радиointерферометра с независимым приемом по сигналам навигационных космических аппаратов ГЛОНАСС и НАВСТАР. XVII международная научно-техническая конференция «Радиолокация, навигация, связь» RLNC-2011. – Воронеж, НПФ «Саквояж» ООО, 12–14 апреля 2011 г., Труды. Т. 3. С. 1858–1869.
- [3] Финкельштейн М.И. Основы радиолокации. М.: «Сов.радио». 1973. 496 с.
- [4] Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы. М.: «Высшая школа». 2000 г. 462 с.

*А.А. Емельянов, В.Ю. Климашов*  
*ООО «Сорта»*

## **АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ЭТАПОВ ПРОЦЕССА ПРОМЫШЛЕННОЙ СБОРКИ**

В настоящее время широко развиваются системы видеонаблюдения, начиная от элементарных охранных систем с записью и до интеллектуальных систем измерения скорости потока автомобилей с определением номеров, систем контроля лесных пожаров и многих других. Современные технологические средства при малых габаритах и сравнительно невысокой цене обладают высокой чёткостью изображения, скоростью работы и т.д. А современные методы обработки изображений, как распространёнными программными пакетами, так и оригинальными средствами, равно как и доступные аппаратные средства, позволяют проводить эффективную обработку изображений для решения поставленных задач.

В то же время, всё больше и больше технологических процессов производители стараются отдать под контроль каких-либо электронных систем с целью максимальной защиты от «человеческого фактора». Современные обрабатывающие станки, целые сборочные цеха действуют по предустановленной программе в автоматическом режиме, многократно повторяя одни и те же запрограммированные действия. Точность процессов в подобного рода промышленных агрегатах очень высока, возможные допуски минимальны, что непременно контролируется на каждом этапе.

Трудоёмкость сборочных работ, например, в машиностроении составляет примерно 20–50% от общей трудоёмкости изготовления машин. В массовом производстве трудоёмкость сборочных работ занимает 20% от всей трудоёмкости изготовления, в единичном и серийном производстве – 40–60% от всей трудоёмкости машины. На машиностроительных заводах из всего объема сборочных работ механизировано только 15–20%, а остальная часть сборочных операций выполняется вручную. Весьма незначительное применение в машиностроении имеет автоматическая сборка, примерно 6–7% от всех видов сборки. Поэтому необходимо сокращать трудоёмкость сборочных работ путем ее механизации и автоматизации. У авторов проекта нет цели решить комплексную задачу автоматизации сборки, но фокус направлен одну из важнейших проблем и задач автоматизации сборочных процессов. В предлагаемом про-