

УДК 623.4.025

Н. А. КОРОЛЕВ, канд. техн. наук, **Н. М. НИКИТИН**, канд. техн. наук, **О. Н. СОЛОЩЕВ**, канд. техн. наук
(Корпорация “Научно-производственное объединение “Арсенал”, г. Киев)

НЕКОТОРЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ КОГЕРЕНТНОГО НАКОПЛЕНИЯ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СИГНАЛОВ

Наведено деякі результати експериментів з виявленням повітряних цілей за допомогою макета радіолокаційної станції із цифровою антенною решіткою в умовах тривалого когерентного накопичення радіолокаційних сигналів. Підтверджено достатню з метою накопичення сигналів стабільність генераторної апаратури. Експериментально доведено можливість когерентного накопичення сигналів, що відбиті повітряними об'єктами протягом близько однієї секунди.

Приведены некоторые результаты экспериментов по обнаружению воздушных целей с помощью макета радиолокационной станции с цифровой антенной решеткой в условиях длительного когерентного накопления радиолокационных сигналов. Подтверждена достаточная для накопления сигналов стабильность генераторной аппаратуры. Экспериментально доказана возможность когерентного накопления сигналов, отраженных воздушными объектами на протяжении около одной секунды.

Одно из направлений повышения информационных возможностей перспективных радиолокационной станции (РЛС) состоит в использовании режима длительного когерентного накопления отраженных сигналов [1]. В таком режиме можно увеличить разрешающую способность по частоте пропорционально длительности пачки накапливаемых импульсов. Кроме того, возрастает энергетический потенциал РЛС, в результате увеличивается дальность действия РЛС и повышается точность измерения радиальной скорости. Режим длительного когерентного накопления позволяет получать доплеровские портреты целей как с помощью дискретного преобразования Фурье (ДПФ), так и с привлечением более изощренных методов анализа, в частности, метода инверсного синтеза апертуры, что создает предпосылки для идентификации движущихся целей [2].

При длительном когерентном накоплении обычно рассматривают так называемый доплеровский портрет, представляющий собой совокупность разрешаемых пропорционально длительности пачки гармоник вторичной модуляции принятого сигнала, зависящей от диаграммы обратного рассеяния цели и движения ее основных конструктивных

элементов [1]. Соотношение между этими гармониками позволяет с той или иной степенью детализации судить о типе радиолокационного объекта.

Особый интерес представляет использование длительного когерентного накопления в РЛС с цифровой антенной решеткой (ЦАР). В такой РЛС благодаря пространственной многоканальности, возникают условия для параллельного обзора заданного сектора пространства. Образующийся при таком способе обзора положительный баланс времени позволяет значительно увеличить длительность пачки накапливаемых импульсов. При этом на время накопления (длительность пачки накапливаемых импульсов) могут накладываться некоторые ограничения, связанные со следующими факторами.

Во-первых, время накопления может ограничиваться заданным темпом обзора пространства или требуемым темпом обновления радиолокационной информации. Во-вторых, возможность длительного накопления ограничивается временной стабильностью генераторных устройств РЛС. Третьим ограничивающим фактором является декорреляция отраженного от цели сигнала во времени, приводящая к расширению доплеровского спектра. На сегодняшний день сложилось традиционное

© Н. А. КОРОЛЕВ, Н. М. НИКИТИН, О. Н. СОЛОЩЕВ, 2015

представление о ширине спектра флюктуаций сигнала, отраженного от самолета, в пределах 10...20 Гц, основанное на экспериментальных результатах, приведенных в работе [3].

При таких флюктуациях время накопления ограничивается значениями 0,05...0,1 с. Эти результаты, полученные в начале второй половины XX века с помощью существовавшей радиолокационной и измерительной техники, в настоящее время подвергаются сомнению. Полученные в последние годы результаты исследований для РЛС метрового диапазона показывают возможность когерентного накопления сигналов воздушных целей в течение от единиц до десятков секунд [1]. В этой публикации имеется ссылка на экспериментальные результаты когерентного накопления в РЛС сантиметрового диапазона, где указывается эффективное время накопления до десятых долей секунды.

Таким образом, задача получения экспериментальных данных, в ходе которого оценивается когерентность аппаратуры и выполняется оценка возможности длительного когерентного накопления радиолокационных сигналов на основании исследования спектров отраженных сигналов, сохраняет свою актуальность.

Ниже приведены результаты экспериментальных исследований, полученные с помощью макета РЛС с ЦАР, созданного в Корпорации «НПО «Арсенал» в рамках опытно-конструкторской работы «Спостереження-А», выполняемой по заказу Государственного космического агентства Украины.

Макет РЛС с ЦАР работает в L-диапазоне и в нем предусмотрена возможность изменения параметров зондирующих прямоугольных импульсов (длительность импульса, период повторения, количество импульсов в пачке). В макете РЛС с ЦАР реализована абсолютная внутренняя когерентность сигналов. Эта когерентность обеспечивается применением стабильного задающего генератора, колебания которого используются для формирования колебаний несущей частоты передающего устройства, колебаний гетеродинного напряжения приемных устройств и формирования импульсов срабатывания аналого-цифровых преобразователей.

В процессе экспериментов производилось обнаружение сигналов и сопровождение обнаруженных целей (преимущественно рейсовых самолетов гражданской авиации). В необходимых случаях цифровые коды принятых сигналов фиксировались в запоминающем устройстве, что позволило в

последующем проводить их различную обработку. Для оценки доплеровских портретов применялась процедура дискретного преобразования Фурье.

На рис. 1 показан доплеровский портрет сигнала, отраженного от местного предмета, расположенного на дальности около 35 км (здесь и далее приводится уровень сигнала относительно уровня шумов приемного канала в децибелах). Время накопления пачки импульсов – 0,262 с, что соответствует разрешающей способности по частоте 3,8 Гц.

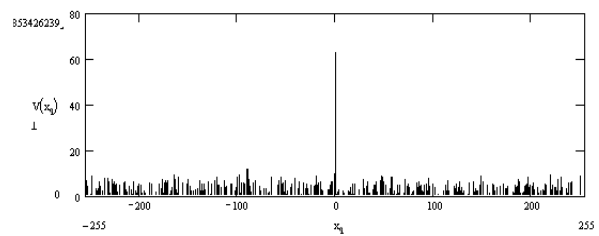


Рис. 1. Доплеровский портрет сигнала местного предмета

На рис. 1 видно, что сигнал местного предмета достаточно высокого уровня (62,8 дБ) присутствует только в одном нулевом фильтре, а в соседних фильтрах наблюдаются только шумовые составляющие. Это свидетельствует о стабильности аппаратуры, обеспечивающей когерентное накопление. Приведенный результат накопления интересен тем, что демонстрирует подавление сигналов местного предмета во всех других фильтрах с коэффициентом подавления более 60 дБ. В подтверждение этого на рис. 2 показан полезный сигнал движущейся цели (самолета на дальности 35 км), который выделяется в 97-м фильтре с уровнем 19,5 дБ, при воздействии сигнала от местного предмета с уровнем 53,17 дБ. Разрешающая способность по частоте в данном случае составляет 6,6 Гц.

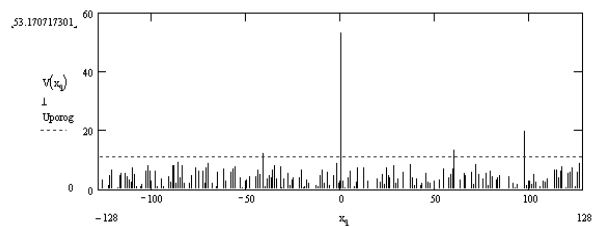


Рис. 2. Доплеровский портрет сигналов самолета и местного предмета

На рис. 3,а показан сигнал, отраженный от самолета. Этот сигнал сосредоточен в 96 фильтре и имеет уровень 34,6 дБ. Также наблюдаются

значительные превышения сигнала над шумом в двух соседних фильтрах. Можно предположить две причины такого явления. Во-первых, это может быть результатом декорреляции отраженного сигнала. Во-вторых, доплеровская частота отраженного сигнала не совпадает с резонансной частотой, и сигнал воспринимается боковыми лепестками соседних фильтров.

Для проверки второго предположения было произведено измерение частоты сигнала как точечного по частоте (гармонического) колебания. В результате была получена оценка частоты 95,869 долей ширины фильтра (или 630,53 Гц). На основании оценки частоты проведена коррекция процедуры ДПФ со смещением положения максимумов всех фильтров на величину 0,869 (или на 0,665 Гц). Доплеровский портрет движущейся цели, полученный с помощью смещенных фильтров ДПФ, показан на рис. 3,б. Можно отметить увеличение уровня сигнала на 0,23 дБ, а также отсутствие сигналов, превышающих шум, в соседних фильтрах, что свидетельствует о совпадении максимума АЧХ фильтра с максимумом спектра сигнала.

Полученный результат позволяет сделать вывод о том, что время корреляции отраженного от самолета сигнала существенно превышает время когерентного накопления 0,152 с.

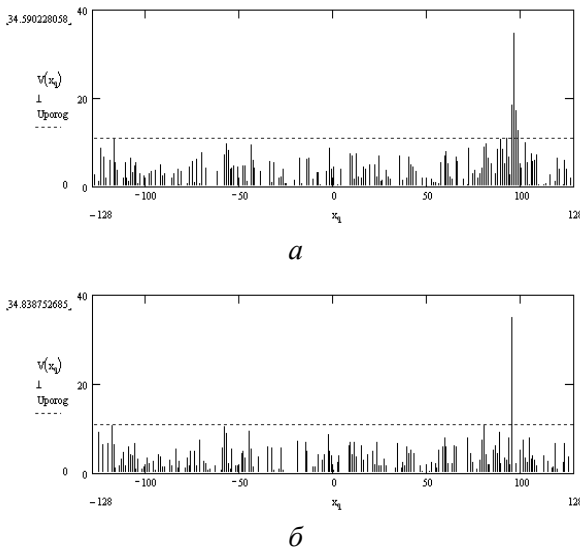


Рис. 3. Доплеровский портрет сигнала самолета 1

Аналогичный результат демонстрирует рис. 4. Этот результат получен для времени когерентного накопления 0,262 с. Смещение частоты сигнала от положения максимума фильтра составило 0,498.

Сигнал в фильтре, максимум частотной характеристики которого соответствует доплеровской частоте сигнала (рис. 4,б), вырос на 2,85 дБ. Отсутствие сигнала в соседних фильтрах указывает на высокую корреляцию накопленного сигнала.

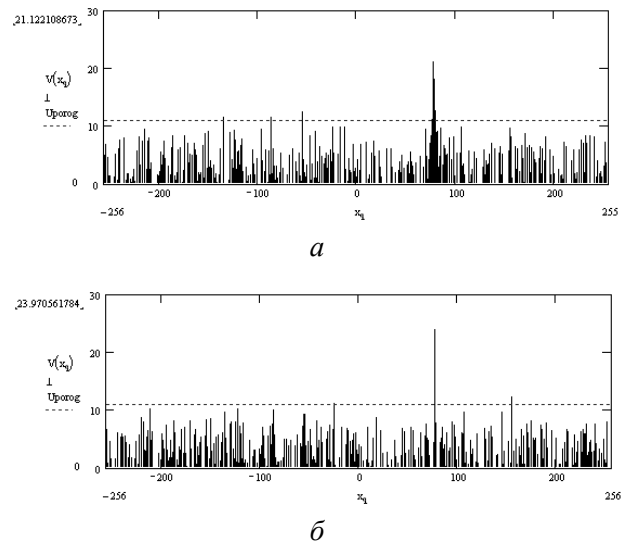


Рис. 4. Доплеровский портрет сигнала самолета 2

Рис. 5 иллюстрирует накопленные сигналы двух самолетов при воздействии мощного сигнала от местного предмета. В данном наблюдении длительность накопленной пачки составляла 0,157 с, что соответствует разрешающей способности по частоте 6,36 Гц или 0,74 м/с по радиальной скорости. Один из сигналов имеет уровень 28 дБ и наблюдается в фильтре с номером -176, второй с уровнем 24,2 дБ – в фильтре 85. Оба сигнала надежно выделяются на фоне отражения от местного предмета с интенсивностью 66,5 дБ.

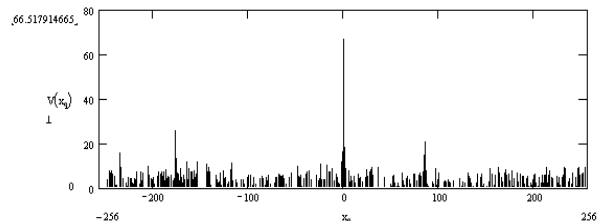


Рис. 5. Доплеровский портрет сигналов двух самолетов и мощного сигнала от местного предмета

На рис. 6 показан накопленный сигнал, отраженный от самолета, с уровнем 20,1 дБ в фильтре -111. Особенность приведенного доплеровского портрета – время накопления 0,792 с. В этом случае сигнал когерентно накоплен в фильтре с

полосой пропускания 1,26 Гц. Полученный результат указывает на возможность накопления сигналов от маневрирующих воздушных целей на протяжении около одной секунды.

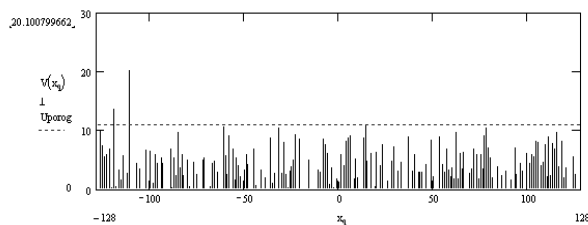


Рис. 6. Доплеровский портрет сигнала от самолета при времени накопления 0,792 с

Выводы

В результате проведенных экспериментов по локации воздушных целей с помощью макета радиолокационной станции с цифровой антенной решеткой, работающей в L-диапазоне, установлено следующее.

1. Созданная аппаратура макета радиолокационной станции с цифровой антенной решеткой обеспечивает длительное когерентное накопление радиолокационных сигналов.

2. Возможно когерентное накопление сигналов, отраженных от маневрирующих воздушных целей, на протяжении времени более 0,8 с.

3. Экспериментально показана возможность подавления сигналов местных предметов при использовании когерентного накопления с коэффициентом подавления не менее 60 дБ.

Список литературы

1. *Вопросы перспективной радиолокации* / под ред. А. В. Соколова. – М. : Радиотехника, 2003. – 512 с. (Сер. Радиолокация).
2. *Митрофанов, Д. Г.* Результаты обработки данных экспериментов по формированию доплеровских портретов объектов с применением сверхразрешения / Д. Г. Митрофанов, А. В. Романенко; ООО «Смоленский научно-инновационный центр радиоэлектронных систем «ЗАВАНТ», Россия. – Технические науки. 6. Электротехника и радиоэлектроника [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.rusnauka.com/32_NII_2014/Tecnic/6_179037.doc.htm.
3. *Справочник по радиолокации* : пер. с англ. / под ред. М. Скольника. В 4-х т. Т. 1. Основы радиолокации / под ред. Я. С. Иццоки. – М. : Сов. радио, 1976. – 456 с.