электронный научно-технический журнал
ИНЖЕНЕРНЫЙ ВЕСТНИК
Издатель ФГБОУ ВПО "МГТУ им. Н.Э. Баумана". Эл No. ФС77-51036. ISSN 2307-0595

Алгоритм защиты от активных помех в РЛС на подвижном основании

 # 09, сентябрь 2014

Былдин А. Ю.[1], Жураковский В. Н.[2], Кондрашов К. С.[2]

УДК: 621.396.621

[1]Россия, НИИ СМ при МГТУ им. Н. Э. Баумана
[2]МГТУ им. Н. Э. Баумана
sm2-2@inbox.ru

Введение

На сегодняшний день существует множество методов защиты от помех в радиолокационной технике. Они достаточно подробно рассмотрены в зарубежной и отечественной литературе [1, 2, 4, 5]. В данной статье акцент сделан на защиту от активных помех в РЛС на подвижном основании (а именно, морского базирования). Приводится разработанный авторами комплексный алгоритм защиты от активных помех, внедренный на практике. Данный алгоритм основан на оценке параметров активной помехи и выборе наиболее подходящего метода защиты в конкретной ситуации. Затронуты как вопросы теоретического характера, так и особенности практической реализации данного алгоритма. В качестве важного инструмента отладки алгоритма приводится схема аппаратно-программного стенда, а также результаты работы алгоритма защиты от помех, полученные с его помощью.

1. Постановка задачи

В РЛС морского базирования необходимо учитывать влияние как пассивных, так и активных помех, а также шумов. В качестве пассивных помех могут выступать умышленные искусственные отражатели, подстилающая поверхность (море) и объекты береговой линии. Активные помехи организуют с помощью специальных радиолокационных станций. Станции постановки активных помех могут принимать зондирующие сигналы (ЗС) атакуемой РЛС и формировать помехи на базе параметров ЗС: излучать в направлении атакуемой РЛС копию ЗС, модулированную по амплитуде, фазе, частоте, времени задержки и т. д. Станции радиопомех размещают на защищаемых объектах или вне их.

В силу того, что организованные помехи существенно снижают эффективность работы РЛС, необходимо предусматривать средства защиты от радиопомех. Методы защиты от активных помех так или иначе основаны на том, чтобы насколько возможно «разнести»

рабочие параметры РЛС и помех: по рабочей частоте, поляризации, во времени, пространстве и проч. При этом предварительно необходимо выявить наличие активной помехи как таковой.

В рамках типичной структуры обработки данных в РЛС [4], реализуемой в виде первичной и вторичной обработки (обработки сигналов и данных), защита от активных помех неминуемо затрагивает оба этапа. Кроме того, процессор данных (вторичной обработки) должен реализовывать логику переключения различных вариантов защиты от активных помех, в случае, если какой-то из них не дает положительного результата. Это приводит к применению комплексного алгоритма, который должен выполнять следующие задачи:

1. Обнаружение действия активной помехи;
2. Определение параметров помехи при ее наличии;
3. Выбор метода защиты.

Ниже приводится систематическое изложение распространенных на практике методов борьбы с активными помехами, а также структура алгоритма, основанного на данных методах.

2. Методы борьбы с активными помехами

Использование компенсационной антенны. Данный метод позволяет осуществить защиту от активной помехи, направление на которую не совпадает с направлением на цель, то есть попадающей в диаграмму направленности приемной антенной решетки сбоку от ее главного лепестка. В приемной антенной решетке наряду с основной используется компенсационная антенна, диаграмма направленности которой «накрывает» диаграмму основной в области вне главного лепестка. Идея метода заключается в том, чтобы с учетом коэффициента корреляции r_{mc} между основным и компенсационным каналом осуществить вычитание сигнала компенсационного канала из сигнала основного.

Коэффициент корреляции в каждый момент времени (по определению):

$$r_{mc} = \frac{K_{cm}}{\sigma_c \sigma_m}.$$

При этом:

$$K_{mc} = M\left[(s_m - M[s_m])(s_c - M[s_c])\right];$$
$$\sigma_\alpha^2 = M\left[(s_c - M[s_c])^2\right];$$
$$\alpha = \{m, c\}.$$

Здесь s_m - сигнал, принятый в основном канале; s_c - сигнал, принятый в компенсационном канале.

Сигнал после компенсационной обработки в каждый момент времени: $s_{res} = s_m - r_{mc} \cdot s_c$.

В процессе первичной обработки по реализации длиной L в предположении эргодичности сигнала и помехи (что справедливо, если интервал усреднения достаточно короткий) выходной сигнал $s_{res}[n]$ для момента времени n рассчитывается по аналогичной

формуле, но с заменой истинных значений вероятностных характеристик сигналов и помех их выборочными значениями (см. формулы ниже).

$$K_{mc}^{*} = \frac{1}{L}\sum_{i=1}^{L}\left(s_m[i]-\overline{s_m}\right)\left(s_c[i]-\overline{s_m}\right);$$

$$r_{mc}^{*} = \frac{K_{mc}^{*}}{\sigma_m^{*}\sigma_c^{*}};$$

$$\overline{s_\alpha} = \frac{1}{L}\sum_{i=1}^{L} s_\alpha[i];$$

$$\left(\sigma_\alpha^{*}\right)^2 = \frac{1}{L-1}\sum_{i=1}^{L}\left(s_\alpha[i]-\overline{s_\alpha}\right);$$

$$\alpha = \{m, c\};$$

$$s_{res}[n] = s_m[n] - r_{mc}^{*}\cdot s_c[n].$$

Эффект максимального подавления активной помехи будет наблюдаться при попадании ее сигнала в максимум первого бокового лепестка.

Компенсационный метод поясняется на рис. 1.

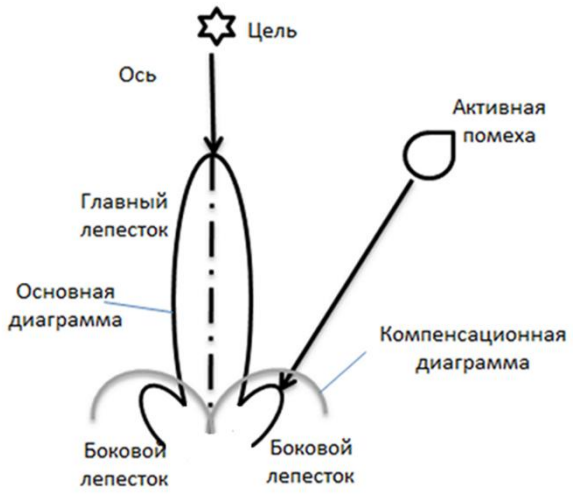

Рис. 1. Пояснение компенсации при помощи компенсационной антенны

Использование «нулей» диаграммы направленности. Данный подход подразумевает, что угловое положение активной помехи известно и мало изменяется за короткие промежутки времени. Для определения углового положения можно периодически делать паузы в зондировании, принимая только мешающий сигнал. После определения углового положения необходимо «поворачивать» приемную антенную решетку таким образом, чтобы один из «нулей» ДН антенны приходился на направление активной помехи. При таком подходе сигнал от цели не обязательно будет всегда попадать в максимум основного лепестка диаграммы направленности приемной антенной решетки, зато будет наблюдаться заметное подавление активной помехи. При точном же попадании цели в максимум основного лепестка эффект подавления максимален.

Иллюстрация данного метода представлена на рис. 2.

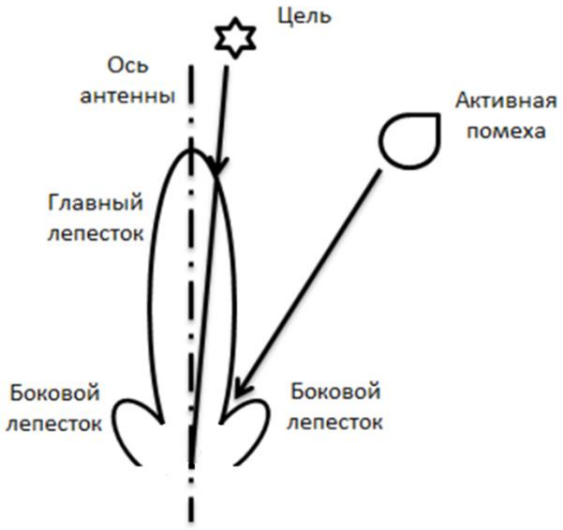

Рис. 2. Использование нулей ДН

Поляризационный метод. Еще один метод защиты от активных помех основан на применении определенных типов поляризации для облучения цели. В системе необходимо предусмотреть по два канала излучения и приема – с горизонтальной и вертикальной поляризацией. Допустим, сигнал активной помехи имеет круговую поляризацию, а цель облучается сигналом с вертикальной поляризацией. Тогда сигнал помехи будет попадать в оба приемных канала, а сигнал от цели – только в канал с вертикальной поляризацией. В таком случае вертикальный канал можно использовать в качестве компенсационного, процедуры по отстройке от помехи аналогичны описанным выше.

3. Алгоритм защиты от активных помех

Структура РЛС морского базирования. Далее рассматривается защита от активных помех в контексте применения ее в активной РЛС с пассивной фазированной антенной решеткой. Общая структура тракта обработки данных представлена на рис. 3.

Данная структура типична для РЛС, базирующейся на подвижном носителе. Предполагается, что процессор сигналов имеет возможность осуществлять электронное сканирование путем изменения фазовых коэффициентов при обработке одного ЗС. На вход прибора вторичной обработки поступают формуляры, содержащие дальность и угловое положение целей в пространстве, а также необработанная радиолокационная информация (в интересах оператора).

Рассматриваемый ниже алгоритм защиты от активных помех функционирует в рамках программного обеспечения прибора вторичной обработки. Зачастую такое программное обеспечение реализовано в виде набора исполняемых модулей, в рамках которых выполняют свою работу параллельные вычислительные потоки (следуя обозначениям рис. 3 – алгоритмы). Исходными данными для алгоритма защиты являются предварительно обработанные данные с выхода процессора сигналов. Основной интерес при этом пред-

ставляют собой формуляры целей, а также связанная с ними информация о величине модулей сигналов и помех в основном и компенсационном канале.

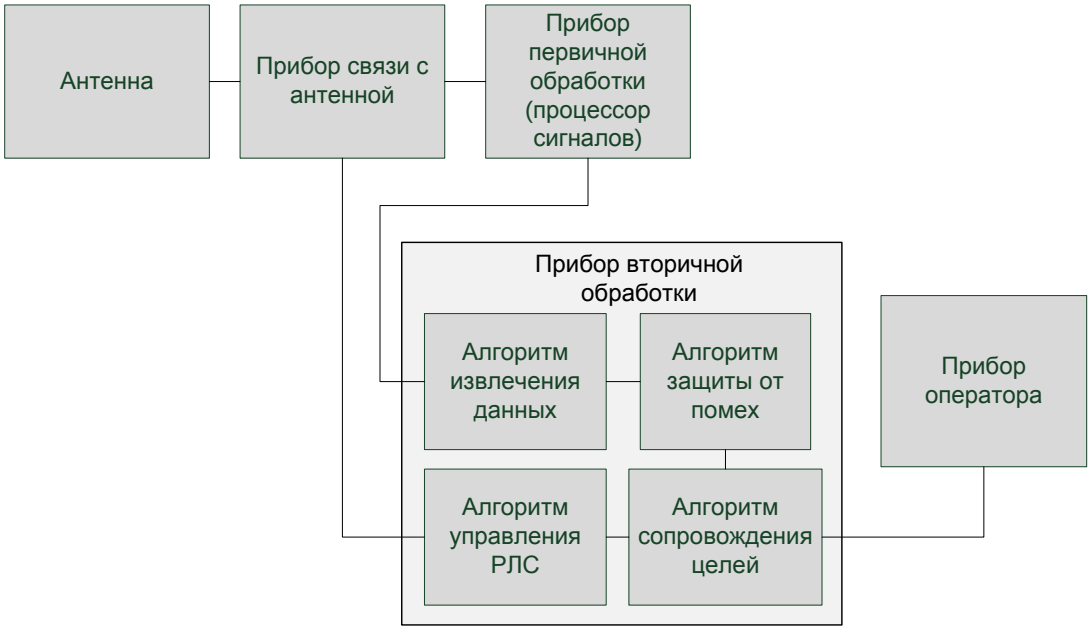

Рис. 3.Структурная схема РЛС

Алгоритм в виде конечного автомата. Алгоритм защиты от активных помех в контексте его применения в системе, рассмотренной выше, можно представить в виде конечного автомата (рис. 4).

Рис. 4. Алгоритм защиты от активных помех

Минимальное время пребывания в каждом состоянии ΔT определяется периодом запуска алгоритма в рамках программного обеспечения прибора вторичной обработки. Условия переходов из одного состояния в другое записаны над стрелками. Состояния конечного автомата рассмотрены ниже.

Проверка наличия помехи - в данном состоянии производится сравнение модуля принятого сигнала (без учета отклика цели) с порогом, зависящим от собственных шумов приемной решетки и принятие решения о наличии или отсутствии активной помехи в области наблюдения РЛС.

Перестройка частоты - в данном состоянии осуществляется перестройка рабочей частоты до тех пор, пока не будет подавлена активная помеха либо не закончатся разрешенные рабочие частоты. Смена частот происходит по заранее установленному «маршруту».

Компенсационные методы - ряд методов на основе определения углового положения активной помехи. Это может быть компенсационный метод, компенсационный метод с изменением направления ГЛ ДН до положения наилучшей компенсации активной помехи, либо поляризационный метод.

Обнаружение активной помехи и оценка ее углового положения. Этап проверки наличия помехи (см. выше) предполагает следующие действия:

1. Осуществляется электронное сканирование в области пространства, где может находиться активная помеха, путем выставления «веера» лучей (одновременно или за несколько излучений) с небольшим шагом по вертикальному и горизонтальному углу (~1º). Определяется направление с максимальным модулем активной помехи Мсм (Мсм, Мкм - модули сигнала и активной помехи соответственно в основном и компенсационном каналах). Важно отметить, что в данном направлении помеха может и отсутствовать.
2. В направлении, определенном на предыдущем этапе, реализуется процедура обнаружения активной помехи. Она заключается в сравнении вычисляемого в процессоре сигналов коэффициента r_{mc}^{*} с нулем, а также проверки условия Мсм > Мкм. Если r_{mc}^{*} отличен от нуля, а условие выполняется, то наличие активной помехи подтверждается, иначе делается вывод, что она находится за пределами веера.
3. При подтверждении наличия АПХ производится уточнение ее углового положения при помощи скользящего среднего.

4. Испытательный стенд

Для отработки алгоритмов защиты от активных помех был собран испытательный стенд (рис. 5), включающий в себя антенный пост, приемную антенную решетку, излучающую антенну, источник сигнала, имитирующий цель, генератор сигнала активной помехи, процессор сигналов и управляющий компьютер с технологической программой, обеспечивающей выдачу необходимых команд. Подобные испытательные стенды находят широкое применение при отладке современных радиолокационных систем ввиду следующих причин:

1. Возможна отладка отдельных приборов и их программного обеспечения при ограниченном составе аппаратуры;

2. Возможна работа с заменой некоторых частей системы программными имитаторами.

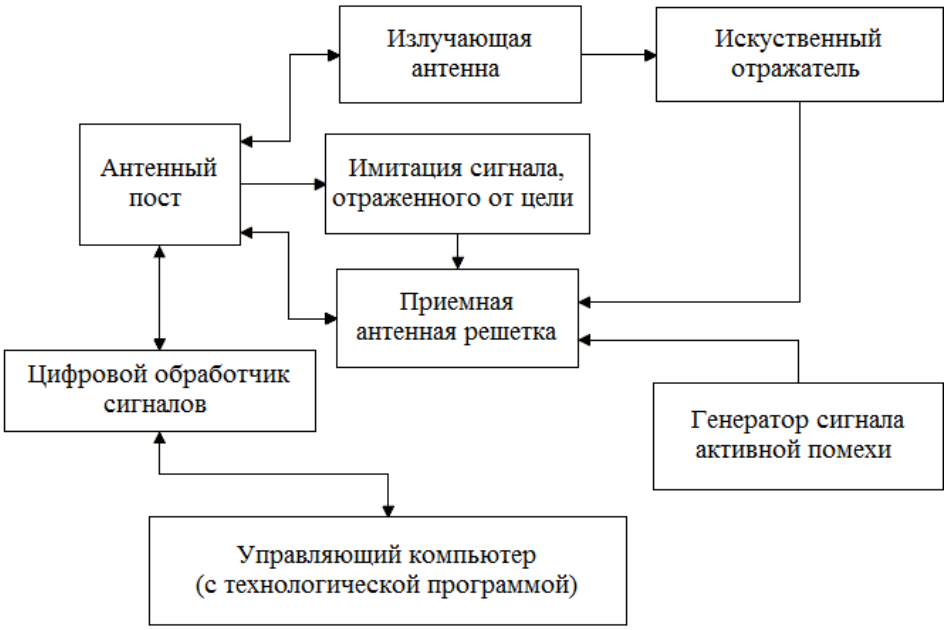

Рис. 5. Структура испытательного стенда.

С помощью данного стенда были проверены компенсационный и поляризационный алгоритмы защиты от активных помех.

Сначала были получены и построены диаграммы направленности приемной антенной решетки по шумовому сигналу. На рис. 6 представлены суммарная (СУММ), компенсационная (КОМП) и разностная по КУ диаграммы направленности. Сканирование осуществлено механическим способом по курсовому углу. На оси абсцисс – номер отсчета, на оси ординат – уровень принятого сигнала в условных единицах напряжения.

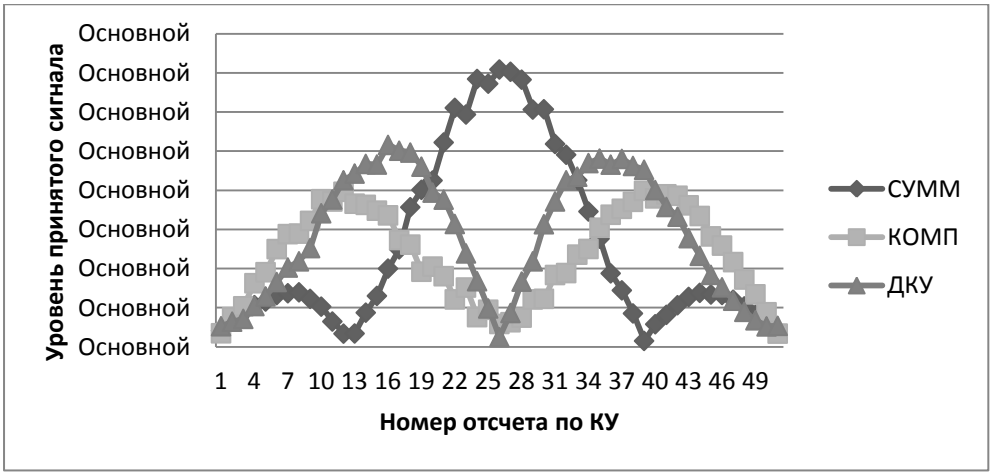

Рис. 6. Результат измерения ДН по шумовому сигналу

В приемной антенной решетке помимо основного канала имеется компенсационный канал. В процессоре сигналов используется алгоритм, описанный в пункте 2.1. Результаты обработки принятого сигнала при выключенном и включенном компенсационном алгоритме защиты от активных помех (первичная обработка, выписки из строба по дальности) приведены на рис. 7. Цель находится в 53-ем элементе дальности.

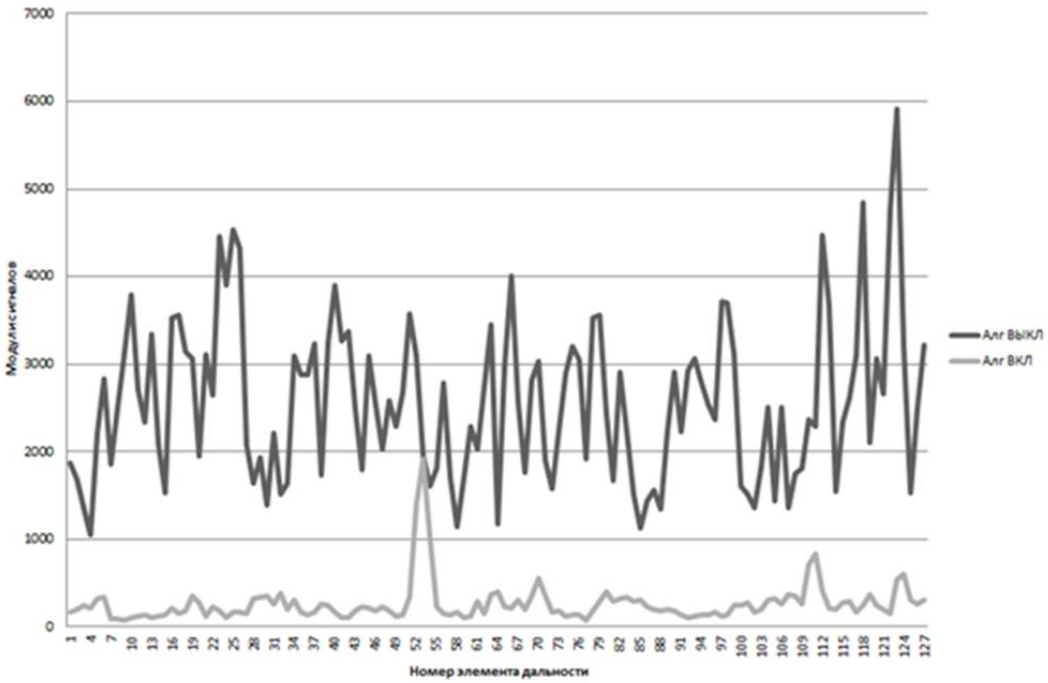

Рис. 7. Результаты использования компенсационного метода

Следующий возможный способ защиты – использование различных типов поляризации. В эксперименте сигнал помехи имел вертикальную поляризацию, а цель облучалась сигналом с горизонтальной поляризацией.

Результаты обработки принятого сигнала при выключенном и включенном поляризационном алгоритме защиты от активных помех (первичная обработка, выписки из строба по дальности) приведены на рис. 8.

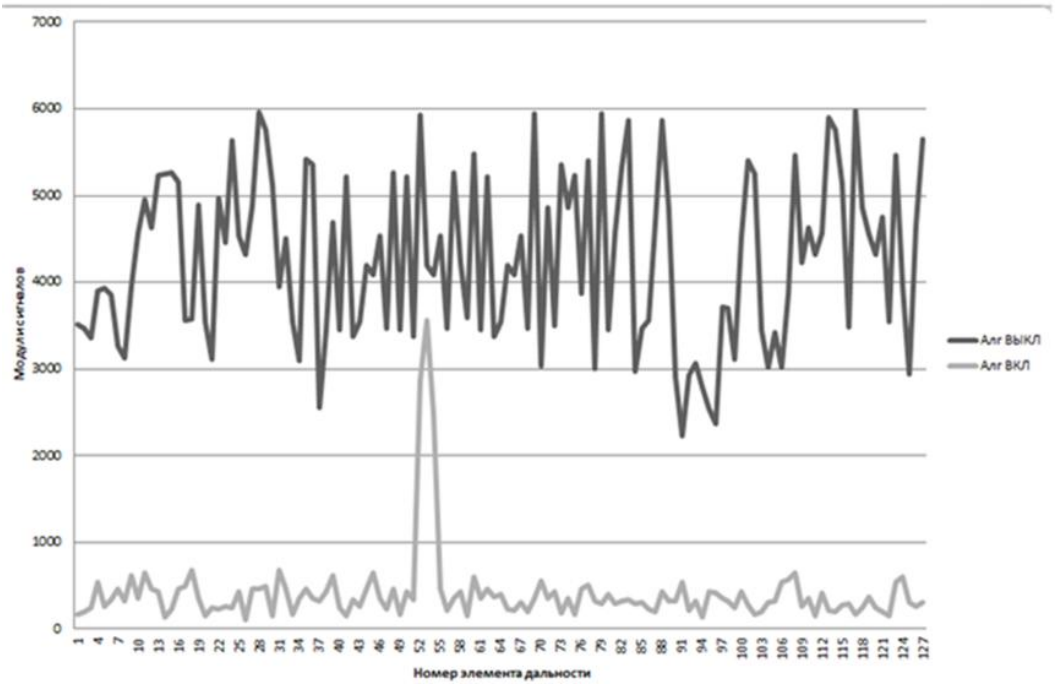

Рис. 8. Результаты применения поляризационного алгоритма защиты.

Заключение

В статье приводится обзор наиболее часто применяемых на практике методов борьбы с активными помехами и указывается на необходимость применения комплексного алгоритма, осуществляющего применение данных методов в зависимости от характера действующих на РЛС активных помех.

Приводится описание разработанного авторами алгоритма защиты от активных помех для РЛС морского базирования, который в настоящее время внедрен в программное обеспечение реальной системы и проходит проверку и отладку.

При разработке и отладке данного алгоритма применялся испытательный стенд, существенно упростивший данный процесс. В статье приводится схема данного стенда и результаты использования различных этапов комплексного алгоритма защиты от помех, полученные с его помощью.

Список литературы

1. Канащенков А.И., Меркулов В.И. Защита радиолокационных систем от помех. – М.: Радиотехника, 2003, – 414с.
2. Ратынский М.В. Адаптация и сверхразрешение в антенных решетках. – М.: Радио и связь, 2003, – 200 с.

3. Смит С. Цифровая обработка сигналов. Практическое руководство для инженеров и научных работников. – М.: Додэка-XXI, 2012, – 720с.
4. Фарина А., Студер Ф. Цифровая обработка радиолокационной информации. Сопровождение целей. – М.: Радио и связь, 1993, – 320с.
5. Ширман Я. Д. Теоретические основы радиолокации. – М.:Советское радио, 1970, - 560 с.