

СРАВНЕНИЕ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ ШИРОКОПОЛОСНЫХ КОРРЕЛЯЦИОННЫХ ПРИЕМНИКОВ ШУМОВЫХ И ЛЧМ ИМПУЛЬСНЫХ РАДАРОВ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ НЕПРЕРЫВНЫХ АКТИВНЫХ ПОМЕХ

К.А. ЛУКИН, В.М. КАНЦЕДАЛ

Приведены результаты анализа помехоустойчивости корреляционного приема последовательностей коротких шумовых и ЛЧМ импульсов с широкими спектрами при воздействии различных непрерывных активных помех. Изучены характер и степень воздействия этих помех на выходные сигналы исследуемых приемников при изменении отношения ширин спектров помехи и сигнала. Показано, что корреляционный приемник шумовых импульсов имеет лучшие показатели помехоустойчивости по сравнению с приемником ЛЧМ сигналов при наличии когерентной монохроматической помехи или ее комбинации с шумовой помехой.

Ключевые слова: взаимно-корреляционная функция, шумовой радар, импульсная радиотехническая система, помехоустойчивость, широкополосный корреляционный приемник, активная непрерывная помеха, шумовые сигналы.

ВВЕДЕНИЕ

Применение коротких шумовых импульсов с широким спектром связано с их уникальными свойствами и появлением новых технических возможностей генерации и обработки таких сигналов. Их использование способствует одновременно выполнению предъявляемых к радиотехническим системам (РТС) противоречивых тактико-технических требований по информативности, помехозащищенности и электромагнитной совместимости [1–9].

Помехоустойчивость характеризуется мерой потери информативности радиосистемы под воздействием помех в условиях ее эксплуатации. Для обеспечения требуемой информативности радиотехнических данных необходимо выполнить ряд требований, которые предъявляются к форме взаимно корреляционной функции (ВКФ) на выходе корреляционных приемников РТС [4, 5, 10]. Применение сигналов с широким спектром, в том числе и шумовых, позволяет получить узкий главный лепесток ВКФ и заметное уменьшение ее интенсивности в области «боковых лепестков» по мере удаления от главного лепестка. Как следствие, повышается разрешающая способность, точность измерения параметров сигнала и уменьшение аномальных ошибок при принятии решений в различных условиях наблюдения. Потенциальные информационные свойства непрерывного шумового сигнала при его приеме на фоне некоррелированных помех и обработке показаны в работе [4]. Избирательные преимущества реализуемой при этом структурной селекции уточнены в [5] в сравнении с ВКФ других видов сигналов в отсутствие помех.

Оценка помехоустойчивости РТС при воздействии активных помех должна начинаться с анализа функционирования их корреляционных приемников (корреляторов) в наиболее трудных помеховых условиях, когда на вход коррелятора поступает смесь сигнала и помех в основном луче диаграммы направленности антенны, в полосе

пропускания приемника и при малых значениях входного отношения сигнал/помеха [9]. При этом помехоустойчивость приемника определяется в предположении его линейности как оценка характера и степени искажений формы взаимно корреляционной функции (ВКФ) принимаемого и опорного сигналов на интервале возможных значений параметра сигнала при воздействии этих помех.

Анализ помехоустойчивости корреляционного приемника, например, в радиолокаторе, является первичным при исследовании устойчивости решения задач обнаружения сигналов, измерения их параметров и т.п. при воздействии помех и получении соответствующих результатов, широко представленных в литературе при использовании других видов сигнала [10,11]. Однако, используемые при этом методики оценки помехоустойчивости корреляционных приемников, их применение и полученные результаты опираются на анализ искажений ВКФ в области высокой корреляции при воздействии активных помех для различных моделей в основном детерминированных сигналов и больших значений входного отношения сигнал/помеха. Влияние же на помехоустойчивость боковых лепестков ВКФ рассматривается при малых значениях входного отношения сигнал/помеха, при которых появляются ложные обнаружения и аномальные ошибки измерений параметров сигнала. Это рассмотрение основано на приближенной теоретической модели поведения боковых лепестков ВКФ при воздействии белого шума и без учета влияния боковых лепестков сигнальной составляющей ВКФ [11]. Ключевым фактором оценки помехоустойчивости корреляционного приемника является определение условий встречного порогового проявления и разделения маскирующего и имитирующего воздействий маскирующей помехи [11, 12, 14].

Расширение полосы пропускания системы приема и обработки сигналов не только

увеличивает мощность внутренних шумов, но также изменяет условия постановки и характер воздействия внешних помех, повышает приоритет структурной селекции сигналов среди других видов селекции в обеспечении помехоустойчивости. Влияние широкой полосы пропускания корреляционного приемника на его помехоустойчивость проявляется в разнообразии видов воздействующих активных помех и увеличении пределов изменения их параметров, возможности их одновременного воздействия в различных сочетаниях, а также в изменении принятых до этого на практике соотношений спектральных характеристик помех и полезного сигнала.

Применение широкополосного шумового импульсного сигнала, стремление к понижению его импульсной мощности и разнообразие воздействующих видов активных помех вносят специфику и значительные сложности в получение достоверной аналитической оценки помехоустойчивости корреляционного приемника. Это обстоятельство и ограниченные возможности натурального эксперимента [9] обуславливают применение численных методов моделирования с уточнением методики оценки помехоустойчивости с учетом отмеченных выше особенностей.

Представленные ниже результаты компьютерного исследования помехоустойчивости таких приемников последовательностей шумовых и ЛЧМ импульсов являются дальнейшим развитием работ [2, 6, 8, 9].

Следует отметить, что выполненный в [12] сравнительный анализ технических характеристик корреляционных приемников шумовых и ЛЧМ сигналов не затрагивает количественных оценок помехоустойчивости этих приемников.

Целью работы является оценка и сравнение помехоустойчивости корреляционных приемников, согласованных с последовательностями коротких ЛЧМ и некоррелированных шумовых импульсов с широкими спектрами, при воздействии интенсивных различных видов непрерывных активных помех.

1. МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Предлагается методика компьютерной оценки помехоустойчивости широкополосных корреляционных приемников, которая предполагает вначале анализ характеристик их входных и выходных сигналов, а также внутренних шумов в отсутствие воздействия внешних активных помех. Затем для каждого вида сигнала осуществляется формирование заданных входных смесей сигнала, внутренних шумов и исследуемых видов помех, вычисление соответствующих оценок ВКФ и расчет статистических характеристик входных и выходных сигналов приемника в условиях воздействия этих помех. Полученные результаты подвергаются анализу с целью выявления типичных особенностей характера и степени изменений ВКФ под воздействием заданных видов

помех, а также сравнения помехоустойчивости исследуемых приемников. Методика позволяет одновременно исследовать поведение основного и боковых выбросов ВКФ при воздействии помех, учитывает вклад в оценку помехоустойчивости сигнальной составляющей ВКФ и применима для оценки помехоустойчивости РТС с различными рабочими диапазонами частот.

Выделение для анализа воздействия на приемник только активных помех предполагает линейность приемника, выполнение условий наблюдения одиночной неподвижной точечной цели, пренебрежения внутренними шумами приемника и искажениями сигнала в среде распространения.

Компьютерная модель (рис. 1) включает имитаторы сигнально-помеховой обстановки на входе корреляторов, алгоритмы функционирования многоканального коррелятора, статистической оценки характеристик его входных и выходных реализаций и показателей помехоустойчивости. Блок задания ИД отражает возможности модели при решении частных задач по формированию требуемых входных и опорных сигналов корреляционного приемника с учетом внутренних шумов и на основе сигналов имитаторов сигнально-помеховой обстановки. Данная методика базируется на методах спектрально-корреляционного анализа эргодических стационарных случайных сигналов. В основном она совпадает с методикой наших экспериментальных исследований, изложенной в [9], но имеет, помимо использования компьютерной модели, ряд других отличий, которые описаны ниже.

Алгоритм корреляционной обработки отличается от рассматриваемого в [9] алгоритма возможностью включения для обработки последовательности ЛЧМ импульсов и описывается выражением

$$B(\tau) = \left| \sum_{m=1}^M \int_0^T [s_{\text{эхо}}(t - mT - \tau) + N_j(t) + n_{\text{эхо}}(t)] \times \right. \quad (1) \\ \left. \times [s_{\text{оп}}(t - mT - \tau_i) + n_{\text{оп}}(t)] dt / MT_{\text{и}} \right|$$

Здесь $B(\tau)$ – оценка модуля ВКФ; $s_{\text{эхо}}(t)$ – принимаемые шумовые (ШИ) или ЛЧМ импульсы (ЛЧМИ); T – период повторения зондирующих импульсов; m – номер периода; τ – время распространения зондирующего сигнала до цели и обратно; τ_i – дискретное время запаздывания опорного импульса из интервала $[\tau_{\text{min}}, \tau_{\text{max}}]$, устанавливаемое с помощью коррелятора; $s_{\text{оп}}(t)$ – опорный шумовой импульс; $n_{\text{эхо}}(t)$ и $n_{\text{оп}}(t)$ – внутренние шумы приемного и опорного каналов корреляционного приемника с прямоугольными амплитудно-частотными характеристиками; $T_{\text{и}}$ – длительность импульса; M – количество импульсов в пачке; $N_j(t)$ – вид задаваемой непрерывной активной помехи $j = 1, 2, 3, 4, 5$ – ее условный номер.

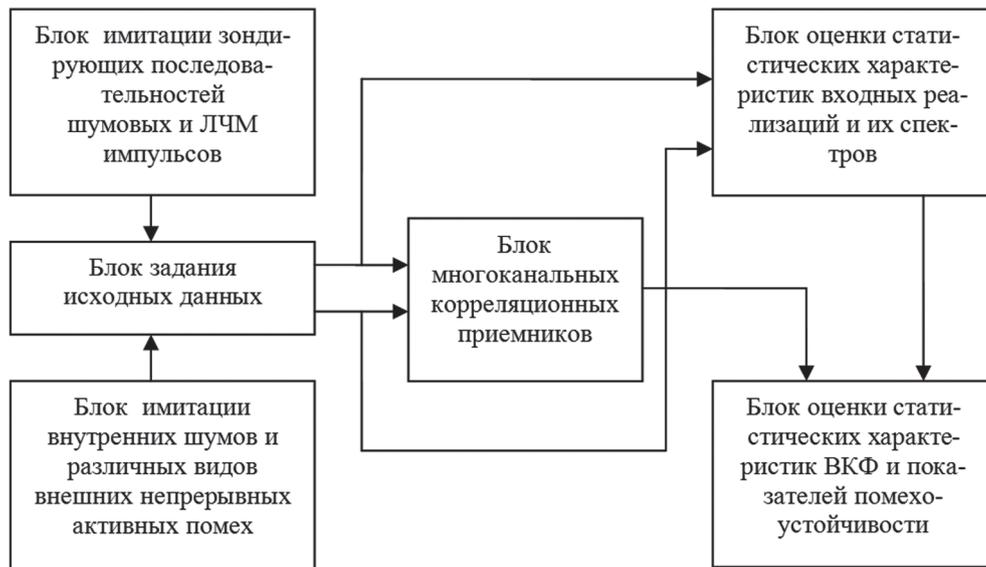


Рис. 1. Блок-схема компьютерной модели оценки помехоустойчивости широкополосных корреляционных приемников последовательностей шумовых и ЛЧМ импульсов в условиях воздействия непрерывных активных помех

Данный алгоритм соответствует многоканальному коррелятору с квадратурной обработкой сигналов и когерентным межпериодным накоплением и является оптимальным для случая приема последовательности некоррелированных импульсов, отраженных неподвижной точечной целью, на фоне гауссовой помехи с равномерным спектром в полосе пропускания приемника.

Параметры последовательностей одинаковой мощности ШИ с прямоугольным спектром и ЛЧМИ представлены в табл. 1 на промежуточной частоте. Число импульсов последовательностей M изменялось от 1 до 850.

Перечень имитируемых на входе корреляторов видов непрерывных помех расширен в сравнении с [9]: N_1 – шумовая заградительная по частоте помеха с равномерным спектром мощности и параметрами N_1 : ($\Delta f_{N_1} = 236$ МГц, $\Delta f_{N_1} / \Delta f_c = 1$); N_2 : ($\Delta f_{N_2} = 63$ МГц, $\Delta f_{N_2} / \Delta f_c = 0,27$) – шумовая помеха с сосредоточенным широким равномерным спектром, N_3 : ($\Delta f_{N_3} = 1$ МГц, $\Delta f_{N_3} / \Delta f_c = 0,004$) – шумовая помеха с сосредоточенным узким спектром; N_4 : ($\Delta f_{N_4} = 0$ МГц, $\Delta f_{N_4} / \Delta f_c = 0$) – монохроматическая помеха; N_5 : ($\Delta f_{N_5} = 87$ МГц, $\Delta f_{N_5} / \Delta f_c = 0,37$) – комбинированная непрерывная помеха – смесь, состоящая из равномошных и разнесенных по частоте помех N_4 ($f_{0п} = 85$ МГц) и N_2 ($f_{0п} = 140$ МГц). Параметры помех $N_1 - N_4$ средняя частота спектра $f_{0п}$, ширина спектра Δf_{N_j} ; отношение ширин

спектров помехи и сигнала $\Delta f_{N_j} / \Delta f_c$ представлены на промежуточной частоте $f_{0п} = 118$ МГц, совпадающей со средней частотой помех. При моделировании одиночных помех выполнялось условие $f_{0с(ши)} - f_{0N_j} = 0$ для выделения влияния различия $\Delta f_{N_j} / \Delta f_c$ и обеспечения максимальной эффективности их воздействия [11, 14]. В эксперименте параметры последовательности зондирующих шумовых импульсов фиксировались, а вид и параметры помех изменялись.

На рис. 2 представлены оценки ВКФ на выходах исследуемых приемников на периоде повторения импульсов в условиях без помех. Время запаздывания эхо-импульса по положению максимума ВКФ составляет 488 нс, что соответствует дальности точечной цели 72,3 м. Временной интервал $[\tau_{min}, \tau_{max}]$, на котором исследуется поведение ВКФ, показанный на рис. 1б, условно разделен на 4-е смежные области, являющиеся характерными. Это области: 1) высокой корреляции $[\tau_{и}, \tau_{и} + \Delta\tau / 2]$, где $\tau_{и}$ – время запаздывания от цели, $\Delta\tau = 1 / \Delta f_c$ – ширина интервала корреляции, 2) ближних «боковых лепестков» ВКФ (от границы интервала высокой корреляции до времени запаздывания, равного 10 интервалам корреляции); 3) дальних «боковых лепестков» ВКФ (от дальней границы области 2 до конца области существования сигнальной составляющей ВКФ); 4) выбросов только помеховой составляющей ВКФ (от границы области существования сигнальной

Таблица 1

Вид и параметры зондирующего сигнала

Вид внутримпульсной модуляции сигнала	Средняя частота спектра $f_{0с}$, МГц	Ширина спектра Δf_c , МГц	Длительность импульса $T_{и}$, нс	Период повторения импульсов $T_{повт}$, нс	База импульса $\Delta f_A T_{и}$
Шумовая или ЛЧМ	118	236	200	2250	~50

составляющей до границы интервала $[\tau_{\min}, \tau_{\max}]$. Значения τ_{\min} и τ_{\max} в эксперименте выбираются на периоде $T_{\text{повт}}$ так, чтобы обеспечить вычисление и анализ оценки ВКФ, обусловленной принятой смесью эхоимпульса и помехой.

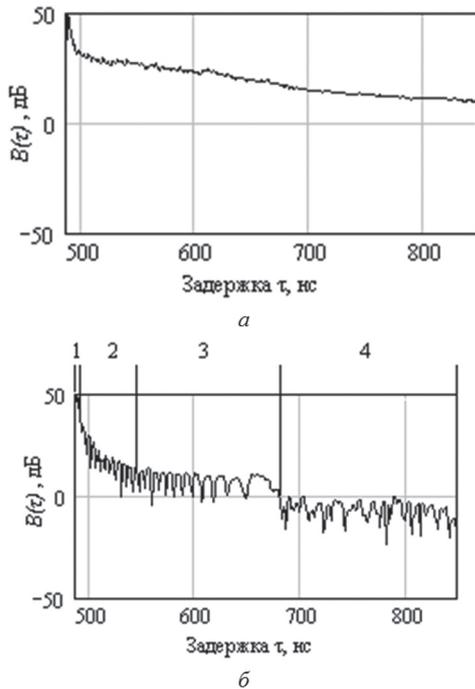


Рис. 2. Оценки взаимной корреляционной функции на выходах корреляторов с ШИ (а) и ЛЧМИ (б), усредненные на $M = 125$ периодах накопления в отсутствие активных помех для значений сигнал–шум 21 дБ

Для оценки характера и степени изменения формы ВКФ в условиях воздействия заданных видов помех при наблюдении точечной неподвижной цели используется следующая совокупность показателей помехоустойчивости корреляционного приемника [8, 9].

Показатели для области основного лепестка ВКФ:

- $(C/P)_{\text{вых}}$ — оценка выходного отношения сигнал/помеха как квадрат отношения усредненного максимального значения \bar{B}_{max} (область 1) к среднеквадратичному уровню $СКУ_{\text{пом}}$ выбросов помеховой составляющей ВКФ (область 4);

- $K_{\text{под}}$ — коэффициент подавления помехи, равный отношению $(C/P)_{\text{вых}}$ к входному отношению $(C/P)_{\text{вх}}$ при неизменном зондирующем сигнале (без учета множителя $1/\Delta f_c T_i$);

- $\Delta(\tau)$ — ширина интервала корреляции по уровню 0,7 относительно \bar{B}_{max} .

Показатели для областей вне основного лепестка ВКФ:

- $\bar{B}_{\text{max}}/\bar{B}_{\text{бли max}}$ — отношение усредненных максимальных значений основного лепестка и ближних боковых выбросов ВКФ (область 2);

- $\bar{B}_{\text{max}}/СКУ_{\text{бок}}$ — отношение усредненного максимального значения основного лепестка к среднеквадратичному уровню дальних боковых

выбросов ВКФ в области ее сигнальной составляющей (область 3);

- $\bar{B}_{\text{max}}/СКУ_{\text{пом}}$ — отношение усредненного максимального значения основного лепестка к среднеквадратичному уровню выбросов помеховой составляющей ВКФ (область 4).

На практике нормальное функционирование корреляционных приемников допускает наличие только маскирующего эффекта воздействия активных помех, когда боковые выбросы ВКФ создают только фон для выделения ее ослабленного основного лепестка. Поэтому ключевым фактором анализа помехоустойчивости корреляционного приемника является определение условий встречного порогового проявления и разделения маскирующего и имитирующего воздействий маскирующих помех.

Наиболее опасной помехой считается та помеха, применение которой ведет к максимальному изменению полезной информации на выходе корреляционного приемника.

Для характеристики устойчивости корреляционного приема по отношению к имитирующему эффекту воздействия заданной маскирующей помехи используется защитное значение входного отношения сигнал/помеха $(C/P)_{\text{вх пор}}$, при котором начинается пороговое проявление имитирующего воздействия помехи на ВКФ. В [9, 11] это условие характеризуется понятием порога помехоустойчивости корреляционного приемника. Методика позволяет исследовать зависимости порогового входного отношения сигнал/помеха от вида помехи, соотношений ее параметров с параметрами полезного сигнала при известном количестве периодов накопления M . Сравнение помехоустойчивости рассматриваемых корреляционных приемников проводится на основе сравнения характеров и представленных выше показателей изменений ВКФ при воздействии заданного вида помехи с известными соотношениями ее параметров с параметрами сигналов, а также пороговых значений $(C/P)_{\text{вх пор}}$. Отметим также, что в компьютерной модели сняты ограничения, вносимые аппаратно-программной реализацией корреляционных приемников [9], что позволило существенно повысить интенсивность помех и уточнить показатели помехоустойчивости исследуемых приемников.

2. ХАРАКТЕР ИЗМЕНЕНИЙ ВКФ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ НЕПРЕРЫВНЫХ ПОМЕХ

При анализе воздействий заградительной шумовой помехи N_1 с отношением $\Delta f_{N_1}/\Delta f_c = 1$ на характер изменений ВКФ должно быть принято во внимание, что:

- эта помеха обладает, следуя информационному критерию [14], наибольшей энтропией (неопределенностью) из рассматриваемых видов помех, является наиболее универсальной и опасной с точки зрения радиоэлектронного подавления

(РЭП), поскольку обеспечивает принципиальную возможность маскировки полезных сигналов любой структуры [14];

– процедура обработки сигнала (1) при этом сохраняет оптимальность (с точки зрения обеспечения максимума выходного отношения сигнал/помеха [10]) и обеспечивает наилучшее ее подавление;

– показатели качества решаемых информационных задач в РТС с ШИ и ЛЧМИ, полученные известными аналитическими способами на основе анализа ВКФ в предположении белого шума на входе приемника [10], могут быть уточнены, если применять описанную выше методику исследования для этих условий наблюдения, в том числе с учетом боковых лепестков сигнальной составляющей ВКФ и при малых входных отношениях сигнал–помеха.

При ее воздействии, по мере снижения $(C/P)_{вх}$, в области боковых выбросов ВКФ на $[\tau_{min}, \tau_{max}]$ проявляются маскирующее или/и имитирующее ее воздействие, а искажение основного лепестка ВКФ перерастают в его подавление на фоне такого воздействия [9, 10].

В табл. 2 выборочно представлены изменения оценок $B(\tau)$ на интервале $[\tau_{min}, \tau_{max}]$ (столбцы 1 и 3) и в области существования ее сигнальной составляющей (столбец 2) для приемников ШИ и ЛЧМИ при воздействии помехи N_1 , отношении $(C/P)_{вх} = -10$ дБ и указанных количествах накапливаемых импульсов M .

Основные лепестки ВКФ для двух видов сигналов устойчиво наблюдались с сохранением ширины интервала высокой корреляции до значений $(C/P)_{вх} \sim (-10...15)$ дБ. Изменения формы $B(\tau)$ в большей степени касались ее боковых выбросов в областях 2 – 4 интервала $[\tau_{min}, \tau_{max}]$ и представляли собой их последовательности, сравнимых по ширине с основным лепестком и со случайными амплитудами, зависящими от $(C/P)_{вх}$. Так, для значений $(C/P)_{вх} > -10$ дБ наблюдалось маскирующее воздействие данной помехи. Изменения $B(\tau)$ при $(C/P)_{вх} < -10$ дБ

характеризуют начало проявления имитирующего воздействия помехи N_1 .

Первоначально возникает область имитирующего воздействия, обусловленная близкими боковыми выбросами $B(\tau)$. Дальнейшее снижение $(C/P)_{вх}$ при приеме последовательности ШИ до значения $(-19$ дБ) и последовательности ЛЧМИ – до $(-22$ дБ) вызывает при $M = 5$ заметное снижение максимального значения и уширение основного лепестка $B(\tau)$, а также пороговое увеличение имитирующих выбросов в области 4, превышающее их число и уровни в областях 2 и 3. Полное разрушение основного лепестка ВКФ достигается при значении $(C/P)_{вх} \sim 30$ дБ. Характер поведения боковых выбросов ВКФ существенно зависит от количества периодов накопления M , что иллюстрируется сравнением графиков столбцов 1 и 3 табл. 2. При этом следует отметить близость графиков столбца 3 для приемника ШИ и заметные отличия графиков для приемника ЛЧМИ при воздействии и в отсутствии помех, а также сближение графиков для приемников ШИ и ЛЧМИ при воздействии помехи с сохранением большей изрезанности $B(\tau)$ для приемника ЛЧМИ.

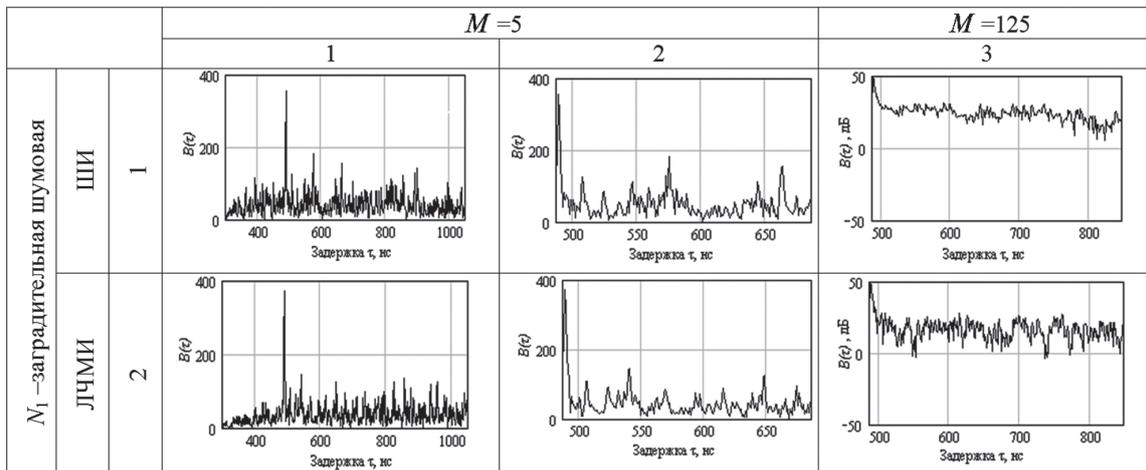
Рассмотрение воздействий помех $N_j(t)$, $j = 2-5$ с соотношениями $1 > \Delta f_{N_j} / \Delta f_c \geq 0$ на характер изменений ВКФ должно учитывать, что:

– эти помехи обладают в соответствии с информационным критерием меньшей энтропией, пропорционально ширине спектра помехи, и являются соответственно менее опасными, чем N_1 с точки зрения РЭП [14];

– процедура обработки сигнала (1) теряет оптимальность как вследствие неравномерности спектров мощности помех в полосе пропускания приемника, так и не всегда их гауссовой плотности распределения [10], что не обеспечивает эффективного их подавления и приводит к искажению ВКФ. При этом в выделенных для анализа ВКФ областях 1–4 интервала $[\tau_{min}, \tau_{max}]$ (рис. 1) наблюдается их разнообразное воздействие на ВКФ в зависимости от видов сигналов и помех, соотношений их параметров;

Таблица 2

Оценки ВКФ при воздействии непрерывной помехи, заградительной по частоте



– анализ изменений оценок ВКФ для таких условий наблюдения, выборочно представленных в табл. 3, и плотностей вероятности $p(B)$ распределения значений боковых выбросов $B(\tau)$ на рис. 2 позволяет выявить особенности воздействий рассматриваемых помех, в том числе при малых входных отношениях сигнал/помеха.

В табл. 3 представлены изменения характерных оценок $B(\tau)$ на интервале $[\tau_{\min}, \tau_{\max}]$ (столбцы 1 и 3) и в области существования ее сигнальной составляющей (столбец 2) для приемников ШИ и ЛЧМИ при воздействии помех $N_2 - N_5$, отношении $(C/\Pi)_{\text{вх}} = -10$ дБ (и -19 дБ, строка 3), указанных количествах накапливаемых импульсов M .

Изменение формы основных лепестков $B(\tau)$ для двух видов сигналов при воздействии помех $N_2 - N_5$ в основном связано с уменьшением их амплитуд при снижении $(C/\Pi)_{\text{вх}}$ и практически не зависит от видов сигналов, спектральных различий помех между собой, а также с сигналами. Можно отметить зависимость максимумов ВКФ приемников ШИ и ЛЧМИ от пьедесталов, создаваемых помеховыми составляющими ВКФ, а также несколько большие значения максимумов основных лепестков ВКФ при использовании последовательностей ЛЧМИ, воздействии помех N_2, N_3, N_5 и $M = 5$.

Изменение формы боковых выбросов $B(\tau)$ в случае воздействия помех $N_2 - N_5$ может быть представлено изменением пьедестала в виде последовательности лепестков и шумовой дорожки вдоль этого пьедестала.

Параметры такого представления — число, уровни и ширина лепестков пьедестала, а также отклонение выбросов шумовой дорожки от пьедестала — зависят от видов сигнала и помехи, сочетания значений $(\Delta f_{Nj \max} - \Delta f_{Nj \text{mix}}) / \Delta f_c$, $(C/\Pi)_{\text{вх}}$ и M . Так, ширина лепестков пьедестала для заданных видов сигнала и при фиксированном M

изменяется по мере уменьшения $(C/\Pi)_{\text{вх}}$ обратно пропорционально ширине спектра помехи $(\Delta f_{Nj \max} - \Delta f_{Nj \text{mix}})$ не только в обл. 4, но и в областях 3 и 2. Последовательность лепестков пьедестала с шумовой дорожкой при $(C/\Pi)_{\text{вх}} > 1$ определяет маскирующее, а при $(C/\Pi)_{\text{вх}} \ll 1$ — имитирующее воздействие помехи. Пьедестал, обусловленный помеховой составляющей ВКФ, способствует локальному проявлению имитирующего воздействия вблизи максимумов лепестков пьедестала на $[\tau_{\min}, \tau_{\max}]$, в отличие от имитирующего эффекта помехи N_1 на всем этом интервале. То есть, воздействие помех по мере уменьшения отношения $\Delta f_{Nj} / \Delta f_c$ может приобретать комбинированный характер, предполагающий наличие одновременно на интервале $[\tau_{\min}, \tau_{\max}]$ участков с маскирующим и имитирующим воздействиями.

Более детально особенности поведения боковых выбросов каждой наблюдаемой оценки ВКФ при обработке последовательностей импульсов раскрываются при анализе плотностей вероятности $B(\tau)$ распределения значений боковых выбросов ВКФ на рис. 3. Приведенные в табл. 3 и на рис. 3 характеристики для широкополосных корреляционных приемников ШИ и ЛЧМИ наглядно иллюстрируют разнообразие и особенности характеров воздействия на их выходные сигналы непрерывных активных помех с разными отношениями $\Delta f_{Nj} / \Delta f_c < 1$ в зависимости от видов сигналов, помех и соотношения их параметров.

Маскирующее воздействие сосредоточенной шумовой помехи N_2 ($\Delta f_{N2} / \Delta f_c = 0,27$) представлено строками 1, 2 табл. 3, которые отличаются от помехи N_4 (табл. 3), воздействия помехи N_1 для областей 2 – 4 шириной лепестков пьедестала. Их ширина несколько больше ширины основного выброса $B(\tau)$. При $M = 125$ характер изменений ВКФ практически не зависит от вида сигнала.

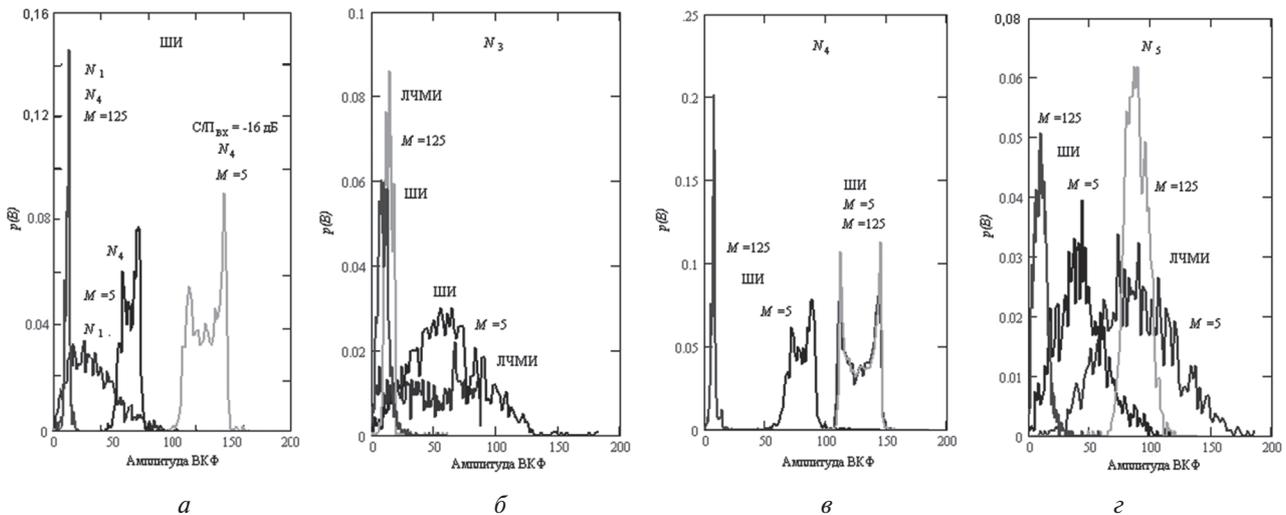


Рис. 3. Плотности вероятности $p(B)$ распределения значений боковых выбросов $B(\tau)$ для корреляционных приемников ШИ и ЛЧМИ при воздействии помех: а – N_1 – заградительной шумовой и N_4 – монохроматической; б – N_3 – узкополосной шумовой; в – N_4 – монохроматической; з – N_5 – комбинированной при отношениях $(C/\Pi)_{\text{вх}} = -10$ дБ и -16 дБ (а), $M = 5$ и $M = 125$

Таблица 3

Оценки ВКФ при воздействии различных видов непрерывных помех

			$M=5$		$M=125$
			1	2	3
N_2 — сосредоточенная шумовая	ШИ	1			
	ЛЧМИ	2			
N_3 — узкополосная шумовая	ШИ	3			
	ЛЧМИ	4			
N_4 — монохроматическая	ШИ	5			
	ЛЧМИ	6			
N_5 — комбинированная	ШИ	7			
	ЛЧМИ	8			

Воздействие узкополосной шумовой помехи N_3 ($\Delta f_{N_3} / \Delta f_c = 0,004$) отличается тем (табл. 3; строки 3, 4), что изменения «боковых лепестков» ВКФ характеризуется комбинированным маскирующим и имитирующим ее воздействием с различными пьедесталами для приемников ШИ и ЛЧМИ. Здесь приведены реализации $B(\tau)$ при приеме ШИ, соответствующие $(C/P)_{вх} = -19$ дБ, при котором имитирующее воздействие имеет место в окрестности максимумов пьедестала.

Проявление имитирующего воздействия в этом случае менее эффективно, чем для помехи N_1 , но при этом усложняется задание минимального возможного порога обнаружения. Особенность приемника ШИ (рис. 3б; N_3 при $(C/P)_{вх} = -10$ дБ) состоит в более сильном ослаблении помеховой составляющей ВКФ при увеличении M .

При воздействии монохроматической строки 5, б) равномерные пьедесталы формируются на всем интервале $[\tau_{min}, \tau_{max}]$ с шумовыми

дорожками, которые характеризуют маскирующее воздействие помехи. Уменьшение $(C/P)_{вх}$ до -16 дБ (рис. 3а) для N_4 повышает пьедестали и уширяет шумовую дорожку с ростом ближних «боковых лепестков», превышающих уровень шумовой дорожки. Увеличение количества периодов накопления M от 5 до 125 при фиксированном $(C/P)_{вх}$ характеризуется существенным улучшением формы боковых выбросов ВКФ приемника ШИ (табл. 3: строка 5; рис. 3 а и в) и ослаблением маскирующего воздействия. ВКФ для приемника ЛЧМИ имеет в этом случае более высокий пьедестал и более широкую шумовую дорожку и не зависит от изменения M (табл. 4, строка 6; рис. 3в). Пользуясь $p(B)$ на рис. 3в (для значений $(C/P)_{вх} = -10$ дБ), были рассчитаны приближенные уровни пьедесталов как математическое ожидание (МО) и среднеквадратическое отклонение (СКО) шумовых дорожек от уровня пьедесталов. Так, для приемника ШИ они составили: МО = 79,7 и СКО = 9,7 при $M = 5$; МО = 7,4 и СКО = 3,2 при $M = 125$. В тех же условиях для приемника ЛЧМИ эти параметры, равные МО = 128,7 и СКО = 12,2, не зависят от M .

Маскирующее воздействие комбинированной помехи $N_5 (f_{0N_5} - f_{0c}) = 10$ МГц, $\Delta f_{N_5} / \Delta f_c = 0,37$) на ВКФ (табл. 3, строки 7, 8) имеет сопоставимый характер воздействия для малых значений M и существенное различие при больших M . При этом основной вклад в изменение $B(\tau)$ для приемника ШИ дает шумовая помеха N_3 при $M = 125$, а для приемника ЛЧМИ такое изменение определяется вкладом монохроматической помехи N_4 при $M = 5$ (рис. 3з).

Таким образом, выбирая вид и параметры $((C/P)_{вх}, f_{0c} - f_{0N_j}, \Delta f_{N_j} / \Delta f_c)$ для непрерывных активных помех с $\Delta f_{N_j} / \Delta f_c < 1$, можно в случае РЭП управлять характером поведения боковых выбросов $B(\tau)$ на интервале $[\tau_{min}, \tau_{max}]$, создавая вопреки информационному прогнозу [14] сложную и динамическую (опасную) помеховую обстановку на входе исследуемых широкополосных корреляционных приемников, что требует оперативного анализа.

Проведенный анализ характеров изменений ВКФ при воздействии рассматриваемых видов помех подтвердил необходимость для их количественной оценки применения приведенной в методике исследования совокупности показателей помехоустойчивости.

Следует отметить также подобие результатов анализа изменений ВКФ на выходе приемника шумовых импульсов, полученных в настоящей работе и в [9]. В то же время, приведенные в таблицах 2 и 3 оценки ВКФ получены для отношения $(C/P)_{вх} = -10$ дБ, которое близко к пороговым отношениям $(C/P)_{вх пор}$ в [9] и указывает на наличие аппаратно-программных ограничений и потерь в экспериментальной шумовой импульсной РЛС. Целесообразно использовать оценки

плотностей вероятности $p(B)$ не только для интегрального учета поведения боковых выбросов $B(\tau)$ в целом на интервале $[\tau_{min}, \tau_{max}]$, но и для отдельного их анализа в обл. 2 – 4. Плотности вероятности $p(B)$, рассчитанные по оценкам $B(\tau)$, могут служить информативными и устойчивыми классификационными признаками видов воздействующих помех; для более точного задания порогов обнаружения или их текущего контроля в обл. 2 – 4, а также оценки вероятности ложного обнаружения и пропуска целей в заданном интервале наблюдения по времени запаздывания эхо-импульсов, применительно к конкретным помеховым условиям на входе корреляционных приемников последовательностей шумовых и ЛЧМ импульсов. Следует также отметить, что оценки плотностей вероятности $p(B)$ не всегда являются гауссовыми и это затрудняет применение известных [10] методик оценки показателей формы основного лепестка ВКФ для сильных сигналов и уровня ее боковых выбросов при малых значениях $(C/P)_{вх}$.

3. ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ

Зависимости показателей помехоустойчивости исследуемых приемников ШИ и ЛЧМИ для области высокой корреляции ВКФ $B(\tau)$ от вида и параметров сигналов и помех $N_1 - N_5$, $(C/P)_{вх}$ при $M = 125$ представлены на рис. 4, а на рис. 5 проиллюстрировано влияние усреднения ($M = 125$ и $M = 5$) для тех же условий.

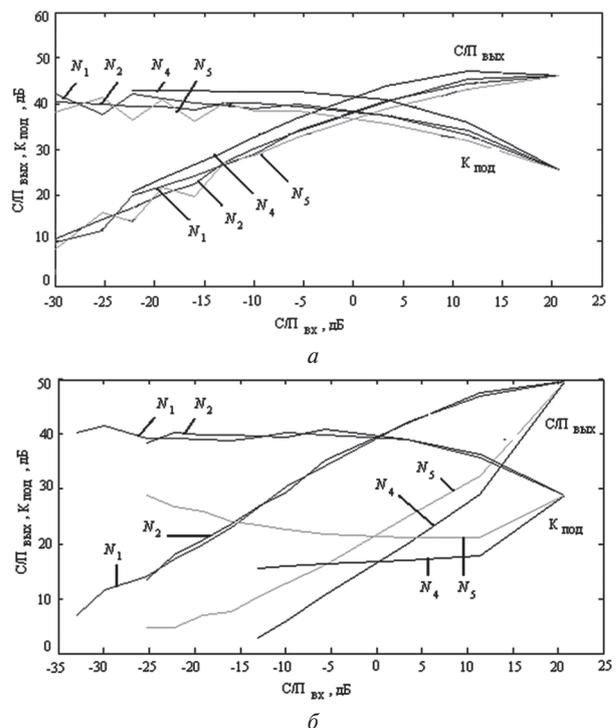


Рис. 4. Зависимости показателей помехоустойчивости корреляционных приемников шумовых (рис. 4а) и ЛЧМ (рис. 4б) импульсов в области основного лепестка ВКФ от $(C/P)_{вх}$ при $M = 125$ и воздействии рассматриваемых видов непрерывных импульсных помех $N_1 - N_5$

Изменения показателей помехоустойчивости при воздействии помех N_1, N_2, N_4, N_5 на приемник ШИ (рис. 4а) и шумовых помех N_1 и N_2 на приемник ЛЧМИ (рис. 4б) показали, что основные лепестки ВКФ для двух рассматриваемых видов сигналов имеют области устойчивости основного лепестка ВКФ при уменьшении $(C/P)_{вх}$ до значений $\sim (0 - 5)$ дБ.

При дальнейшем уменьшении $(C/P)_{вх}$ наблюдается практически линейное уменьшение показателей $(C/P)_{вых}$ с сохранением формы основных лепестков и стабилизация поведения коэффициентов подавления помехи $K_{под}$ независимо от указанных видов помех.

При этом соответствующее увеличение количества периодов накопления с $M = 5$ до $M = 125$ улучшает отношение $(C/P)_{вых}$ для семейства кривых, смещая его вверх и влево примерно на 15 дБ (рис. 5) независимо от их спектральных различий. Подавление основных лепестков в этом случае происходит при значениях $(C/P)_{вх}$ около -35 дБ. Значения $K_{под}$ для крайних установившихся кривых коэффициентов подавления отличаются на $K_{под}() - K_{под}() \approx 5$ дБ.

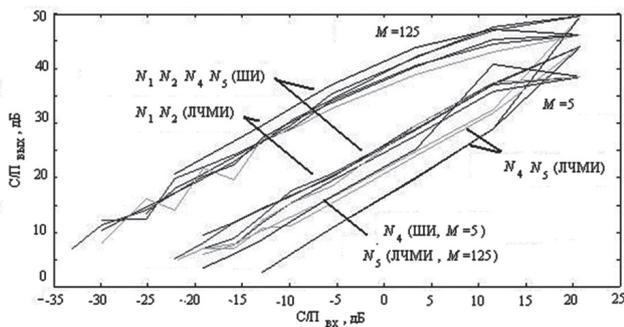


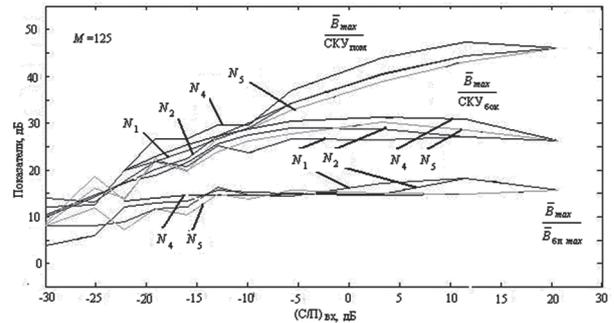
Рис. 5. Зависимости выходного отношения сигнал/помеха корреляционных приемников шумовых и ЛЧМ импульсов от $(C/P)_{вх}$ при $M = 5$, $M = 125$ и воздействии рассматриваемых видов непрерывных импульсных помех $N_1 - N_5$

В то же время, на рис. 4б наблюдаются существенные отличия в поведении показателей $(C/P)_{вх}$ и $K_{под}$ при воздействии одиночной монохроматической помехи N_4 или ее комбинации с шумовой помехой $N_2 - N_5$ на приемник ЛЧМИ. В этом случае происходит резкое ослабление $(C/P)_{вых}$ при уменьшении $(C/P)_{вх}$ ниже 12 дБ, причем при $(C/P)_{вх}$ дБ разность между $(C/P)_{вых}$ для помех N_1, N_2 и $(C/P)_{вых}$ для N_4 составляет приблизительно 20 дБ, а для $N_5 - 15$ дБ. Соответствующие значения $K_{под}(N_5)$ и $K_{под}(N_4)$ отличаются приблизительно на 20 дБ и 25 дБ. Кривые $(C/P)_{вых}$ для значений $(C/P)_{вх} < -12$ дБ при воздействии помех N_5 и N_4 разнесены на 5 дБ. Подавление основных лепестков $B(\tau)$ достигается при значениях $(C/P)_{вх}$ около -15 дБ и -25 дБ, соответственно. Поведение $(C/P)_{вых}$ в этом случае не зависит от M (рис. 5).

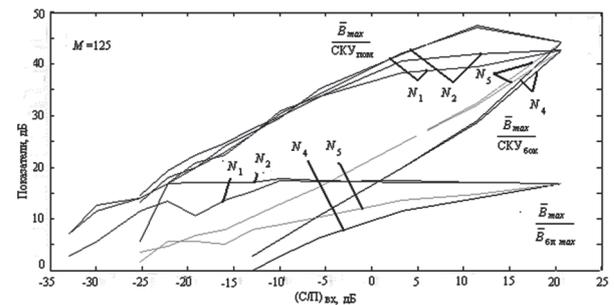
Зависимости показателей помехоустойчивости для области боковых выбросов ВКФ,

представленные на рис. 6, характеризуют, совместно с графиками табл. 3 и рис. 3, различное поведение боковых выбросов $B(\tau)$ в областях 2 - 4 в условиях воздействия помех N_1, N_2, N_4, N_5 с учетом их спектральных различий.

Области устойчивости $\bar{B}_{max} / \bar{B}_{бок max}, \bar{B}_{max} / SKU_{бок}$ с их малыми изменениями (рис. 6а, кривые для обл. 2 и 3) и заметное уменьшение $\bar{B}_{max} / SKU_{пом}$ (кривая для обл. 4) соответствуют маскирующему воздействию этих помех на приемник ШИ при уменьшении $(C/P)_{вх}$ до -10 дБ (при $M = 125$), а помех N_1, N_2 - на приемник ЛЧМИ (рис. 6б) при уменьшении $(C/P)_{вх}$ до 0 дБ.



а



б

Рис. 6. Зависимости показателей помехоустойчивости корреляционных приемников шумовых (рис. 6а) и ЛЧМ (рис. 6б) импульсов, характеризующих боковые выбросы ВКФ в области: 2 - ближних, 3 - дальних выбросов и 4 - выбросов ее помеховой составляющей от $(C/P)_{вх}$ при $M = 125$ и воздействии рассматриваемых видов непрерывных помех $N_1 - N_5$

На кривых $\bar{B}_{max} / SKU_{бок}$ от $(C/P)_{вх}$ можно выделить две характерные точки. Первая определяется окончанием пологого участка их изменения и характеризует начало проявления имитирующего воздействия помех. Вторая находится в точках слияния кривых для областей 3, 4 и свидетельствует об уменьшении определяющего вклада сигнальной составляющей ВКФ в поведении ее выбросов для области 3. Далее наблюдается их спад с приблизительно одинаковой крутизной, учитывая встречный характер изменений основного лепестка и боковых выбросов ВКФ. То есть, в качестве оценки условий гарантированного начала порогового проявления имитирующего эффекта для каждого из рассматриваемых видов помех могут служить точки слияния зависимостей показателей $\bar{B}_{max} / SKU_{пом}$ и $\bar{B}_{max} / SKU_{бок}$.

Эти условия выполняются при $M = 125$ и снижении $(C/P)_{вх}$ до значений: -15 дБ для приемника ШИ при воздействии N_1, N_2, N_4, N_5 (рис. 6а) и -7 дБ для приемника ЛЧМИ при воздействии N_1 и N_2 (рис. 6б). Уменьшение показателей $\bar{B}_{max} / \bar{B}_{blmax}$ (рис. 6, кривые для обл. 2) до 0, при котором подавляется основной лепесток ВКФ, уточняет значения $(C/P)_{вх}$, определяющих крутизны порогового проявления имитирующих воздействий помех.

Приемник ЛЧМИ более чувствителен к виду помехи и различиям ее спектральных параметров и параметров сигнала, что выражается в специфическом изменении показателей помехоустойчивости и отсутствии областей устойчивости уровней боковых выбросов ВКФ. Так, влияние помех N_4, N_5 на приемник ЛЧМИ (рис. 6б) регистрировалось уже для значений $(C/P)_{вх} \gg 1$ (~ 20 дБ). В этом случае кривые показателей помехоустойчивости $\bar{B}_{max} / SKU_{пом}$, $\bar{B}_{max} / SKU_{бок}$ и $\bar{B}_{max} / \bar{B}_{blmax}$ круто изменяются, не пересекаясь, в отличие от их поведения для предыдущих случаев, когда применялись либо шумовой сигнал, либо шумовая помеха. При этом значения $\bar{B}_{max} / SKU_{бок}$ и $\bar{B}_{max} / \bar{B}_{blmax}$ спадают при уменьшении $(C/P)_{вх}$ практически линейно и с крутизной как у $\bar{B}_{max} / SKU_{пом}$. Значения показателей, не зависят от увеличения количества накаливаемых импульсов M при воздействии монохроматической помехи N_4 , а в случае комбинированной помехи N_5 зависят от M только в части влияния на корреляционную обработку ее шумовой компоненты (табл. 3: строки 6 и 8; рис. 3 в и г). Начало появления имитирующего воздействия помех N_4, N_5 в этом случае более правильно фиксировать точками окончания участка более пологого изменения $\bar{B}_{max} / \bar{B}_{blmax}$ и начала участков наибольшей схожести изменений показателей $\bar{B}_{max} / SKU_{бок}$ и $\bar{B}_{max} / \bar{B}_{blmax}$ (рис. 6б). Пороговые значения входного отношения сигнал-помеха в этом случае оцениваются значениями 5 дБ для N_4 и -5 дБ для N_5 .

Знание этих пороговых значений входного отношения сигнал-помеха $(C/P)_{вх пор}$ при воздействии маскирующей j -ой непрерывной помехи позволяет избежать проявления ее имитирующего воздействия. Следует также отметить, что определение условий возникновения имитирующего воздействия показателей помехоустойчивости на рис. 6 можно дополнить расчетом соответствующей вероятности с использованием плотностей вероятности $p(B)$ распределения значений боковых выбросов $B(\tau)$ в обл. 2 – 4. Оценки пороговых значений входного отношения сигнал-помеха $(C/P)_{вх пор}$ (N_j , вид сигнала) при $M = 125$, и значений $(C/P)_{вх}$, при которых подавляется основной лепесток $B(\tau)$, – начала и конца проявления имитирующего воздействия помех, характеризующих крутизну его порога, приведены в табл. 4.

Характер изменений кривых показателей помехоустойчивости на рис. 4а, 6а для приемника ШИ схож с изменениями аналогичных кривых, полученных в [9], но отличается диапазоном изменения $(C/P)_{вх}$, что указывает на наличие аппаратно-программных ограничений и потерь в исследуемой шумовой импульсной РЛС [9]. В случае воздействия помех N_3 с узким спектром ($\Delta f_{Nj} / \Delta f_c \ll 1$) и снижения $(C/P)_{вх}$ боковые выбросы ВКФ на интервале $[\tau_{min}, \tau_{max}]$ характеризуются тем, что они могут одновременно вызывать имитирующее и маскирующее воздействия помех.

Таблица 4

Пороговые значения входного отношения сигнал/помеха

Вид помехи	$(C/P)_{вх}$, дБ			
	Прием ШИ		Прием ЛЧМИ	
	Нач., $(C/P)_{вх пор}$	Кон.	Нач., $(C/P)_{вх пор}$	Кон.
N_1	-15	-30	-7	-25
N_2	-15	-30	-7	-25
N_4	-15	-35	5	-12
N_5	-15	-22	-5	-20

При этом подавление основного лепестка $B(\tau)$ осуществляется на фоне такого комбинированного воздействия. В связи с этим, для нахождения пороговых значений входного отношения сигнал-помеха требуется предложить методику экспериментального определения вероятности появления имитирующих боковых выбросов $B(\tau)$ на отдельных участках интервала $[\tau_{min}, \tau_{max}]$ с использованием оценок ВКФ и плотностей вероятности $p(B)$ распределения значений боковых выбросов ВКФ.

ВЫВОДЫ

1. Предложена методика компьютерной оценки помехоустойчивости широкополосного корреляционного приемника, которая позволяет более точно определить характер и степень его помехоустойчивости при воздействии активных непрерывных помех с произвольными плотностями распределения, его пороговые значения входного отношения сигнал/помеха, определяющие условия возникновения имитирующего действия рассмотренных видов помех при различном характере изменений основного и боковых выбросов ВКФ. Методика базируется на методах спектрально-корреляционного анализа стационарных эргодических случайных сигналов, использует анализ совокупности показателей изменения формы ВКФ в различных областях ее существования и учет различий между помехой и полезным сигналом. Показатели помехоустойчивости чувствительны к изменению вида полезного сигнала, активной помехи и соотношений их параметров в широких пределах, к количеству и взаимному расположению помех в полосе пропускания приемника, а также к потере оптимальности приемников.

2. Основное преимущество корреляционного приема шумовых сигналов по сравнению с корреляционным приемом ЛЧМ сигналов состоит в его устойчивости к монохроматическим помехам или к ее комбинации с шумовой помехой, что достигается когерентным накоплением выходного сигнала корреляционного приемника и впервые показано в [2, 6].

3. Показан выигрыш в помехоустойчивости корреляционного приемника шумовых импульсов при воздействии непрерывных активных помех, который состоит в: более широком (до 10 дБ) интервале значений входного отношения сигнал—помеха с устойчивым уровнем боковых выбросов ВКФ для всех рассмотренных видов помех (рис. 4 – 6); более низких значениях пороговых входных отношений сигнал-помеха (табл. 4); возможности улучшения показателей помехоустойчивости для области боковых выбросов при увеличении количества периодов когерентного накопления (рис. 5).

4. Полученные зависимости совокупности показателей помехоустойчивости от входного отношения сигнал/помеха, вида помех и соотношения спектральных параметров помехи и полезного сигнала показывают: наличие областей устойчивости формы основного лепестка ВКФ и ее боковых выбросов при уменьшении входного отношения сигнал/помеха до значений $\sim (0...5)$ дБ для приемника шумовых импульсов и до значений $\sim (0...-10)$ дБ для приемника ЛЧМ импульсов; существенный вклад боковых выбросов ВКФ в определение помехоустойчивости рассматриваемых приемников и большое разнообразие их характеров поведения ее боковых выбросов как в различных областях на интервале возможных значений времен запаздывания эхо-сигнала, так и для обоих типов приемников. При воздействии монохроматической и комбинированной помех на приемник ЛЧМ импульсов области устойчивости показателей отсутствуют. Получены значения пороговых входных отношений сигнал/помеха (табл. 4), отделяющие области имитирующего воздействия помех, а также значения входного отношения сигнал/помеха, приводящие к подавлению основного лепестка ВКФ.

5. Для реализации преимуществ шумового сигнала, при проектировании РТС целесообразно применять уплотненные пачки (последовательности) зондирующих импульсов с высокой частотой (коротким периодом) повторения в пачке, поскольку статистическая независимость зондирующих шумовых импульсов устраняет неоднозначность измерения дальности, характерную для РТС с регулярными зондирующими сигналами [1-3].

6. Анализ воздействия мощных активных непрерывных помех на рассматриваемые корреляционные приемники позволяет расположить помехи по признаку уменьшения их опасности для приемника шумовых импульсов в следующем порядке: а) смесь помех шумовой с широким спектром и когерентной монохроматической;

б) шумовые с широкими спектрами; в) шумовая с узким спектром и г) когерентная монохроматическая. В то же время, для приемника ЛЧМ импульсов порядок несколько изменяется — а) смесь помех шумовой с широким спектром и когерентной монохроматической, г) когерентная монохроматическая, б) шумовые с широкими спектрами, в) шумовая с узким спектром.

Полученные результаты могут быть использованы при создании помехоустойчивых корреляционных приемников в шумовых импульсных РТС в различных диапазонах частот. Они являются исходными для более точного определения минимально возможных порогов обнаружения, расчета вероятностей аномальной ошибки при измерении параметров сигнала и показателей качества решения других информационных задач РТС. Предложенная методика может быть применима также для оперативного анализа помеховой обстановки на входе корреляционного приемника, оценки его помехоустойчивости в процессе функционирования импульсной РТС, выявления опасных видов воздействующих помех и адаптации соответствующих средств его радиоэлектронной защиты.

Литература.

- [1] Лукин К. А. Шумовая радарная технология / К. А. Лукин // Радиоп физика и электроника: сб. науч. трудов. Харьков: ИРЭ НАНУ, 1999. — Т. 4, № 3. — С. 105–111.
- [2] Lukin K.A. The principles of Noise Radar Technology // Proceedings of the First International Workshop on the NOISE RADAR TECHNOLOGY, 18–20 Sept. 2002. Yalta, Crimea, UKRAINE, P. 13–22.
- [3] Лукин К. А. и др. Шумовая радарная технология // Прикладная радиоэлектроника, том 8, 2009, №4, С. 510–525.
- [4] Лукин К.А., Могила А.А., Александров Ю.А., Лукина Т.К. Оценка характеристик шумового радара методом функции неопределенности // Радиоп физика и электроника. Харьков. Ин-т Радиоп физики и электроники НАН Украины, 2001. — 6, № 3. — С. 327–337.
- [5] Lukin K.A., Kononov V.M., Mogyla A.A., Scherbakov V.E. Comparative analysis of conventional radar and noise radar performance // Journal of Applied Radio Electronics Kharkov, UKNURE, Vol.4, No. 1, 2005. — P. 31–36.
- [6] Lukin K.A., Mogyla A.A., Kovalenko N.P. and R.P. Kovalenko. Comparative study of SAR image generation using liner FM and Noise waveforms // Proceedings 4th European Conference on Synthetic Aperture Radar, 4–6 June 2002, Cologne, Germany. — P. 511–514.
- [7] Kantsedal V.M., Lukin K.A. Covert Operation of Surveillance Noise Radar // Proceedings of International Radar Symposium IRS 2006, 24–36 May, Krakow, Poland. pp. 477–480.
- [8] Lukin K.A., Kantsedal V.M., Kulyk V.V., Kononov V.M., Suschenko P.G. Results of Computer Imitation Modeling of Immunity of Correlator Affected by Active Continuous Interferences at the Processing of Wideband Noise or LFM Sequences of Pulses // MSMW'07, Kharkov, Ukraine, June 25–30, 2007. Symposium Proceedings. Vol. 1, pp. 487–489.

- [9] Лукин К.А., Канцедал В.М., Кулик В.В., Коновалов В.М., Могила А.А., Паламарчук В.П., Сущенко П.Г. Экспериментальная оценка помехоустойчивости шумового импульсного радиолокатора ближнего действия в условиях воздействия непрерывных активных помех // Радиопизика и електроника Харьков: ИРЭ НАНУ, 2011. – Т.2(16), № 2. – С. 77–89.
- [10] Теоретические основы радиолокации. Под ред. Я.Д. Ширмана. – М.: Советское радио, 1970. – 550 с.
- [11] Радиотехнические системы. Ю.П. Гришин, В.П. Ипатов, Ю.М. Казаринов и др. Под ред. Ю.М. Казаринова. – М.: Высш. шк., 1990. – 496 с.
- [12] Трифонов П.А. Влияние узкополосных помех на пороговые характеристики оценки параметров сверхширокополосных сигналов // Радиотехника (Журнал в журнале – Информационный конфликт в спектре электромагнитных волн № 19), 2007, № 7, С. 33–36.
- [13] A.G. Stove. Using Noise Modulation in Practical Radar Systems - Including a Comparison with FMCW Modulation // Proceedings of 11-th International Radar Symposium IRS-2010, VILNIUS, LITHUANIA JUNE 16-18, 2010. VOLUME 2, pp. 340–343.
- [14] Диксон Р.К. Широкополосные системы. Пер. с англ. / Под ред. В.И. Журавлева. – М.: «Связь», 1979. – 304 с.
- [15] Вакин С.А., Шустов Л.Н. Основы радиопротиводействия и радиотехнической разведки. М., Сов. радио, 1968, 448 с.

Поступила в редколлегию 25.01.2012



Лукин Константин Александрович, доктор физико-математических наук, профессор, Академик АН ПРЭ, IEEE Fellow, заведующий отделом нелинейной динамики электронных систем ИРЭ НАН Украины. Область научных интересов: динамический хаос, генерация и обработка случайных сигналов, широкополосная шумовая радиолокация и радиосвязь.



Канцедал Валерий Михайлович, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, старший научный сотрудник отдела нелинейной динамики электронных систем ИРЭ НАН Украины. Область научных интересов: помехозащищенность широкополосной радиолокации, средства радиоэлек-

тронного противодействия радиотехнической разведке и защиты радиолокаторов от активных помех.

УДК 621.396.96: 621.391

Порівняння завадостійкості широкосмугових кореляційних приймачів шумових і ЛЧМ імпульсних радарів за умови впливу різних неперервних активних завад / К.О. Лукін, В.М. Канцедал // Прикладна радіоелектроніка: наук.-техн. журнал. – 2012. Том 11. № 1. – С. 23–34.

Наведені результати аналізу завадостійкості кореляційного прийому послідовностей коротких шумових і ЛЧМ імпульсів з широкими спектрами за умови впливу різних неперервних активних завад. Вивчено характер і ступінь впливу цих завад на вихідні сигнали досліджуваних приймачів при зміні співвідношення ширин спектрів завади і сигналу. Показано, що кореляційний приймач шумових імпульсів має кращі показники завадостійкості в порівнянні з приймачем ЛЧМ сигналів при дії монохроматичної завади або її комбінації з шумовою завадою.

Ключові слова: взаємно-кореляційна функція, шумовий радар, імпульсна радіотехнічна система, завадостійкість, широкосмуговий кореляційний приймач, активна неперервна завада, шумові сигнали.

Табл. 5. Лл. 6. Бібліогр.: 15 найм.

UDC 621.396.96: 621.391

Comparison of interference immunity of correlation receivers for wideband noise and LFM signals at the effect of CW active interferences / K.A. Lukin, V.M. Kantsedal // Applied Radio Electronics: Sci. Journ. – 2012. Vol. 11. № 1. – P. 23–34.

Results of analyzing interference immunity of correlation reception for wideband short noise and LFM pulse trains are presented for the case of different continuous active interferences. The character and the level of effects of these interferences on output signals of the receivers under investigation have been studied when varying the spectrum bandwidths ratios of the radar signal and interference. It is shown that noise pulse correlation receiver has higher interference immunity performance in comparison with LFM signals receiver in case of coherent single frequency interferences or its combination with a wideband noise interferences.

Keywords: cross-correlation function, noise radar, pulse radio system, interference immunity, wideband correlation receiver, active CW interference, noise signals.

Tab. 5. Fig. 6. Ref.: 15 items.