

К. А. Лукин, В. М. Канцедал, В. В. Кулик, В. М. Коновалов, А. А. Могила, В. П. Паламарчук, П. Г. Сущенко

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ ШУМОВОГО ИМПУЛЬСНОГО РАДИОЛОКАТОРА БЛИЖНЕГО ДЕЙСТВИЯ В УСЛОВИЯХ ВОЗДЕЙСТВИЯ НЕПРЕРЫВНЫХ АКТИВНЫХ ПОМЕХ

*Институт радиофизики и электроники им. А. Я. Усикова НАН Украины*

*12, ул. Ак. Проскуры, Харьков, 61085, Украина*

E-mail: [kantsedal@ire.kharkov.ua](mailto:kantsedal@ire.kharkov.ua); [lnedes@kharkov.com](mailto:lnedes@kharkov.com)

Приведены оценки помехоустойчивости корреляционного приема последовательности коротких некоррелированных шумовых импульсов с широким спектром (с базой  $\sim 50 \dots 100$ ) при воздействии непрерывных активных помех: шумовой с сосредоточенным спектром, монохроматической и их смеси. Уточнены характер и степень их воздействия на выходной сигнал исследуемого корреляционного приемника, а также влияние различий спектральных и энергетических параметров полезного шумового сигнала и помех на его помехоустойчивость, в том числе при малом отношении сигнал–помеха на входе. Оценены пороги помехоустойчивости корреляционного приемника с использованием совокупности статистических показателей изменения формы взаимных корреляционных функций. Ил. 8. Табл. 4. Библиогр.: 13 назв.

**Ключевые слова:** шумовой импульсный радиолокатор, корреляционный приемник, помехоустойчивость, активная помеха, вид и параметры помехи и сигнала.

Импульсные радиолокаторы ближнего действия, использующие для зондирования шумовые сигналы с большой базой и широким, в несколько сотен мегагерц, спектром [1–7], могут применяться в различных приложениях, например для предупреждения столкновения автомобилей, обнаружения вторжений в охраняемый периметр пространства, мониторинга и контроля движения [1, 3, 6, 7]. Их важной тактической характеристикой является помехоустойчивость, в частности при воздействии преднамеренных или взаимных активных непрерывных помех. 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 расширении состава одновременно воздействующих видов активных помех и пределов изменения их параметров, а также в изменении принятых до этого на практике соотношений спектральных характеристик помех и полезного сигнала. Так, энергетические ограничения вынуждают к постановке в широкой полосе пропускания приемника одиночной или совокупности разнесенных по частоте узкополосных помех вместо заградительной или прицельной по частоте помехи, как это имеет место при радиоэлектронном подавлении узкополосных радиолокационных станций (РЛС) [8, 9]. Похожие условия воздействия взаимных помех возникают и при работе радиолокатора в группе радиоэлектронных средств.

Оценка потенциальной помехоустойчивости радиолокатора может быть сведена к анализу функционирования корреляционного приемника в наиболее трудных помеховых условиях, когда на вход коррелятора поступает смесь сигнала и помех в основном луче диаграммы направленности антенны (ДНА), в полосе пропускания приемника и при малых значениях входного отношения сигнал–помеха. Анализ помехоустойчивости корреляционного приемника является первичным при исследовании устойчивости решения задач обнаружения сигналов, измерения их параметров и тому подобное при воздействии помех и анализе соответствующих результатов, широко представленных в литературе [9–13]. Выделение для анализа воздействия только активных помех предполагает выполнение условий наблюдения точечной цели, пренебрежения внутренними шумами приемника и искажениями сигнала в среде распространения радиоволн. При этом помехоустойчивость определяется как оценка характера и степени искажений формы взаимно корреляционной функции (ВКФ) принимаемого и опорного сигналов на интервале возможных значений времени запаздывания отраженных сигналов при воздействии этих помех. В работах [10–13] изложены соответствующие методики оценки помехоустойчивости корреляционных приемников. Однако 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 выходного отношения сигнал–помеха. Влияние же на помехоустойчивость боковых лепестков ВКФ рассмат-

ривается 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 пренебрежении боковыми лепестками сигнальной составляющей ВКФ [13].

Ключевым фактором оценки помехоустойчивости корреляционного приемника является определение условий встречного порогового проявления и разделения маскирующего и имитирующего воздействий помехи [12, 13].

Разнообразие помех, применение шумового импульсного сигнала, стремление к понижению его импульсной мощности вносят специфику и значительные сложности в получение достоверной аналитической оценки помехоустойчивости корреляционного приемника. Это обстоятельство стимулирует проведение натурного экспериментального исследования помехоустойчивости с уточнением методики оценки помехоустойчивости для учета отмеченных выше особенностей.

В работах [1, 4] представлены результаты компьютерного исследования характера влияния некоторых видов непрерывных активных помех на форму ВКФ при использовании непрерывных шумовых сигналов. Экспериментальная оценка помехоустойчивости корреляционного приемника шумового импульсного радиолокатора ближнего действия 3-см диапазона длин волн, рассматриваемая в статье, является развитием этих результатов. Следует также отметить отсутствие в литературе данных по экспериментальной оценке помехоустойчивости корреляционных приемников коротких шумовых импульсов с широким спектром в этом диапазоне длин радиоволн.

Целью работы является экспериментальная оценка помехоустойчивости корреляционного приемника импульсной шумовой РЛС 3-см диапазона длин волн с полосой пропускания в сотни мегагерц при воздействии неперекрывающихся по частоте интенсивных активных непрерывных помех в виде сосредоточенной (десятки мегагерц) шумовой, монохроматической и их смеси.

**1. Методика исследований.** Для экспериментальных исследований использовался макет импульсного шумового радиолокатора 3-см диапазона в режиме кругового обзора [7].

Структурная схема экспериментальной установки (рис. 1) состоит из шумовой импульсной РЛС (ШРЛС), генератора внешних активных непрерывных помех, неподвижной точечной цели в виде уголкового отражателя (УО) и персонального компьютера (ПК).

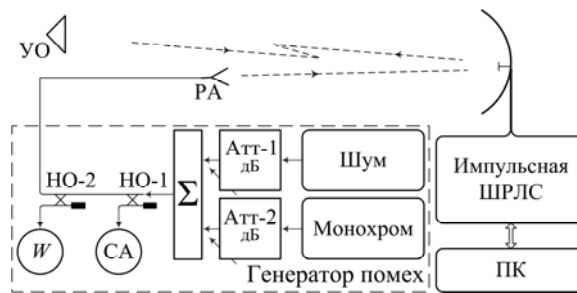


Рис. 1. Структурная схема экспериментальной установки

Непрерывная помеха создается с помощью специально сконструированных генераторов монохроматических и шумовых колебаний. Генератор помех содержит аттенюаторы (Атт-1 и Атт-2), регулирующие интенсивность помех, сумматор, обеспечивающий сложение шумовой  $N_1$  и монохроматической  $N_2$  помех для образования их смеси  $N_3$ , и направленные ответители (НО-1, НО-2). Для контроля параметров помех на выходе генератора помех используется измеритель мощности ( $W$ ) и анализатор спектра (СА). Все три вида помех излучаются с помощью рупорной антенны (РА) из одной точки пространства в главном лепестке диаграммы направленности радиолокационной антенны, а их спектр находится в полосе пропускания приемника. В эксперименте фиксировались параметры последовательности зондирующих шумовых импульсов, а вид и параметры помех изменялись. На измерительной площадке выполнялись условия наблюдения точечного отражателя, близкие к условиям свободного пространства. Полоса пропускания приемного устройства радиолокатора составляла 500 МГц. Опорный сигнал и принимаемая смесь отраженного сигнала и помехи после преобразования по частоте и 8-битного аналого-цифрового преобразования (частота дискретизации 1 ГГц) сохранялись в памяти ПК для корреляционной обработки.

Алгоритм обработки может быть описан с помощью следующего выражения:

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

где  $B(\tau)$  – оценка модуля ВКФ;  $s_{\text{эхo}}(t)$  – принимаемые шумовые импульсы;  $T$  – период повторения зондирующих импульсов;  $m$  – номер периода;  $\tau$  – время распространения зондирующего сигнала до цели и обратно;  $\tau_i$  – дискретное время запаздывания опорного импульса  $[\tau_{\min}, \tau_{\max}]$ , устанавливаемое с помощью линии задержки 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;  $T_{\text{и}}$  – длительность импульса;  $M$  – число импульсов в пачке;  $N_j(t)$ ,  $j = 1, 2, 3$  – непрерывная активная помеха  $j$ -го вида.

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. Учитывая статистическую независимость шумовых импульсов в последовательности и возможность устранения неоднозначности измерения дальности при этом, можно рассматривать применение

уплотненной последовательности с коротким периодом повторения зондирующих импульсов.

В экспериментальных исследованиях использовалось 3 зондирующих сигнала в виде последовательности шумовых импульсов равной мощности и колокольным спектром, параметры которых представлены в табл. 1. Число импульсов  $M$  последовательности изменялось от 1 до 850.

На входе коррелятора действовало 3 вида непрерывной помехи  $N_j(t)$ ,  $j = 1, 2, 3$ , параметры которых представлены ниже в табл. 2. Их воздействие ухудшает избирательность корреляционного приемника из-за нарушения оптимальности исследуемого алгоритма корреляционной обработки сигналов. При этом не обеспечивается эффективное сжатие принимаемой смеси, подавление помех и межпериодное накопление.

Таблица 1

Вид и параметры зондирующего сигнала

Вид зондирующего сигнала	Средняя частота спектра $f_{0c}$ , ГГц	Ширина спектра сигнала $\Delta f_c$ , МГц	Длительность импульса $T_{\text{и}}$ , нс	Период повторения импульсов $T_{\text{повт}}$ , нс	База импульса $\Delta f_c T_{\text{и}}$
C1	9,148	236	200	2250	~50
C2	9,250	300	200	2250	~60
C3	9,250	500	200	2250	~100

Таблица 2

Вид и параметры непрерывной активной помехи

Виды непрерывной активной помехи	Средняя частота спектра $f_{0n}$ , ГГц	Ширина спектра $\Delta f_{Nj}$ , МГц	Ширина спектра помехи/ ширина спектра сигнала $\eta = \Delta f_{Nj} / \Delta f_{C2}$
Сосредоточенная шумовая $N_1$	9,145	63	0,2
Монохроматическая $N_2$	9,088	0,02	$6 \cdot 10^{-5}$
Комбинированная (смесь) $N_3 = N_1 + N_2$	9,088; 9,145	90	0,3

На рис. 2 представлены реализации входных сигналов коррелятора при использовании зондирующего сигнала C2 в отсутствие помех (рис. 2, а) и при их воздействии (рис. 2, б).

На рис. 2, б видны существенные изменения принимаемой смеси по сравнению со случаем, когда помеха отсутствует. Уровень мощности полезного сигнала меньше уровня мощности помехи.

На рис. 3 представлены спектры помех  $N_1$ ,  $N_2$  и отраженного сигнала при  $(C/\Pi)_{\text{вх}} = -9$  дБ, действующих на входе коррелятора.

Выходной сигнал корреляционного приемника  $B(\tau)$  получен при  $(C/\Pi)_{\text{вх}} = 16$  дБ в прием-

ном и опорном каналах корреляционного приемника (рис. 4). Время запаздывания эхо-импульса по положению максимума ВКФ составляет 488 нс, соответствующее дальности точечной цели 72,3 м. Измеренная длина интервала корреляции составила 3...4 нс, соответствующая разрешающей способности по дальности 0,45...0,6 м.

Временной интервал  $[\tau_{\text{min}}, \tau_{\text{max}}]$ , на котором исследуется поведение ВКФ, разбит на 4 смежные области, являющиеся характерными (рис. 4):

- 1) высокой корреляции;
- 2) ближних боковых лепестков (от границы интервала 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 (от границы области существования сигнальной составляющей ВКФ до границы интервала  $[\tau_{\min}, \tau_{\max}]$ ).

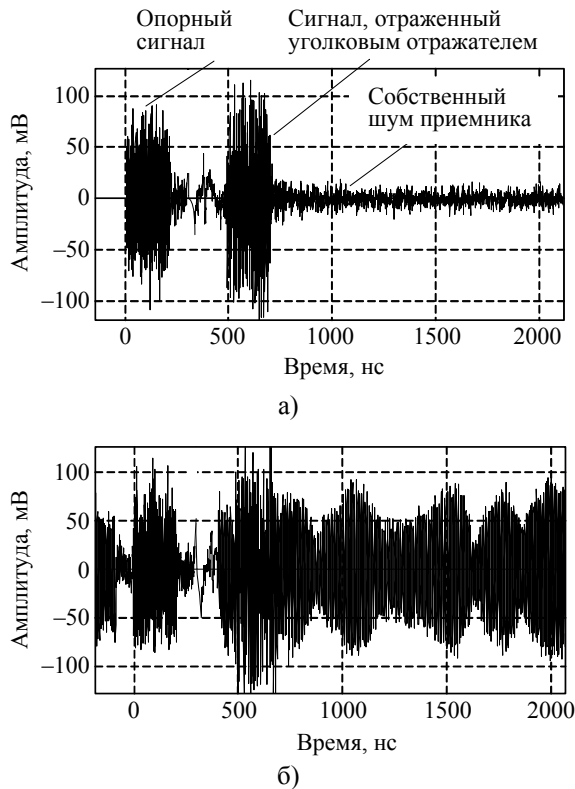


Рис. 2. Реализации опорного (зондирующего) и отраженного шумовых импульсов на фоне внутренних шумов корреляционного приемника (а); помехи  $N_3$  при  $(C/P)_{\text{вх}} = 0,6$  дБ (б)



Рис. 3. Нормированная спектральная плотность мощности отраженного сигнала, шумовой  $N_1$  и монохроматической  $N_2$  помехи

Особенностью данной методики экспериментальной оценки помехоустойчивости является использование совокупности показателей, характеризующих характер и степень изменений формы

ВКФ в указанных на рис. 4 областях интервала  $[\tau_{\min}, \tau_{\max}]$ , в условиях воздействия заданных видов помех и при наблюдении точечной неподвижной цели.

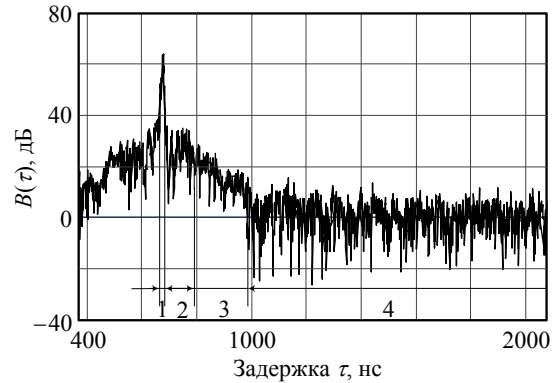


Рис. 4. Оценка взаимной корреляционной функции, усредненная на  $M = 125$  периодах накопления при  $(C/P)_{\text{вх}} = 16$  дБ

Совокупность показателей изменений ВКФ выбрана в соответствии с традиционным подходом к анализу структурной селекции и информативности зондирующего сигнала [10–13] и характеризуют воздействие помех любого вида. При этом показатели для области основного лепестка ВКФ соответствуют показателям традиционной методики оценки помехоустойчивости. Показатели для областей вне основного лепестка ВКФ служат для более детального анализа вклада боковых выбросов ВКФ в оценку помехоустойчивости корреляционного приемника. Они, в частности, учитывают влияние боковых лепестков сигнальной составляющей ВКФ на помехоустойчивость в областях 2 и 3 – их максимальные значения, уровни и расположение вблизи основного лепестка ВКФ, и направлены на выявление условий встречного порогового проявления и разделения маскирующего и имитирующего воздействий помех. Эти условия характеризуются порогом помехоустойчивости корреляционного приемника в виде порогового значения входного отношения сигнал–помеха при заданном виде помехи с известными значениями отношений других параметров помехи и сигнала [8].

Показатели для области основного лепестка ВКФ:

- $(C/P)_{\text{вых}}$  – оценка выходного отношения сигнал–помеха как квадрат отношения усредненного максимального значения  $\bar{B}_{\text{max}}$  (область 1) к среднеквадратичному уровню  $\text{СКУ}_{\text{пом}}$  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  $1/\Delta f_c T_{\text{и}}$ );

- $r(\tau)_{\max}$  – максимальное значение коэффициента взаимной корреляции  $r(\tau)$ , которое характеризует ослабление статистической связи между эхо и опорным сигналами при воздействии помехи;
- $\Delta(\tau)$  – ширина интервала корреляции по уровню 0,7 относительно  $\bar{B}_{\max}$ .

Показатели для областей вне основного лепестка ВКФ:

- $P_{\text{осн}} / P_{\text{бок}}$  – отношение мощности основного выброса ВКФ к мощности боковых выбросов в области сигнальной составляющей (области 2 и 3);
- $\bar{B}_{\max} / \bar{B}_{\text{бок max}}$  – отношение усредненных максимальных значений основного лепестка и ближних боковых выбросов ВКФ (область 2);
- $\bar{B}_{\max} / \text{СКУ}_{\text{бок}}$  – отношение усредненного максимального значения основного лепестка к среднеквадратичному уровню дальних боковых выбросов ВКФ в области ее сигнальной составляющей (область 3);
- $\bar{B}_{\max} / \text{СКУ}_{\text{пом}}$  – отношение усредненного максимального значения основного лепестка к среднеквадратичному уровню выбросов помеховой составляющей ВКФ (область 4).

Методика предполагает оценку статистических характеристик входных и выходных сигналов корреляционного приемника, а также его внутренних шумов в отсутствие и при воздействии внешних активных помех. Затем требуется вычисление приведенных выше показателей помехоустойчивости и проведение их анализа для выявления особенностей характера и степени воздействия заданных видов помех на исследуемый корреляционный приемник.

Критерий помехоустойчивости радиолокатора на уровне сигнальной обработки, задающий допустимое изменение формы ВКФ, основывается на предпочтении одного значения вектора показателей помехоустойчивости другому исходя из назначения радиолокатора и связи этих показателей с соответствующими показателями качества решения его информационных задач [10, 12].

**2. Характер изменений взаимно корреляционной функции при воздействии помех.** Результаты анализа влияния помех  $N_1, N_2, N_3$  на характер изменений ВКФ иллюстрируются выборочно представленными:

- в табл. 3 оценками  $B(\tau)$  и коэффициентов взаимной корреляции  $r(\tau)$  в области существования сигнальной составляющей ВКФ при обработке шумового сигнала С2 в зависимости от сочетания энергетических и спектральных различий параметров помехи и сигнала при указанных отношениях  $(С/П)_{\text{вх}}$  и количестве  $M$  накапливаемых импульсов;
- на рис. 5 плотностями вероятностей  $p(B)$  распределения амплитуд боковых выбросов на-

блюдаемых ВКФ при обработке шумового сигнала С2;

- в табл. 4 различиями спектральных характеристик зондирующих сигналов С1, С2 и С3 и сосредоточенной шумовой помехи  $N_1$ .

Воздействие помех  $N_1, N_2, N_3$  нарушает оптимальность процедуры обработки сигналов (1) как вследствие неравномерности спектров мощности помех в полосе пропускания приемника, так и не всегда их гауссовой плотности распределения [10], что не обеспечивает их эффективного подавления и приводит к искажению ВКФ. В то же время приведенные оценки ВКФ показывают возможность выделения шумового эхо-сигнала, когда он скрыт помехой, а также особенности характера изменений ВКФ при этом. Эти особенности проявляются в:

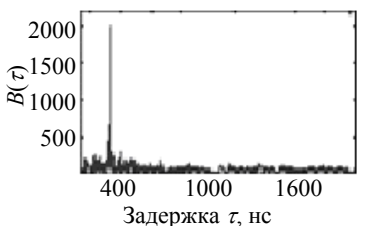
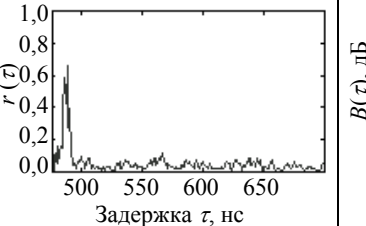
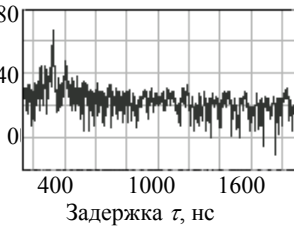
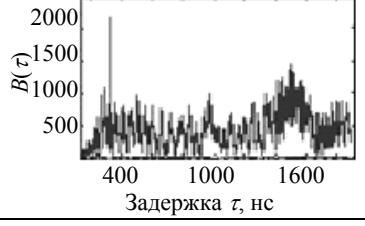
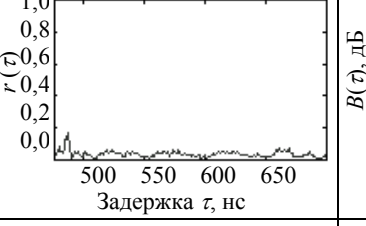
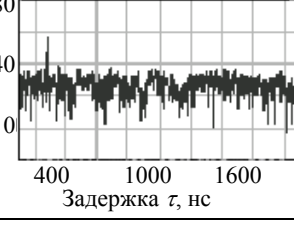
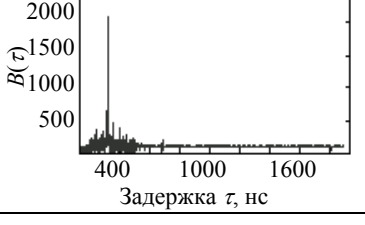
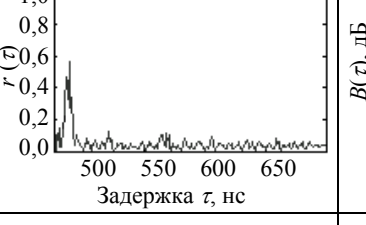
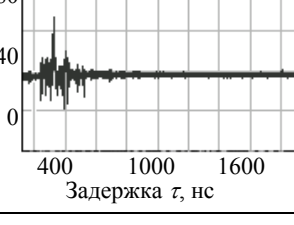
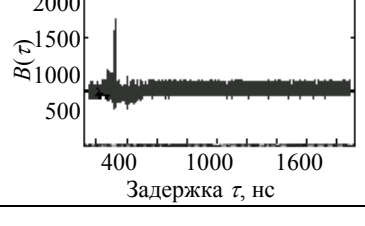
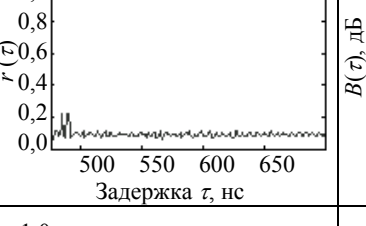
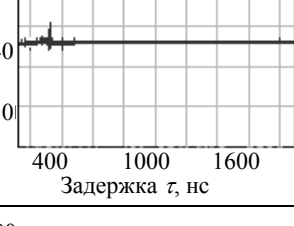
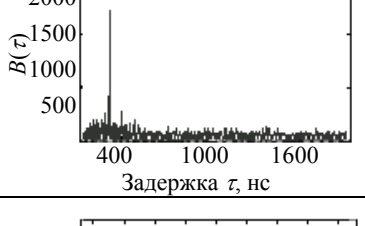
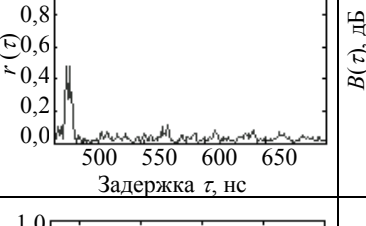
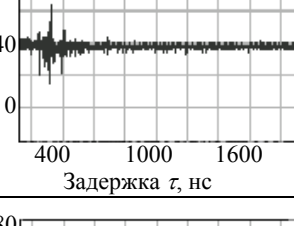
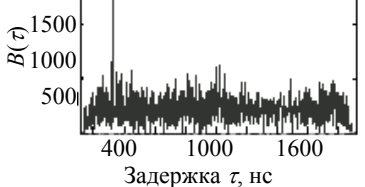
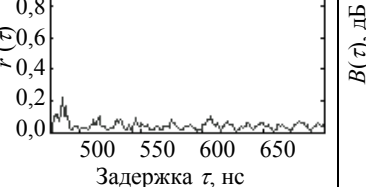
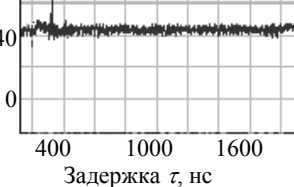
- существенном вкладе ее боковых выбросов в определение помехоустойчивости рассматриваемого радиолокатора;
- разнообразии характеров воздействия помех, особенно в области боковых выбросов ВКФ, например в характере воздействия монохроматической помехи в виде пьедестала с шумовой дорожкой вдоль нее или смеси ее с сосредоточенной шумовой помехой;
- зависимости разнообразия изменений уровней боковых выбросов относительно уровня основного лепестка от: их принадлежности к областям ближних, дальних боковых лепестков сигнальной составляющей ВКФ или области выбросов только ее помеховой составляющей; вида помех и совместных статистических, энергетических, спектральных и временных различий параметров как помех (см. табл. 2), так и помех с полезным шумовым сигналом (см. табл. 1); наличия маскирующего или имитирующего воздействия помех;

– в возможности обеспечения подавления одиночной монохроматической помехи  $N_2$  и в смеси с сосредоточенной шумовой помехой корреляционным приемником шумовых импульсов. При этом увеличение числа периодов накопления  $M$  при заданном входном отношении  $(С/П)_{\text{вх}}$  заметно уменьшает обусловленный ею уровень пьедестала и дисперсию шумовой дорожки на выходе коррелятора.

Для анализа влияния формы сигнала на боковые выбросы ВКФ при воздействии помех, учитывая их взаимное расположение с основным лепестком ВКФ, рассмотрены графики коэффициентов корреляции  $r(\tau)$  в области существования сигнальной составляющей ВКФ, которые представлены в столбце 2 табл. 3. При  $(С/П)_{\text{вх}} > 1$  уровень и форма боковых выбросов оценки ВКФ в областях 2 и 3 характеризуется устойчивостью к воздействию помех, несмотря на различие пьедесталов, обусловленных помеховой составляющей ВКФ.

Таблица 3

Оценки ВКФ и коэффициента взаимной корреляции при воздействии помех

Параметр (С/П) <sub>вх</sub>		M = 5		M = 125
		1	2	3
(С/П) <sub>вх</sub> (N <sub>1</sub> ) = 1,15	Маскирующий 1			
(С/П) <sub>вх</sub> (N <sub>1</sub> ) = 0,3	Имитирующий 2			
(С/П) <sub>вх</sub> (N <sub>2</sub> ) = 0,98	Маскирующий 3			
(С/П) <sub>вх</sub> (N <sub>2</sub> ) = 0,03	Имитирующий 4			
(С/П) <sub>вх</sub> (N <sub>3</sub> ) = 0,45	Маскирующий 5			
(С/П) <sub>вх</sub> (N <sub>3</sub> ) = 0,12	Имитирующий 6			

При снижении входного отношения сигнал–помеха до значений  $(С/П)_{вх} < 1$  изменение уровней боковых выбросов ВКФ характеризуется переходом от маскирующего воздействия помехи к имитирующему, а их форма определяется поме-

хой составляющей ВКФ – видом и параметрами помехи.

Более детально особенности поведения боковых выбросов каждой наблюдаемой оценки ВКФ при обработке последовательности шумовых

импульсов  $C_2$  раскрываются при анализе плотностей вероятности  $B(\tau)$  распределения значений боковых выбросов ВКФ на рис. 5.

При воздействии сосредоточенной шумовой помехи  $N_1$  с параметрами  $f_{0c} - f_{0N_1} = 105$  МГц,  $\Delta f_{N_1} / \Delta f_{C_2} = 0,21$  и уменьшении  $(C/\Pi)_{вх}$  проявля-

ется ослабление основного лепестка  $B(\tau)$ , рост  $СКУ_{бок}$ ,  $СКУ_{пом}$  и, в основном, изменяется форма боковых выбросов  $B(\tau)$ . При этом наблюдаются маскирующий и/или имитирующий эффекты воздействия помехи в зависимости от сочетаний значений  $(C/\Pi)_{вх}$  и  $M$ .

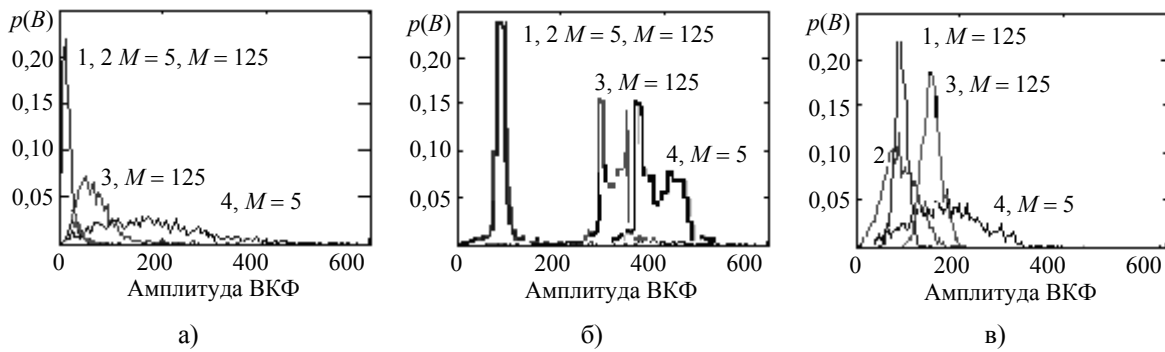


Рис. 5. Плотности вероятности  $p(B)$  распределения значений боковых выбросов  $B(\tau)$  при воздействии помехи: а) – шумовой  $N_1$ , кривые 3 и 1 при  $(C/\Pi)_{вх} = 1,15$ , кривые 4 и 2 при  $(C/\Pi)_{вх} = 0,075$ ; б) – монохроматической  $N_2$ , кривые 1 и 2 при  $(C/\Pi)_{вх} = 0,98$ , кривые 4 и 3 при  $(C/\Pi)_{вх} = 0,1$ ; в) – комбинированной  $N_3$  кривые 2 и 1 при  $(C/\Pi)_{вх} = 0,45$ , кривые 4 и 3 при  $(C/\Pi)_{вх} = 0,12$  и  $M = 5, M = 125$

Так, для значений  $(C/\Pi)_{вх} = 1,15$  и  $M = 5$ , определяющих маскирующий эффект воздействия помехи  $N_1$  (табл. 3, строка 1) на  $B(\tau)$ , наблюдается различие уровней и формы боковых выбросов в областях 2–4. Отдельные боковые выбросы в областях 2 и 3 имеют длительность, близкую к длительности основного лепестка  $B(\tau)$ , а в области задержек 4 – превышающую его. При этом с уменьшением  $(C/\Pi)_{вх}$  характер боковых выбросов приобретает форму пьедестала с периодически переменной амплитудой и возрастающей интенсивностью шумовой дорожки вдоль него. Влияние значений  $M$  и  $(C/\Pi)_{вх}$  на форму и расположение соответствующих плотностей распределения вероятности  $p(B)$  значений боковых выбросов  $B(\tau)$  представлены на рис. 5, а. Состояние  $B(\tau)$  с увеличением числа периодов накопления  $M$  (от  $M = 5$  с общим временем накопления 1 мкс до  $M = 125$  с общим временем накопления 25 мкс) для данного  $(C/\Pi)_{вх}$  характеризуется незначительным изменением максимального значения  $B(\tau)$ , но эффективным ослаблением боковых выбросов в разных областях интервала запаздываний эхо-сигнала с выделением ближних выбросов сигнальной составляющей. Отношение  $СКУ$  боковых выбросов для данного  $(C/\Pi)_{вх}$  и значений  $M = 5, 125$ , рассчитанные с использованием плотностей  $p(B)$ , составляет около  $76/24 = 3,26$  (рис. 5, а).

Состояние  $B(\tau)$  для  $(C/\Pi)_{вх} = 0,03$  и  $M = 5$  характеризуется существенным проявлением

имитирующего воздействия помехи  $N_1$  (табл. 3, строка 2), когда наблюдается не только существенное ослабление основного лепестка без заметного расширения интервала корреляции, но и рост максимумов и числа боковых выбросов, изменение их формы на интервалах 2–4. Значения плотности распределения  $p(B)$  охватывают весь диапазон запаздываний эхо-сигнала, (рис. 5, а). При этом отличительным признаком воздействия шумовой помехи  $N_1$  является возникновение в областях 2–4 квазипериодической последовательности областей с имитирующим эффектом, ширина которых зависит от степени снижения входного отношения  $(C/\Pi)_{вх}$  и значения  $\Delta f_{N_j} / \Delta f_c$ . Этот эффект наиболее проявляется в области 2. Увеличение числа периодов накопления  $M$  при фиксированном малом значении  $(C/\Pi)_{вх}$  существенно улучшает форму  $B(\tau)$ , уменьшая воздействие шумовой помехи  $N_1$ , практически устраняя имитирующий и ослабляя маскирующий эффекты ее воздействия. Так, отношение  $СКУ$  боковых выбросов при  $(C/\Pi)_{вх} = 0,03$  и значениях  $M = 5, 125$  составляет около  $204,3/28,2 = 7,24$ .

При воздействии монохроматической помехи  $N_2$  с параметрами  $f_{0C_2} - f_{0N_2} = 192$  МГц,  $\Delta f_{N_2} / \Delta f_{C_2} = 0$  наблюдаются следующие отличия от случая шумовой помехи  $N_1$ :

– для  $(C/\Pi)_{вх} = 0,98$  и  $M = 5$  также отмечается маскирующий эффект (табл. 3, строка 3), но уже в

виде равномерного пьедестала для основного и боковых выбросов  $B(\tau)$  со средним уровнем – математическим ожиданием (МО) распределения  $p(B)$   $МО = 107,9$  и среднеквадратичным отклонением (СКО) шумовой дорожки  $СКО = 0,8$  (рис. 5, б). При этом форма квазисимметричного распределения  $p(B)$  с крутыми скатами характеризует характер воздействия помехи  $N_2$ , а параметр  $МО + СКО = 138,7$  оценивает уровень боковых лепестков ВКФ;

– при значении  $(С/П)_{вх} = 0,03$  и  $M = 5$  наблюдается ослабление главного лепестка  $B(\tau)$  с расширением интервала высокой корреляции до 5...6 нс и маскирующий эффект воздействия помехи  $N_2$  в области боковых выбросов (табл. 3, строка 4); на распределение  $p(B)$  в основном оказывает влияние  $(С/П)_{вх}$  (рис. 5, б);

– увеличение числа периодов накопления  $M$  при заданном значении  $(С/П)_{вх}$  незначительно влияет на главный лепесток  $B(\tau)$  и несколько ослабляет воздействие помехи  $N_2$ , уменьшая уровень пьедестала и дисперсию шумовой дорожки в областях 2–4, обусловленных некогерентным накоплением результата корреляционного взаимодействия монохроматической помехи и опорного сигнала С2. При этом для  $(С/П)_{вх} = 0,03$  и  $M = 5$  имеем: уровень пьедестала  $МО = 513,3$ ; СКО шумовой дорожки 52,7,  $МО + СКО = 566$ , а для  $M = 125$  –  $МО = 404,5$ ,  $СКО = 34$ ,  $МО + СКО = 438,5$ . Отношение уровней боковых выбросов  $B(\tau)$  для значений  $M = 5$ ,  $M = 125$  составляет около  $566/438,5 = 1,29$ , а отношение СКУ боковых выбросов для помех  $N_2$  и  $N_1$  при  $(С/П)_{вх} = 0,03$  и  $M = 125$  – около  $438,5/28,2 = 15,5$ . Следовательно, по изменению только СКУ боковых выбросов ВКФ корреляционный приемник менее устойчив при воздействии помехи  $N_2$  в отличие от воздействия  $N_1$ .

Анализ влияния на ВКФ смеси помех  $N_1$  и  $N_2$ , равной мощности, – комбинированной помехи  $N_3$  с параметрами  $(P_3 = P_1/2 + P_2/2)$ ,  $(f_{0C2} - f_{0N_3}) = 118$  МГц,  $(f_{0N_3, \max} - f_{0N_3, \min})/\Delta f_{C2} = 0,26$ , где  $f_{0N_3, \max}$ ,  $f_{0N_3, \min}$  – крайние частоты спектра помехи, показывает:

– для  $(С/П)_{вх} = 0,45$  и  $M = 5$  воздействие помехи  $N_3$  подобно маскирующему воздействию шумовой помехи  $N_1$  (табл. 3, строка 5);  $B(\tau)$  имеет большее ослабление и некоторое уширение (4...5 нс) основного лепестка  $B(\tau)$  в сравнении с действием  $N_1$ . Распределение  $p(B)$  относитель-

но МО обусловлено монохроматической составляющей, но с более пологими скатами (рис. 5, в);

– при значении  $M = 125$  наблюдается маскирующий действие монохроматической составляющей помехи  $N_3$ . Симметрия формы  $p(B)$  относительно уровня пьедестала и пологость скатов, расположение  $p(B)$  на интервале значений  $B(\tau)$  существенно зависят от отношения  $(С/П)_{вх}$  (рис. 5, в). Так, для  $N_3$  и  $(С/П)_{вх} = 0,45$  имеем  $МО + СКО = 81 + 15,4 = 96,4$ , что сопоставимо с воздействием монохроматической помехи  $N_2$  при  $(С/П)_{вх} = 0,03$  и  $M = 5$ ;

– при значении  $(С/П)_{вх} = 0,12$  и  $M = 5$  существенно ослабляется основной лепесток  $B(\tau)$  с его расширением до 4...5 нс, на интервалах 2–4 запаздывания эхо-сигнала проявляется имитирующее воздействие шумовой составляющей (табл. 3, строка 6). Распределение  $p(B)$  имеет более равномерный характер выбросов  $p(B)$  в областях 2–4 с параметрами  $МО + СКО = 174,4 + 78,9 = 253,3$ , что сопоставимо с имитирующим воздействием шумовой помехи  $N_1$  при  $(С/П)_{вх} = 0,03$  и  $M = 5$ . Анализ характера воздействия комбинированной помехи  $N_3$  показывает большее разнообразие изменений состояния  $B(\tau)$  и нарушения устойчивости исследуемого коррелятора в сравнении с отдельным воздействием помех  $N_1$  и  $N_3$  вследствие различий их спектральных параметров, несмотря на значительные различия этих параметров помех с параметрами сигнала С2.

В табл. 4 показано влияние спектральных различий  $f_{0c} - f_{0N_1}$ ,  $\Delta f_{N_1} / \Delta f_c$  шумовых сигналов С1, С2, С3 и шумовой помехи  $N_1$  (или от расположения помехи в полосе пропускания приемника) на помехоустойчивость корреляционного приемника для отношений  $(С/П)_{вх}$  16 дБ (строка 2), –8 дБ (строка 3) и  $M = 5$ . Производится сравнение коэффициентов взаимной корреляции  $r_1(\tau)$ ,  $r_2(\tau)$ ,  $r_3(\tau)$  входной смеси и опорного сигнала, а также отношений максимальных значений коэффициента взаимной корреляции  $r(\tau, N_1 = 0)_{\max} / r(\tau, N_1 \neq 0)_{\max}$  и показателя  $P_{\text{осн}} / P_{\text{бок}}(N_1 = 0)$  к  $P_{\text{осн}} / P_{\text{бок}}(N_1 \neq 0)$  в отсутствие и при воздействии помехи.

Сравнение данных 1-го и 2-го, 1-го и 3-го столбцов позволяет количественно оценить изменения помехоустойчивости широкополосного шумового коррелятора при воздействии сосредоточенной шумовой помехи  $N_1$  с помощью представленных здесь показателей. При этом изменение помехоустойчивости зависит от расположения



помехи в полосе пропускания приемника, которое влияет в основном на изменение уровня и расположение боковых выбросов ВКФ.

Таким образом, можно оценить повышенные помехоустойчивости не только за счет увели-

чения  $(C/\Pi)_{\text{вх}}$  или времени накопления, но и вследствие отстройки энергонесущей части спектра сигнала от спектра помехи и/или расширения спектра сигнала в пределах полосы пропускания приемника 500 МГц.

Таблица 4

Сравнение коэффициентов взаимной корреляции входных сигналов корреляционного приемника и его показателей помехоустойчивости

Шумовой сигнал С1 $\Delta f_{C1} T_{\text{и}} \approx 48, f_{0N_1} \approx f_{0C1},$ $f_{0C1} - f_{0N_1} = 3 \text{ МГц},$ $\Delta f_{0N_1} / \Delta f_{C1} = 0,27$	Шумовой сигнал С2 $\Delta f_{C2} T_{\text{и}} \approx 60, f_{0N_1} < f_{0C2},$ $f_{0C2} - f_{0N_1} = 105 \text{ МГц},$ $\Delta f_{0N_1} / \Delta f_{C2} = 0,21$	Шумовой сигнал С3 $\Delta f_{C3} T_{\text{и}} \approx 100, f_{0N_1} < f_{0C3},$ $f_{0C3} - f_{0N_1} = 105 \text{ МГц},$ $\Delta f_{0N_1} / \Delta f_{C3} = 0,12$
1	2	3
$r_1(\tau, N_1 = 0)_{\text{max}} /$ $r_1(\tau, N_1 \neq 0)_{\text{max}} = 2,74 (4,4 \text{ дБ})$	$r_2(\tau, N_1 = 0)_{\text{max}} /$ $r_2(\tau, N_1 \neq 0)_{\text{max}} = 1,93 (2,8 \text{ дБ})$	$r_3(\tau, N_1 = 0)_{\text{max}} /$ $r_3(\tau, N_1 \neq 0)_{\text{max}} = 2,08 (3,2 \text{ дБ})$
$[P_{\text{осн}} / P_{\text{бок}}(N_1 = 0)] /$ $[P_{\text{осн}} / P_{\text{бок}}(N_1 \neq 0)] = 6,6 (8,2 \text{ дБ})$	$[P_{\text{осн}} / P_{\text{бок}}(N_1 = 0)] /$ $[P_{\text{осн}} / P_{\text{бок}}(N_1 \neq 0)] = 2,27 (3,5 \text{ дБ})$	$[P_{\text{осн}} / P_{\text{бок}}(N_1 = 0)] /$ $[P_{\text{осн}} / P_{\text{бок}}(N_1 \neq 0)] = 3,44 (5,4 \text{ дБ})$

Проведенный анализ характера изменений ВКФ при воздействии рассматриваемых видов помех подтвердил целесообразность применения используемой совокупности показателей для оценки помехоустойчивости корреляционного приемника.

**3. Оценка показателей помехоустойчивости корреляционного приемника последовательности шумовых импульсов.** Далее нами приведены результаты оценки степени подавления ВКФ для зондирующего сигнала С2 и при воздействии рассматриваемых видов помех. На основе анализа зарегистрированных ВКФ представлены зависимости совокупности показателей помехоустойчивости корреляционного приемника для разных областей существования ВКФ на интервале возможных значений времени запаздывания от изменения отношения  $(C/\Pi)_{\text{вх}}$ , вида и параметров помех. Точность оценки показателей помехоустойчивости корреляционного приемни-

ка последовательности шумовых импульсов зависит от отношения  $(C/\Pi)_{\text{вх}}$ , числа накапливаемых импульсов  $M$  (рис. 6) и в пределе обуславливается собственным шумом коррелятора.

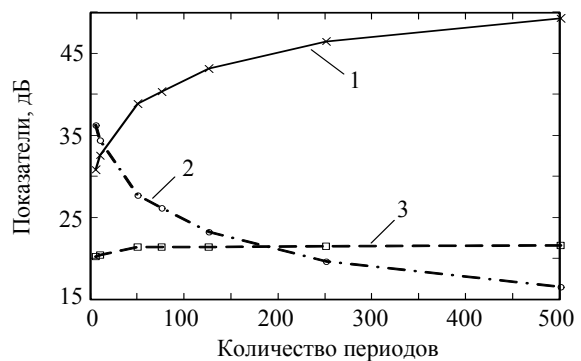


Рис. 6. Зависимости отношения  $(C/\Pi)_{\text{вх}}$  (кривая 1),  $СКУ_{\text{пом}}$  (кривая 2) и отношения  $P_{\text{осн}} / P_{\text{бок}}$  (кривая 3) при воздействии сосредоточенной шумовой помехи  $N_1$  при  $(C/\Pi)_{\text{вх}} = 0,6 \text{ дБ}$  от количества накапливаемых импульсов  $M$

Приемлемые оценки показателей помехоустойчивости исследуемого корреляционного приемника с заданными параметрами ( $f_{0c}$ ,  $\Delta f_c$ ,  $T_{и}$ ,  $M$ ) могут быть получены для отношения  $(C/\Pi)_{вх}$  при  $M > 100$  (рис. 6), обеспечивающих попадание в область малых приращений значений показателей помехоустойчивости при изменении  $M$ . Принимая во внимание характер поведения и условия наблюдения оценок ВКФ, представленных в табл. 3, отметим, что значение  $M = 125$  обеспечивает наглядность и достоверность представленных ниже показателей помехоустойчивости.

Анализ изменения формы основного лепестка наблюдаемых оценок  $B(\tau)$  и максимального значения коэффициентов взаимной корреляции  $r(\tau)_{max}$  (рис. 7, а) показал высокую устойчивость формы основного лепестка ВКФ при воз-

действии рассматриваемых помех  $N_1$ ,  $N_2$ ,  $N_3$  и уменьшении входного отношения  $(C/\Pi)_{вх}$  до  $-5...0$  дБ. Подавление основного лепестка  $B(\tau)$  имеет пороговый характер и наблюдается при значениях  $(C/\Pi)_{вх}$  около  $-10$  дБ при воздействии комбинированной помехи  $N_3$   $-15$  дБ – для монохроматической  $N_2$  и  $-18...-20$  дБ – для шумовой  $N_1$ . В то же время при уменьшении  $(C/\Pi)_{вх}$ , наблюдается близкое к линейному спадаению отношения  $(C/\Pi)_{вых}$  (рис. 7, б). При этом в зависимости от вида воздействующей помехи можно заметить их различное поведение (рис. 7, б), а также поведение коэффициента подавления помехи  $K_{под}$  (рис. 7, в). Более высокое расположение кривых  $(C/\Pi)_{вых}$  и  $K_{под}$  при воздействии шумовой помехи  $N_1$  обусловлено меньшей степенью неоптимальности коррелятора к этому виду помех и лучшей способностью к их подавлению.

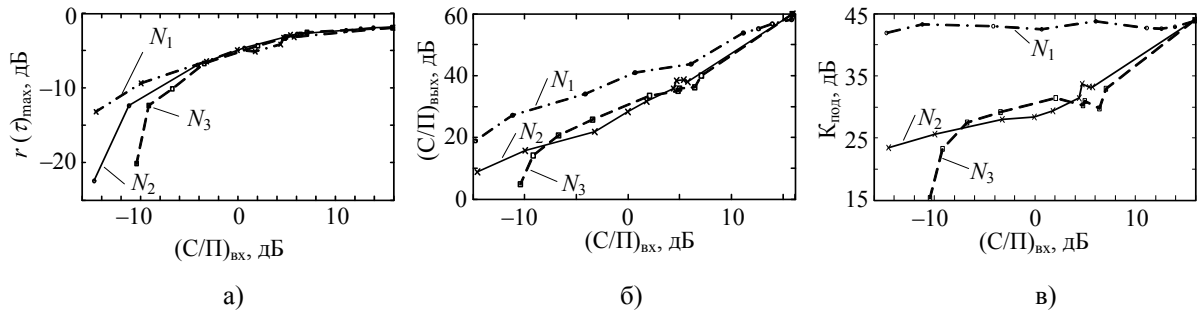


Рис. 7. Зависимость показателей помехоустойчивости коррелятора в области основного лепестка ВКФ от  $(C/\Pi)_{вх}$  при  $M = 125$  и воздействии сосредоточенной шумовой  $N_1$ , монохроматической  $N_2$  и комбинированной  $N_3$  помех

На рис. 8 показано различие и разнообразие характеристик боковых выбросов ВКФ для областей 2–4 (см. рис. 4) на интервале  $[\tau_{min}, \tau_{max}]$  при воздействии помех  $N_1$ ,  $N_2$ ,  $N_3$  и уменьшении отношения  $(C/\Pi)_{вх}$ . Также наблюдается участок значений  $(C/\Pi)_{вх} \sim$  до  $-5...0$  дБ с устойчивыми

характеристиками боковых выбросов  $\bar{B}_{max} / \bar{B}_{бл max}$  и  $B_{max} / SKY_{бок}$  (кривые для областей 2 и 3 на рис. 8, а). Действие помех носит маскирующий характер. Корреляционный приемник подавляет действующие на него помехи, но наиболее эффективно – сосредоточенную шумовую помеху  $N_1$ .

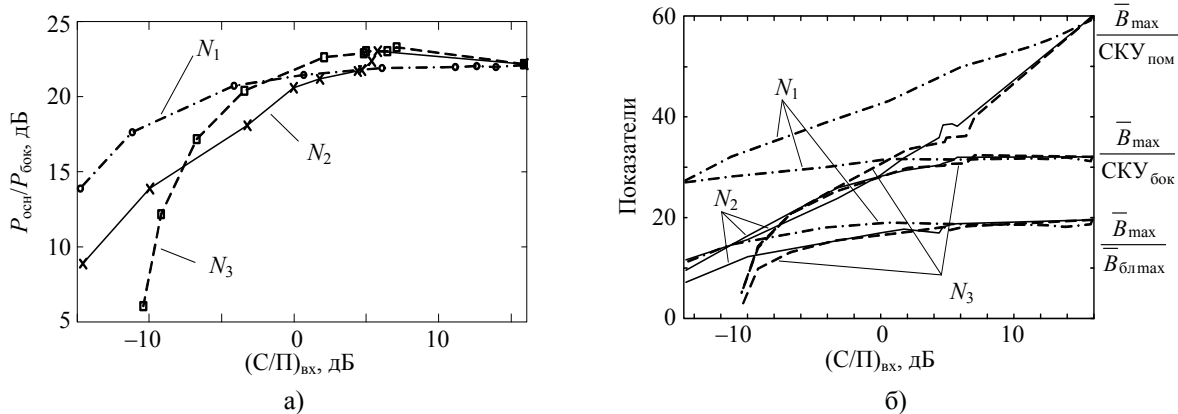


Рис. 8. Зависимость показателей помехоустойчивости корреляционного приемника, характеризующих боковые выбросы ВКФ в области 2 – ближних, 3 – дальних выбросов (а) и в области 2 – ближних, 3 – дальних и 4 – выбросов (б) ее помеховой составляющей от  $(C/\Pi)_{вх}$  при  $M = 125$  и воздействии сосредоточенной шумовой  $N_1$ , монохроматической  $N_2$  и комбинированной  $N_3$  помех

Для значений  $(C/P)_{\text{вх}} < 1$  на выходе корреляционного приемника регистрировались оценки  $B(\tau)$ , в которых одновременно с заметным ослаблением и уширением основного лепестка наблюдалось возрастание числа и уровней боковых выбросов в областях 2–4, приближающихся к уровню главного лепестка и ведущих к имитирующему эффекту воздействия помех. Пороговое развитие имитирующего действия при дальнейшем снижении  $(C/P)_{\text{вх}}$  иллюстрируется изменением интегрального показателя  $P_{\text{осн}}/P_{\text{бок}}$  (рис. 8, а) а также взаимным изменением показателей  $\bar{B}_{\text{max}}/\bar{B}_{\text{бл max}}$ ,  $\bar{B}_{\text{max}}/\text{СКУ}_{\text{бок}}$ ,  $\bar{B}_{\text{max}}/\text{СКУ}_{\text{пом}}$  (рис. 8, б).

Для определения условий гарантированного начала порогового проявления имитирующего действия для каждого из рассматриваемых видов помех могут служить моменты слияния зависимостей показателей  $\bar{B}_{\text{max}}/\text{СКУ}_{\text{пом}}$  и  $\bar{B}_{\text{max}}/\text{СКУ}_{\text{бок}}$  с последующим их спадом с приблизительно одинаковой крутизной, учитывая встречный характер изменений основного лепестка и боковых выбросов ВКФ.

Эти условия выполняются при  $M = 125$  и отношении  $(C/P)_{\text{вх}}$  равном  $-14$  дБ при воздействии шумовой  $N_1$  и  $-5$  дБ при воздействии монохроматической  $N_2$  и комбинированной  $N_3$  помех. Данные значения  $(C/P)_{\text{вх}}$ , определенные с учетом выбросов сигнальной составляющей ВКФ, задают пороги помехоустойчивости корреляционного приемника сигналов исследуемого импульсного радиолокатора [8, 9]. Указанные пороговые значения  $(C/P)_{\text{вх}}$  должны находиться за пределами условий ее нормального функционирования, когда показатели качества решения радиолокационных задач зависят только от уровня ослабленного основного лепестка ВКФ, сравнительно постоянной формы и маскирующего влияния боковых выбросов.

Различную крутизну порогового характера имитирующих эффектов воздействия отдельных видов помех можно охарактеризовать с учетом известного начала порога значениями  $(C/P)_{\text{вх}}(N_1) [-18 \div -20]$  дБ,  $(C/P)_{\text{вх}}(N_2) = -15$  дБ и  $(C/P)_{\text{вх}}(N_3) = -10$  дБ, при которых  $\bar{B}_{\text{max}} \rightarrow 0$ .

Пользуясь графиками рис. 8, можно также оценить вклад боковых выбросов ВКФ в определение условий выделения слабого сигнала на фоне сильного для областей 2–4 на интервале  $[\tau_{\text{min}}, \tau_{\text{max}}]$  при маскирующем действии рассматриваемых видов помех. Так, например, уровень слабого сигнала должен быть ниже уровня сильного сигнала для отношений  $(C/P)_{\text{вх}} > -5$  дБ не больше, чем на  $10 \dots 18$  дБ для области 2 и  $22 \dots 30$  дБ для области 3.

Анализ изменений показателей помехоустойчивости корреляционного приемника как для области высокой корреляции, так и для области боковых выбросов позволяет разделить помехи по степени возрастания опасности их воздействия в следующем порядке: шумовая  $N_1$ , монохроматическая  $N_2$  и комбинированная  $N_3$ .

**Выводы.** Предложена и реализована методика экспериментальной оценки помехоустойчивости широкополосного корреляционного приемника радиолокатора, согласованного с последовательностью шумовых импульсов, при воздействии активных непрерывных помех. Она основана на анализе характера и степени изменения формы ВКФ в нескольких выделенных участках области ее существования с помощью предложенной совокупности статистических показателей. Эти показатели характеризуют устойчивость приемника в условиях потери им оптимальности и чувствительны к изменению вида и параметров в широких пределах полезного сигнала, активной помехи и соотношений их параметров, а также количества и взаимного расположения помех в полосе пропускания приемника.

Получены оценки степени подавления ВКФ приемника радиолокатора 3-см диапазона неперекрывающимися по частоте интенсивными непрерывными помехами в виде сосредоточенной шумовой, монохроматической и их смеси (см. табл. 2) при согласованном приеме в полосе пропускания 500 МГц последовательности шумовых импульсов с заданными в табл. 1 параметрами. Экспериментальные зависимости используемой совокупности показателей помехоустойчивости от входного отношения сигнал–помеха в диапазоне  $16 \dots -16$  дБ, вида помех и соотношения спектральных параметров помехи и полезного сигнала (при количестве накапливаемых импульсов 125) представлены на рис. 7 и 8. При этом отмечается устойчивость формы основного лепестка ВКФ при снижении входного отношения сигнал–помеха до значений  $-5 \dots 0$  дБ в условиях маскирующего действия помех.

Также количественно оценен и детально проанализирован разнообразный и существенный вклад ее боковых выбросов в определение помехоустойчивости рассматриваемого приемника. Показано, что разнообразие изменений уровней боковых выбросов относительно уровня основного зависит от:

- их принадлежности к областям ближних, дальних боковых лепестков сигнальной составляющей ВКФ или области выбросов только ее помеховой составляющей;
- вида помех и различий параметров помех и полезного сигнала;

– наличия маскирующего или имитирующего воздействия помех.

Это разнообразие является следствием сочетания статистических, энергетических, спектральных и временных различий видов и параметров как самих помех, так и помех с шумовым импульсным сигналом.

Приведенные кривые показателей помехоустойчивости характеризуют способность коррелятора шумовых сигналов к подавлению наиболее опасной монохроматической помехи и смеси ее с сосредоточенной шумовой помехой. Пороги помехоустойчивости корреляционного приемника определены следующими значениями входного отношения сигнал–помеха: –14 дБ при воздействии сосредоточенной широкополосной шумовой помехи и –5 дБ при воздействии монохроматической и комбинированной помех. Подавление основного лепестка наблюдалось при различном характере имитирующего воздействия помех и входных отношениях сигнал–помеха: комбинированной –10 дБ, монохроматической –15 дБ, сосредоточенной широкополосной шумовой –18 дБ.

В табл. 4 приведены значения показателей помехоустойчивости для участков области существования сигнальной составляющей ВКФ, иллюстрирующие изменения помехоустойчивости приемника в зависимости от расположения сосредоточенной шумовой помехи в его полосе пропускания, которое влияет в основном на изменение уровня боковых выбросов. Тем самым можно оценить эффективность частотной отстройки сигнала от помехи и/или за счет увеличения ширины спектра сигнала в пределах полосы пропускания приемника.

Предложенная методика экспериментальной оценки помехоустойчивости позволяет не только количественно описать изменения ВКФ в условиях воздействия интенсивных активных непрерывных помех, оценить помехоустойчивость корреляционного приемника, но и получить достоверные данные для уточнения порога обнаружения, расчета вероятностей обнаружения и показателей качества решения других информационных задач шумового импульсного радиолокатора. Она позволяет выявить опасные виды помех, необходимость корректировки структуры сигнала и/или совершенствования коррелятора, применения соответствующих средств радиоэлектронной защиты прежде всего для нейтрализации помех на входе коррелятора, а также получить исходные данные для оценки их эффективности. Эта методика и полученные результаты могут быть использованы как на стадии проектирования, так и для оперативной оценки помехоустойчивости в процессе функционирования импульсного радиолокатора.

1. Лукин К. А. Шумовая радарная технология / К. А. Лукин // Радиофизика и электрон.: сб. науч. тр. / Ин-т радиофизики и электрон. НАН Украины. – Х., 1999. – 4, № 3. – С. 105–111.
2. Оценка характеристик шумового радара методом функции неопределенности / К. А. Лукин, А. А. Могыла, Ю. А. Александров, Т. К. Лукина // Радиофизика и электрон.: сб. науч. тр. / Ин-т радиофизики и электрон. НАН Украины. – Х., 2001. – 6, № 3. – С. 327–337.
3. Lukin K. A. The principles of Noise Radar Technology / K. A. Lukin // Proc. of the First Intern. Workshop on the Noise Radar Technology. – Yalta, 2002. – P. 13–22.
4. Comparative study of SAR image generation using liner FM and Noise waveforms / K. A. Lukin, A. A. Mogyla, N. P. Kovalenko, R. P. Kovalenko // Proc. 4<sup>th</sup> European Conf. on Synthetic Aperture Radar. – Cologne, 2002. – P. 511–514.
5. Results of Laboratory Test of Immunity of Correlator Affected by Active Continues Interferences at the Processing of Wideband Noise Pulses Sequences / K. A. Lukin, V. M. Kantsedal, A. A. Mogyla et al. // Proc. the 6<sup>th</sup> Intern. Kharkov Symp. on Physics and Engineering of Microwaves, Millimeter and Submillimeter Waves and Workshop on Terahertz Technologies (MSMW'07). – Kharkov, 2007. – 1, – P. 484–486.
6. Шумовая радарная технология / К. А. Лукин, А. А. Могыла, В. М. Канцедал и др. // Прикладная радиоэлектрон. – 2009. – 8, № 4. – С. 510–525.
7. Sar imaging with noise radar / D. Tarchi, K. Lukin, J. Fortunay-Guasch et al. // IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems. – 2010. – 46, N 3. – P. 1214–1225.
8. Диксон Р. К. Широкополосные системы / Р. К. Диксон; пер. с англ. под ред. В. И. Журавлева. – М.: Связь, 1979. – 304 с.
9. Защита от радиопомех / под ред. М. В. Максимова. – М.: Сов. радио, 1976. – 496 с.
10. Теоретические основы радиолокации / под ред. Я. Д. Ширмана. – М.: Сов. радио, 1970. – 550 с.
11. Фалькович С. Е. Оценка параметров сигналов / С. Е. Фалькович. – М.: Сов. радио, 1970. – 336 с.
12. Куликов Е. И. Оценка параметров сигналов на фоне помех / Е. И. Куликов, А. П. Трифионов. – М.: Сов. радио, 1978. – 296 с.
13. Радиотехнические системы / Ю. П. Гришин, В. П. Ипатов, Ю. М. Казаринов и др.; под ред. Ю. М. Казаринова. – М.: Высш. шк., 1990. – 496 с.

К. А. Лукин, В. М. Kantsedal, В. В. Kulyk,  
В. М. Konovalov, А. А. Mogyla,  
В. Р. Palamarchuk, P. G. Suschenko

#### EXPERIMENTAL ESTIMATION OF INTERFERENCE IMMUNITY OF THE NOISE PULSE SHORT RANGE RADAR AFFECTED BY CONTINUOUS ACTIVE INTERFERENCES

Estimations of interference immunity of the correlative receiver of short uncorrelated noise pulses consequences with a wide power spectrum (bandwidth-duration product ~ 50...100) are presented in the conditions of influence of continuous active interferences: noise one with a concentrated wide power spectrum, monochromatic one and their mixture. Character and degree of their influence are specified for the output signal of explored correlative receiving. Besides, influences of differences of spectral and power parameters of useful noise signal and interferences on receiver immunity are investigated particularly at the small values of input signal/interference ratio. Estimations of thresholds of correlative receiver immunity are determined with the set of statistic immunity indexes for the change of mutual correlations functions form.

**Key words:** noise pulse radar, correlative receiver, interference immunity, active interference type, type and parameters of the interference and signal.

К. О. Лукин, В. М. Канцедал, В. В. Кулик,  
В. М. Коновалов, А. А. Могила,  
В. П. Паламарчук, П. Г. Сущенко

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ОЦІНКА  
ЗАВАДОСТІЙКОСТІ ШУМОВОГО  
ІМПУЛЬСНОГО РАДІОЛОКАТОРА БЛИЖНЬОЇ ДІЇ  
В УМОВАХ ВПЛИВУ НЕПЕРЕРВНИХ  
АКТИВНИХ ЗАВАД

Наведено оцінки завадостійкості кореляційного прийому послідовності коротких некорельованих шумових імпульсів з широким спектром (з базою ~ 50...100) при дії

неперервних активних завад: шумової з зосередженим спектром, монохроматичної та їх суміші. Уточнено характер і ступінь їх впливу на вихідний сигнал досліджуваного кореляційного приймача, а також вплив відмінностей спектральних та енергетичних параметрів корисного шумового сигналу і завад на його завадостійкість, у тому числі при малому відношенні сигнал–завада на вході. Оцінено пороги завадостійкості кореляційного приймача з використанням сукупності статистичних показників зміни форми взаємних кореляційних функцій.

**Ключові слова:** шумовий імпульсний радіолокатор, кореляційний приймач, завадостійкість, активна завада, вид і параметри завади і сигналу.

*Рукопис поступила 04.02.11 г.*