

РАДИОЛОКАЦИОННЫЙ ОБНАРУЖИТЕЛЬ ПОДВИЖНЫХ ОБЪЕКТОВ С АДАПТИВНОЙ ВЕСОВОЙ ОБРАБОТКОЙ СПЕКТРА СИГНАЛА

Рассматриваются алгоритм и структурная схема радиолокационного обнаружителя подвижных объектов на фоне множественных дискретных мешающих отражений типа «ангел-эхо» с адаптацией весовых коэффициентов передачи (весовой функции) каналов спектрального фильтра на основе многообзорного анализа информации о спектре мешающих отражений. Показано, что использование предлагаемого радиолокационного обнаружителя позволяет существенно повысить эффективность обнаружения малоразмерных подвижных объектов.

При разработке предлагаемых алгоритма и структурной схемы обнаружителя подвижных объектов основополагающими принципами адаптивной весовой обработки спектра приняты [1]:

- адаптация весовых коэффициентов передачи (весовой функции) каналов фильтра осуществляется с учетом отличий спектров полезных сигналов объектов и мешающих отражений типа «ангел-объект» (АО) и их поведения во времени;
- адаптация их при обработке производится с использованием априорной информации, получаемой путем достаточно долгого (в течение ряда обзоров) наблюдения за спектром сигнала в низкочастотных (НЧ) каналах фильтра ДПФ в каждом разрешаемом элементе.

Основой для такого подхода является достаточно широкий доплеровский спектр сигналов АО, охватывающий «хвостом» и высокочастотную часть спектра, в которой преимущественно появляется отклик полезного сигнала объекта.

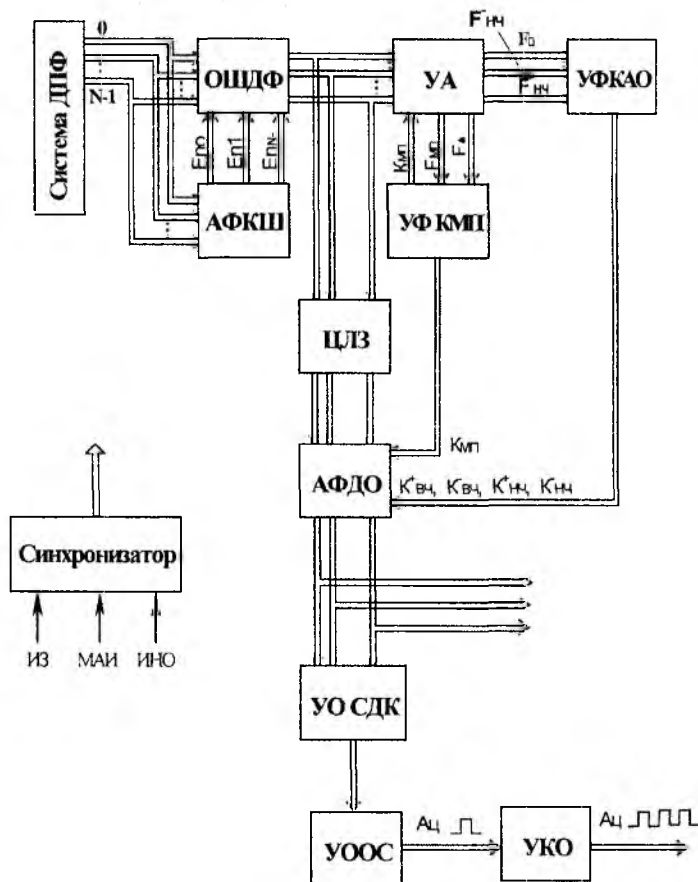


Рис. 1

Весовая функция адаптивного фильтра (АФ) может иметь несколько характерных подканалов, определенным образом связанных со статистическими характеристиками мешающих отражений и полезных сигналов объектов. Подканал местных предметов (МП) включает нулевой канал, в котором могут накапливаться сигналы, отраженные от местных предметов, АО, а также от малоскоростных объектов. Весовой коэффициент подканала $K_{мп}$ определяется программой формирования карты местных предметов (ПФ КМП) с учетом межобзорных связей сигналов. Алгоритм работы программы рассматривается ниже.

Приведенные принципы адаптивной весовой обработки спектра сигнала легли в основу обнаружителя подвижных объектов, структурная схема которого приведена на рис.1. Спектр сигнала на выходе ДПФ формируется в «скользящем окне» из N отраженных импульсов для фиксированного значения частоты посылок зондирующего сигнала F_n . При скачкообразной модуляции внутри одного обзора через N импульсов в зависимости от ширины пачки отраженных импульсов есть возможность расширения диапазона спектрального анализа доплеровских частот в интересах исключения

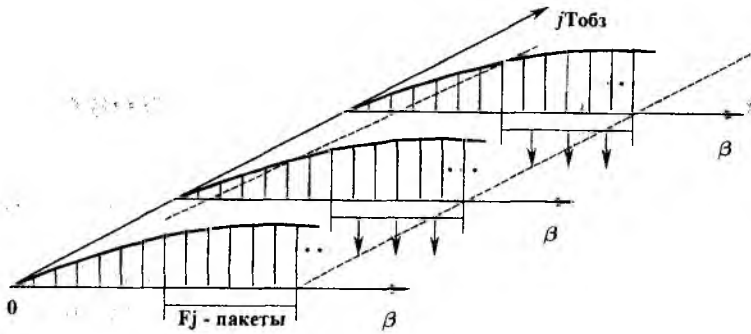


Рис. 2

пачки, скорости перемещения и др.) и вычислительных средств, с помощью которых будут реализовываться ДПФ и анализ структуры F-пакетов. В этом случае качество спектрального анализа повышается за счет увеличения количества анализируемых F-пакетов пачки отраженных сигналов.

Таким образом, выбор способа формирования F_j-пакетов будет определяться видом возбуждения F_{нj} и возможностями вычислительных средств системы ДПФ и обработки сигналов.

Дискретные спектры, полученные на “краях” пачки отраженных сигналов, могут иметь искаженную форму за счет несоответствия количества накапливаемых импульсов количеству фильтровых каналов ДПФ. Поэтому их целесообразно исключить из анализа. С этой целью необходимо предусмотреть схему анализа пачки на входе системы ДПФ или же в самой системе, например, на основе критерийной оценки амплитуд сигналов квадратурных каналов. Алгоритм работы подобной схемы анализа может быть весьма прост. По критерию *K* из *m* (*K/m*) оценивается начало или конец пачки сигналов в “скользящем окне” квадратурных каналов по превышению амплитуд сигналов порога, определяемого уровнем собственных шумов квадратурных каналов. Путем логического сложения признаков отсеиваются пакеты, анализ которых нецелесообразен.

F-пакеты с выхода системы ДПФ поступают на ограничитель шумов доплеровских фильтров (ОЩДФ), необходимый для исключения влияния спектральных составляющих шумов, накопленных в доплеровских фильтрах, на результаты анализа дискретного спектра сигнала и исключения шумовой составляющей. При этом порог ограничения E_n может устанавливаться единым для всех доплеровских каналов (рис.3) или отдельно для каждого доплеровского канала (рис.4).

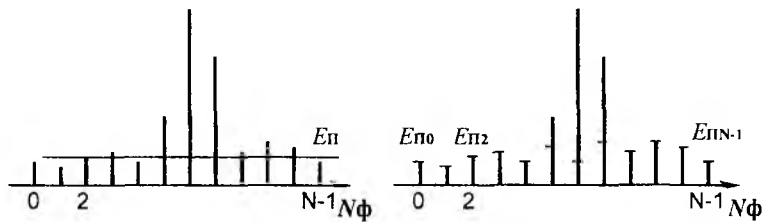


Рис.3

Рис.4

Второй вариант алгоритма более эффективен, однако требует больших вычислительных усилий. Порог ограничения E_n устанавливается в соответствии с оценкой уровня собственных и внешних шумов, накопленных в доплеровских каналах, на участках дальности, где отсутствуют сигналы целей, МП, АО и уточняется от обзора к обзору. Оценка уровня шумов и выбор порогов ограничения производится в алгоритме формирования карты шумов (АФКШ) для всех разрешаемых элементов дальности для каждого азимутального направления в каждом обзоре. Таким образом, АФКШ совместно с ОЩДФ решает задачу стабилизации уровня ложных тревог (СУЛТ) по шумовой составляющей дискретного спектра и исключая ее из дальнейшей обработки.

С выхода ОЩДФ сигналы доплеровских каналов поступают на устройство анализа (УА) структуры спектра и через цифровую линию задержки, необходимую для задержки сигналов на время анализа структуры F-пакета в УА и вычисления коэффициентов в устройствах формирования (УФ) карты местных предметов (КМП) и карты «ангел-объектов» (КАО) – на адаптивный фильтр подвижных объектов (АФДО).

В устройстве анализа оценивается суммарная интенсивность F -пакета, интенсивность сигналов подканалов МП и низкочастотных каналов фильтра НЧ⁺, НЧ⁻. Суммарная интенсивность F_{Σ} вычисляется с учетом интенсивности сигналов, накопленных в нулевом фильтре:

$$F_{\Sigma} = F_0 \cdot K_{mn\ j-1} + \sum_{i=1}^{N-1} F_i,$$

где F_0, F_i – интенсивность сигнала, накопленного в 0-м и i -м доплеровских фильтрах; $K_{mn\ j-1}$ – коэффициент, учитывающий степень накопления в нулевом фильтре энергии сигналов от местных предметов, оцененных для анализируемого элемента в УФ КМП в предыдущем $j-1$ обзоре.

При оценке интенсивности сигналов подканалов будут учитываться не все доплеровские фильтры. Поэтому для расчета коэффициентов K_{mn} , $K_{нч}$, $K_{вч}$ целесообразно пользоваться взвешенными значениями суммарной интенсивности F -пакета:

$$F_{\Sigma}(уфкмн) = \beta \times F_{\Sigma}, \quad F_{\Sigma}(уфкао) = \alpha \times F_{\Sigma}, \quad (1)$$

где $F_{\Sigma}(уфкао)$ и $F_{\Sigma}(уфкмн)$ – взвешенные значения суммарной интенсивности F -пакета для расчета весового коэффициента $K_{нч}$, $K_{вч}$, $K_{мп}$; α, β – весовые коэффициенты, учитывающие степень использования доплеровских фильтров для вычисления интенсивности подканалов НЧ, МП ($\alpha < 1, \beta < 1$). Значения α и β с учетом ограничений равны

$$\alpha = \frac{F_{нч}}{F_{\Sigma}} < 1; \quad \beta = \frac{F_{мп}}{F_{\Sigma}} < 1.$$

Значения интенсивности сигналов подканалов МП, НЧ⁺, НЧ⁻ вычисляются в соответствии с выражениями:

$$F_{нч}^{-} = \sum_{i=3N/4}^{N-1} F_i, \quad F_{мп} = F_0, \quad F_{нч}^{+} = \sum_{i=1}^{N/4} F_i.$$

Рассчитанные в устройстве анализа величины $F_{\Sigma}(уфкао)$, $F^{+нч}$, $F^{-нч}$ используются в устройстве УФ КА, а величины $F_{\Sigma}(уфкмн)$ и $F_{мп}$ в – УФ КМП.

В УФ КМП формируется карта интенсивностей сигналов, отраженных от МП, дипольных отражателей и АО, накапливаемых в нулевом фильтре и обеспечивается расчет весового коэффициента $K_{мп}$.

Алгоритм работы УФ КМП может быть описан выражениями:

$$\begin{aligned} \tilde{F}_{мпj} &= \tilde{F}_{мпj-1} + K1_{сгл} K_{мп} \cdot (F_{мпj} - \tilde{F}_{мпj-1}), \\ K_{мпj} &= 1 - \frac{\tilde{F}_{мпj}}{F_{\Sigma}(уфкмн)}, \end{aligned} \quad (2)$$

где $F_{мпj}$ и $F_{мпj-1}$ – значения оценки интенсивности сигналов подканалов МП, рассчитанное для j (текущего) и $j-1$ (предыдущего) обзоров; $F_{мпj}$ – значение интенсивности сигналов подканала МП, вычисленного в текущем обзоре в УА; $K1_{сгл}$ – коэффициент сглаживания оценки $K_{мп}$ ($K1_{сгл} < 1$).

Схема устройства, реализующего алгоритм, описанного выражениями (2), представлена на рис. 5.

Значение оценки интенсивности сигналов подканала МП $F_{мпj}$, определяемого в текущем обзоре, записывается в оперативное запоминающее устройство (ОЗУ) и используется для оценки интенсивности сигналов подканала МП в последующих обзорах.

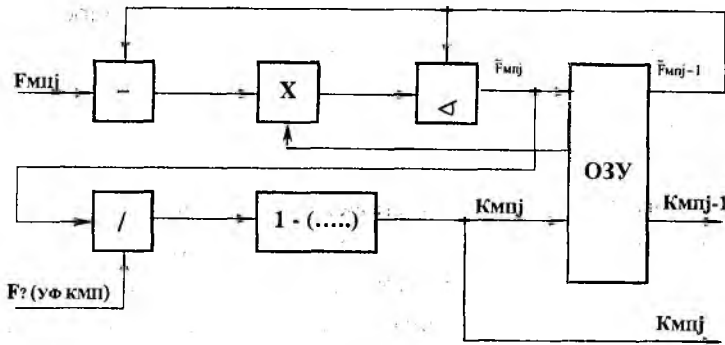


Рис. 5

В ОЗУ также хранится значение коэффициента сглаживания $K1_{cgl}$ и, кроме того, рассчитанное в текущем обзоре значение весового коэффициента $K_{мпj}$, используемое в текущем обзоре в АФДО для весовой обработки F-пакета, а в следующем обзоре – в устройстве УА. УФ КМП многоканально, число каналов равно числу элементов разрешения РЛС.

УФ КАО обеспечивает формирование карты интенсивностей сигналов «ангел-объектов», накопленных в подканалах $НЧ^+$, $НЧ^-$ доплеровского фильтра, на основе которой рассчитываются весовые коэффициенты $K_{нч}^+$, $K_{нч}^-$ и $K_{вч}^+$, $K_{вч}^-$.

Алгоритм работы устройства описывается следующими выражениями:

$$\begin{aligned} \tilde{F}^+_{нчj} &= \tilde{F}^+_{нчj-1} + K2_{cgl} \cdot (F^+_{нчj} - \tilde{F}^+_{нчj-1}), \\ K_{нчj} &= 1 - \frac{\tilde{F}^+_{нчj}}{F_{\Sigma}(уфка)}, \quad K_{вчj} = 1 - \frac{\tilde{F}^+_{нчj} \cdot K_a}{F_{\Sigma}(уфка)}. \end{aligned} \quad (3)$$

Значения величин, входящих в эти выражения, аналогичны значениям величин выражений (2); $K_a < 1$ – для учета наличия хвостов у спектра сигналов «ангел-объектов» в высокочастотных (ВЧ) каналах фильтра.

Для подканала $НЧ^-$ алгоритм работы УФ КАО можно описать выражениями (3), заменив знак «+» на «-». В соответствии с изложенным, схему устройства, реализующего данный алгоритм, можно представить в виде (рис.6.)

Значение оценок интенсивности подканалов $F_{нч^+j}$, $F_{нч^-j}$ запоминаются в ОЗУ и используются для оценки интенсивности сигналов подканалов $НЧ$ в последующих обзорах. В ОЗУ также хранится значение коэффициента сглаживания $K2_{cgl}$ и весового коэффициента K_a . Рассчитанные весовые коэффициенты $K_{нч^+}$, $K_{нч^-}$, $K_{вч^+}$, $K_{вч^-}$ в текущем обзоре попадают на АФДО для весовой обработки F-пакета.

УФ КАО также, как и УФ КМП, многоканально. Число каналов равно числу разрешаемых элементов РЛС.

В АФДО осуществляется весовая обработка сигналов доплеровских каналов в соответствии с принципами, изложенными в предыдущей статье.

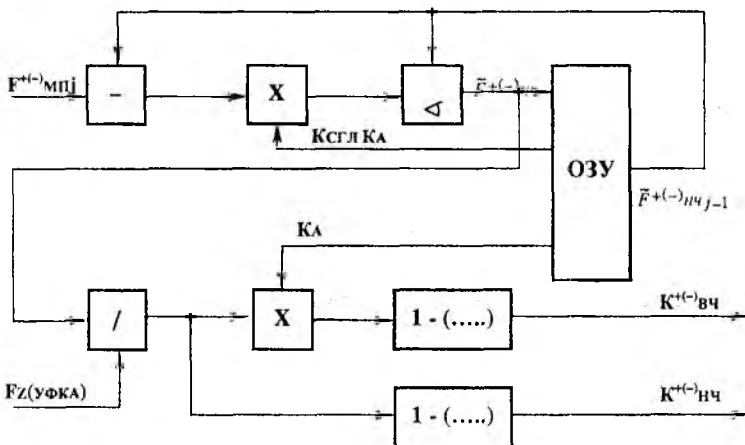


Рис. 6

С выхода АФДО сигналы могут подаваться на устройства первичной обработки (УПО), реализующие известные алгоритмы [1,2]. Однако для повышения эффективности обнаружения малоразмерных целей целесообразно предусмотреть объединение сигналов доплеровских каналов до принятия решения об обнаружении сигнала подвижного объекта. Эта задача в предлагаемом обнаружителе решается устройством объединения сигналов доплеровских каналов (УОСДК). Далее реализован алго-

ритм многопорогового обнаружения, осуществляемого последовательно. Сначала в устройстве обнаружения одиночного сигнала (УООС) осуществляется обнаружение сигналов, отраженных от объектов, МП, АО, пассивных помех, на фоне собственных, внешних шумов и остатков от активных помех. Затем в устройстве критерийной обработки (УКО) происходит обнаружение сигналов подвижных объектов на фоне МП, АО и пассивных помех. В УКО осуществляется обнаружение отметок пачки импульсов отражений от объектов, которое производится на основе анализа особенностей картины пачек импульсов от объектов, АО, МП, импульсных и других помех [2.3].

Таким образом, предлагаемый обнаружитель малоразмерных целей с адаптивной весовой обработкой дискретного спектра сигнала когерентной импульсной РЛС сочетает в себе межпериодную и межобзорную обработку сигналов с целью повышения эффективности выделения отметок малоразмерных подвижных объектов на фоне множественных дискретных помех, в том числе активных помех и мешающих отражений типа “ангел-эхо”.

Оценка эффективности алгоритмов адаптивной весовой обработки дискретного спектра сигнала

Оценка эффективности алгоритма адаптивной весовой обработки при обнаружении малоразмерных объектов когерентными импульсными РЛС проводилась на математической модели. При моделировании результат накопления пачки из N отраженных импульсов в системе ДПФ был представлен в виде совокупности сигналов N доплеровских фильтров. При этом сигнал на выходе каждого доплеровского канала x_i включал детерминированную составляющую x_{oi} и наложенные на нее случайные флуктуации y_i . Случайные флуктуации вводились с учетом составляющих, обусловленных собственными шумами тракта РЛС $y_{\Sigma i}$ и внешними шумами различного происхождения y_{Σ}

$$x_i = x_{oi} + y_{\Sigma i} + y_{\Sigma}$$

где $i = 0, 1, \dots, N-1$ – номер фильтра.

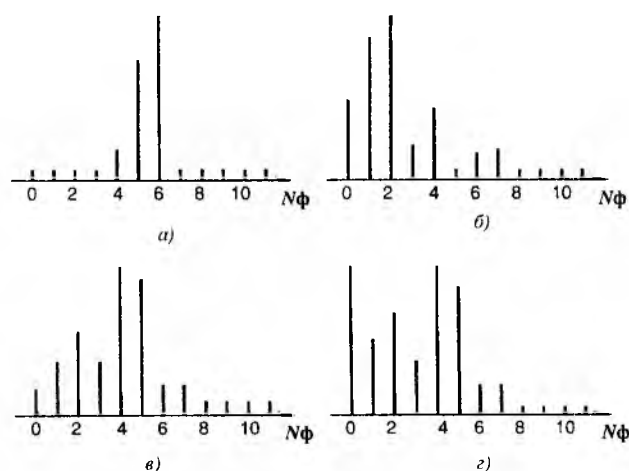


Рис. 7

Так как шумовая составляющая y_{Σ} обусловлена множеством различных статистически независимых факторов (амплитудный и скоростной шум отражателей и излучателей), то в модели ее можно представить случайной величиной, распределенной по логнормальному закону [3].

В соответствии с принципами, изложенными ранее, были разработаны алгоритм и программа математической модели адаптивной весовой обработки дискретного спектра радиолокационного сигнала. При моделировании было сформировано четыре типа массивов F-пакетов (рис. 7), размерность которых превышала 50 испытаний. Массив F-пакетов (рис. 7а) соответствует массиву дискретных спектров подвижных объектов. Массив F-пакетов (рис. 7б) – массиву спектров АО. Массив F-пакетов (рис. 7в) соответствует массиву спектров сигналов подвижного объекта и АО, находящихся в одном разрешаемом элементе, а массив F-пакетов (рис. 7г) – массиву спектров подвижного объекта, АО и местных предметов, находящихся в одном разрешаемом элементе.

В ходе моделирования было исследовано влияние величин коэффициентов сглаживания на качество адаптивной весовой обработки (рис. 8).

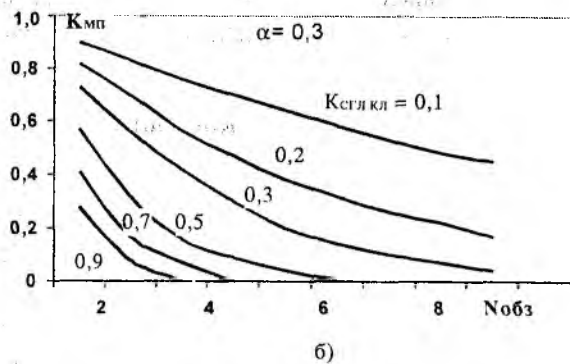
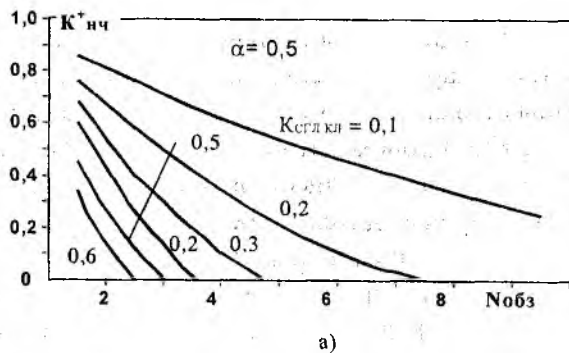


Рис. 8

Исходя из того, что сигналы местных предметов обладают достаточно большой временной стабильностью доплеровского спектра, $K1_{cgl}$ в выражении (2) целесообразно выбирать как можно меньше (повышение «доверия» к результатам оценки интенсивности подканала МП, полученным в предыдущих обзорах). Из анализа поведения КМП в зависимости от величин $K1_{cgl}$ и количества обзоров РЛС $N_{обз}$ (рис.7.б) следует, что оптимальный $K_{mn}=0$ устанавливается при $K1_{cgl}=0,5$ к седьмому обзору, а при $K1_{cgl}=0,7$ – к четвертому обзору и т.д.

Таким образом, считая время установления оптимального коэффициента K_{mn} равным 5...15 обзорам, целесообразно выбрать значение $K1_{cgl}$ равным 0,6...0,3. При этом сохраняется «доверие» к результатам, полученным в предыдущих обзорах, и учитывается возможность подавления спектральных составляющих сигнала, отраженного от АО, накапливаемого в нулевом фильтре.

$K2_{cgl}$ в выражении (3), наоборот, целесообразно выбирать близким к единице, чтобы повысить «доверие» к измененному значению интенсивности подканала НЧ, так как сигналы, отраженные от АО, обладают недостаточно высокой временной стабильностью. Однако в этом случае возможно подавление составляющих спектра сигнала подвижного объекта, накапливающихся в НЧ подканалах доплеровского фильтра. Исходя из вышесказанного, целесообразно, чтобы время установления оптимального коэффициента в подканале НЧ $K_{нч}$ равнялось не более времени 2...3 обзоров. Из анализа рис.8а также следует, что оптимальный коэффициент $K_{нч}=0$ для массива спектра смеси сигналов подвижного объекта, АО и местных предметов устанавливается за 2...3 обзора при $K2_{cgl}=0,6...0,4$.

Было исследовано влияние на результаты адаптивной обработки значений весовых коэффициентов α и β в выражениях (1). Подбор значений α и β осуществлялся с учетом выполнения условий:

$$F_{нч} / F_{\Sigma \text{ уфкка}} \leq 1 \wedge K_{нч} \geq 0,$$

$$F_{нч} / F_{\Sigma \text{ уфкmn}} \leq 1 \wedge K_{нч} \geq 0.$$

На рис. 9 приведены полученные на основе модельных экспериментов кривые зависимости $K_{нч} = f(\alpha)$ и $K_{mn} = f(\beta)$ для четырех массивов F-пакетов (рис. 7 а, б, в, г), построенные по второму (непрерывная линия) и шестому (прерывистая линия) значению коэффициентов согласно рис. 8.

Следует отметить, что при увеличении значений α и β возрастает уровень остатков МП и АО, а чрезмерное уменьшение α и β может вызвать подавление определенных спектральных составляющих полезного сигнала.

С учетом сказанного и того обстоятельства, что время установления оптимальных коэффициентов $K_{нч}$ определяется 2...3 обзорам, а время установления K_{mn} – 5...15 обзорам, можно сделать вывод о том, что оптимальное значение весового коэффициента α , оцененное по массивам а, б, в, рис. 7, составляет 0,4...0,6, а оптимальное значение весового коэффициента β , оцененное по массиву г рис. 7, находится в пределах интервала 0,25...0,3.

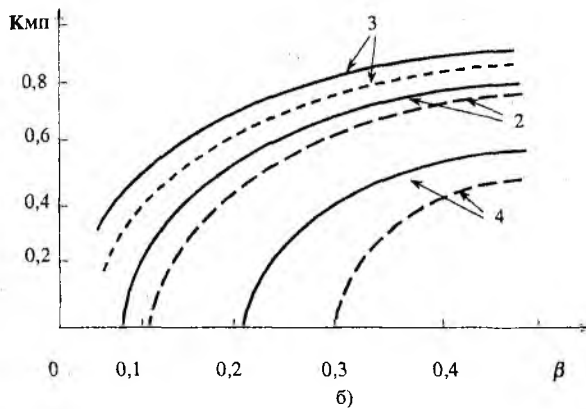
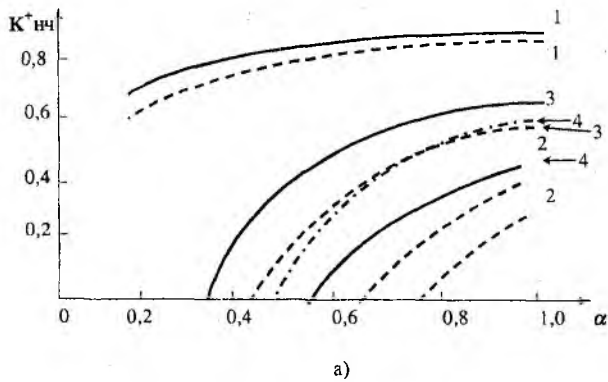


Рис. 9

следующие показатели:

коэффициенты прохождения отметок подвижных объектов $K_{\text{прох.о}}$ и «ангел-эхо» $K_{\text{прох.а}}$, определяемые как отношения количества отметок N_0 и N_a положительных экспериментов (превышение порога) к их общему количеству $N_{\text{исп}}$;

коэффициент различения отметок подвижных объектов на фоне отражений от АО и МП $K_{\text{разл.о}}$.

$$K_{\text{разл.о}} = \frac{N_0}{N_{\text{исп}}},$$

где N_0 – количество испытаний, в которых спектральные составляющие отметки подвижного объекта превысили порог $Z_{\text{пор}}$ при условии, что спектральные составляющие отражений от АО и МП не превысили данный порог. Введенные показатели эффективности характеризуют:

- $K_{\text{прох.о}}$ – вероятность правильного обнаружения отметки объекта на фоне шумов;
- $K_{\text{прох.а}}$ – вероятность ложной тревоги при отсутствии на входе сигналов полезного объекта;
- $K_{\text{разл.о}}$ – вероятность правильного обнаружения объекта на фоне шумов и остатков АО и МП.

По результатам модельных экспериментов были определены значения коэффициентов $K_{\text{прох.о}}$, $K_{\text{прох.а}}$, $K_{\text{разл.о}}$ для различных значений $Z_{\text{пор}}$, которые приведены в виде графиков на рис. 11.

При моделировании массивы F-пакетов формировались по реализациям, полученным экспериментальным путем при наличии в элементе разрешения объектов с ЭПР $\sigma_{\text{ц}} \approx 0,5 \text{ м}^2$ и «ангел-объекта» с ЭПР $\sigma_{\text{а}} \approx 0,3 \text{ м}^2$. Здесь амплитуды спектральных составляющих даны в относительных единицах (0...10), связанных с реальной амплитудой сигналов и накопленных в доплеровских фильтрах. Значение порога $Z_{\text{пор}} = 8$ принято как исходное, при котором возможно разделение сиг-

В ходе экспериментальных работ было подтверждено, что адаптивная весовая обработка позволяет снизить порог обнаружения при сохранении и даже уменьшении уровня ложных тревог (рис.10).

Это объясняется тем, что при отсутствии адаптивной весовой обработки порог $Z_{\text{пор}}$ устанавливается, исходя из максимального уровня помехи. Проходя адаптивную весовую обработку, помеховые сигналы АО уменьшаются и порог устанавливается на фоне этих остатков. На рис.10а показан F-пакет на входе системы обработки, на рис. 10б – на выходе устройства. Из анализа рис. 10 следует, что хотя амплитуда спектральных составляющих полезного сигнала объекта на выходе устройства весовой обработки уменьшается по сравнению с входной, но за счет существенного снижения порога обнаружения вероятность обнаружения отметок объектов будет возрастать.

При оценке эффективности алгоритмов адаптивной весовой обработки спектра сигнала в ходе модельных экспериментов рассчитывались

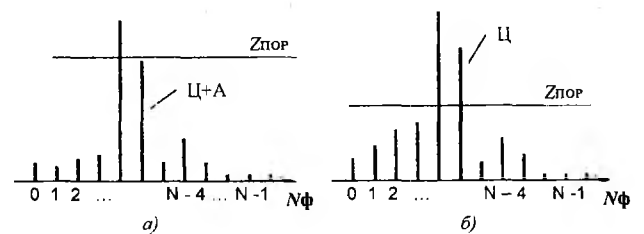


Рис. 10

налов, отраженных от локационного объекта и АО, по энергетическому признаку без адаптивной весовой обработки спектра сигнала. При этом вероятность обнаружения малоразмерных объектов будет невысокой.

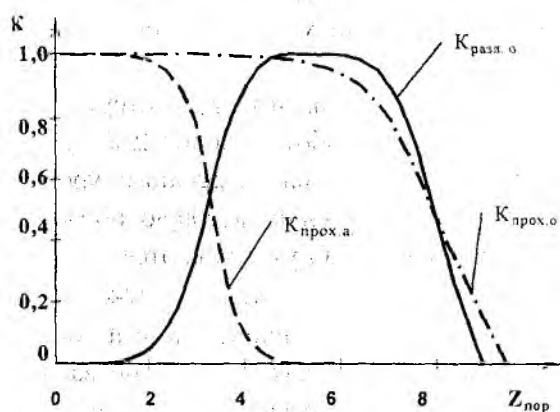


Рис. 11

Из анализа графиков (рис.11) можно показать, что при адаптивной весовой обработке спектра появляется возможность снизить порог обнаружения $Z_{пор}$ с 8 до 5, что будет соответствовать обнаружению подвижного объекта с $\sigma_{ц} \approx 0,15 \text{ м}^2$ на фоне сигналов, отраженных от АО с $\sigma_{а} \approx 0,03 \text{ м}^2$. Снижение порога до 4 позволит обнаружить объекты с $\sigma_{ц} \approx 0,07 \dots 0,05 \text{ м}^2$ на фоне АО, ЭПР которых соизмерима и даже превышает ЭПР малоразмерной цели, но при этом определенная часть сигналов АО будет проходить через устройство обработки ($K_{прох.о} = 0,12$). При $Z_{пор} = 5$ значения $K_{прох.о}$ и $K_{разл.о/АО+МП}$ близки к единице, а $K_{прех.а} = 0$. По предварительной оценке эти значения соответст-

вуют вероятности правильного обнаружения цели $D = 0,7 \dots 0,9$ при вероятности ложных тревог $F_{лт} = 10^{-5} \dots 10^{-6}$.

Эффективность использования предлагаемого алгоритма и устройства адаптивной весовой обработки дискретного спектра сигнала может быть еще существеннее в сочетании с другими техническими мерами, например, с устройствами межпериодной и многообзорной картинной обработки сигналов [2,4].

Выводы

Предложены алгоритмы и возможная схема устройства адаптивной весовой обработки дискретного спектра сигнала когерентной импульсной РЛС, сочетающие межпериодную и межобзорную обработку и учитывающие объективные различия в спектральных признаках сигналов, отраженных от подвижных объектов и «ангел-объектов».

Путем математического моделирования произведена оценка эффективности предлагаемого алгоритма. Установлено, что применение алгоритма адаптивной обработки позволит когерентно импульсным РЛС повысить эффективность обнаружения малоразмерных подвижных объектов на фоне дискретных мешающих отражений типа «ангел-объектов», имеющих ЭПР равную или превышающую ЭПР подвижных объектов. По предварительной оценке качественные показатели обнаружения малоразмерных объектов, ЭПР которых составляет $0,1 \dots 0,2 \text{ м}^2$, имеют значения вероятности правильного обнаружения $D = 0,7 \dots 0,9$ при вероятности ложных тревог $F_{лт} = 10^{-5} \dots 10^{-6}$.

Список литературы: 1. Жирнов В.В Принципы адаптивной весовой обработки спектра сигнала в обзорных РЛС с системой дискретного преобразования Фурье // Радиотехника: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. 2001. Вып. 124. 2. Жирнов В.В., Литвинов В.В. Проблема «ангел-эхо» и цифровые картинные технологии обработки радиолокационных сигналов и информации // Сб. докладов 4-й Межд. науч.-техн. конф. «Радиолокация, навигация, связь» – Воронеж, 1998, Т. 2, С. 795–800. 3. Литвинов В. В., Жирнов В. В., Филлюшкин И. П. Особенности обработки и обнаружения радиолокационных сигналов целей на фоне дискретных мешающих отражений типа «ангел-эхо» // Судостроительная промышленность. Сер. РЛ. Вып. 29. 1991. С. 83-88. 4. Дохов А.И., Жирнов В.В. и др. Совершенствование процедур обработки сигналов и информации при радиолокационном обнаружении и сопровождении малозаметных объектов // Радиотехника: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. 1999. Вып. 110. С. 91-102. 5. Дохов А.И., Жирнов В.В. и др. Принципы защиты радиопеленгаторов в условиях воздействия мешающих отражений типа «ангел-эхо» // Радиотехника: Всеукр. межвед. научн.-техн. сб. 1997. Вып. 104. С. 112 – 119.