

ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРИЁМНИКА ИМИТОСТОЙКИХ СИГНАЛОВ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СИСТЕМ С АКТИВНЫМ ОТВЕТОМ

Леньшин Андрей Валентинович

доктор технических наук, доцент, профессор кафедры военного учебно-научного центра Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина».

E-mail: andrey-lenshin@yandex.ru.

Адрес: 394024, г. Воронеж, ул. Калинина, д. 27.

Лебедев Виктор Владимирович

преподаватель филиала военного учебно-научного центра Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» в г. Сызрани.

E-mail: vic078@yandex.ru.

Адрес: 446007, Самарская область, г. Сызрань, ул. Маршала Жукова, д. 1.

Аннотация: Представлен алгоритм обнаружения запросных сигналов имитостойкого режима опознавания радиолокационной системы с активным кодовым ответом, в котором предлагается использовать поэтапный анализ принимаемых сигналов, включающий обнаружение преамбулы, импульса подавления боковых лепестков и информационной группы, что позволяет уменьшить время на принятие решения средствами предупреждения об облучении и исполнительной радиотехнической разведки комплексов радиоэлектронного противодействия. Предложен подход к построению приёмника станции исполнительной радиотехнической разведки сигналов имитостойкого режима опознавания на основе алгоритма обнаружения сигналов с непрерывной фазой. Получены характеристики обнаружения запросных сигналов для двух подрежимов опознавания. Проведено сравнение характеристик обнаружения разработанного приёмника с оптимальным приёмником и энергетическим приёмником с известной полосой частот, занимаемой сигналом, применяемым в типовых станциях исполнительной радиотехнической разведки.

Ключевые слова: РЛС, активный ответ, система опознавания, обнаружение, радиотехническая разведка.

Для расширения функциональных возможностей бортового радиоэлектронного оборудования при работе с радиолокационными системами с активным кодовым ответом [1] целесообразна реализация в станциях исполнительной радиотехнической разведки (РТР) и предупреждения об облучении комплексов радиоэлектронного противодействия [2], функций по излучению и приёму сигналов имитостойких режимов современной системы опознавания Mark-12a [3, 4].

Особенностями сигналов системы опознавания Mark-12a с имитостойким режимом работы Mode 5 (M5) являются наличие опорной группы (ОГ) импульсов (синхрогруппы) с времяимпульсной модуляцией, определяющей подрежим опознавания, и частотная модуляция с непрерывной фазой (ЧМНФ, MSK) импульсов преамбулы и подавления боковых лепест-

ков (ПБЛ) 16-разрядной последовательностью Уолша, используемой при декодировании информационной группы [5]. В настоящее время в режиме M5 основными являются подрежимы M5L1 (имитостойкое опознавание) и M5L2 (поддержка функций АЗН-В) [2].

Обнаружение факта излучения запросных сигналов (ЗС) решается путём приёма и распознавания ОГ, включающей четыре импульса преамбулы и импульс ПБЛ, из которых извлекается информация о подрежиме опознавания, виде запроса, используемой функции Уолша и направлении излучения запросчика [5]. Полученная из ОГ информация используется для сигнализации об облучении, принятия решения о радиопротиводействии (излучение провоцирующего запроса и/или формирование помехи) и/или обнаружения и декодирования информационной группы (ИГ) [6].

Целью работы является получение характеристик обнаружения синтезированного приёмника имитостойких сигналов, реализующего предложенный алгоритм обнаружения, и сравнение полученных характеристик с характеристиками обнаружения оптимального приёмника и энергетического обнаружителя.

Основу алгоритма обнаружения [7] составляет методологический подход к обнаружению сигналов с модуляцией с непрерывной фазой (МНФ) в системах с кодовым разделением каналов [8]. Запросный сигнал режима М5 аналитически может быть представлен в виде

$$s_{3C}(t) = A \sum_{n=0}^3 s_1(t - t_n, k) p(t - t_n) + A_{II} s_1(t - t_{II}, k) p(t - t_{II}) + A \sum_{m=0}^{M-1} s_1(t - t_m, k) \cdot p(t - t_m), \quad (1)$$

$$\text{где } p(t - t_i) = \begin{cases} 1 | t_i \in [t_0 + iNT, t_0 + (i+1)NT]; \\ 0 | t_i \notin [t_0 + iNT, t_0 + (i+1)NT] \end{cases}$$

A и A_{II} – амплитуды импульсов преамбулы (ИГ) и ПБЛ; t_n и t_{II} – моменты времени появления импульсов преамбулы и ПБЛ; t_m – моменты времени появления m -го из M импульсов ИГ;

$s_1(t, k) = \sum_{i=0}^{N-1} U_M \cos(2\pi f_c t + \pi b_i(k)/2T + \varphi_i)$ при $t_0 \leq t \leq t_0 + NT$ – временное представление импульса ЗС, частотно-манипулированного 16-разрядной последовательностью Уолша; U_M – амплитуда сигнала; t_0 – время начала сигнала; $N=16$ – количество элементов сигнала; T – длительность элемента (посылки) сигнала; f_c – несущая частота сигнала; $b_i(k) = \text{sign}(\text{wal}(k, \theta_i))$ – знак i -го элемента посылки на интервале времени $[t_0 + iT, t_0 + (i+1)T]$; $\text{wal}(k, \theta)$ – функция Уолша под номером k , определенная на интервале $[0, NT]$; $\theta_i = t_i/NT$, $\theta_i \in [0, 1]$ – безразмерное время, в моменты которого формируются значения $b_i(k) \in \{-1; 1\}$;

$\varphi_i = \frac{\pi}{2} - \sum_{j=1}^{i-1} b_j - b_i \frac{(i-1)\pi}{2} + \varphi_c$; φ_c – начальная фаза сигнала. Для MSK-сигналов индекс модуляции $\beta = \Delta f_p T = 0,5$, где Δf_p – разнос частот.

Импульсы преамбулы можно представить в виде

$$u_k(t) = \sum_{n=0}^{L-1} a_k(n) p(t - nT), \quad (2)$$

где $p(t)$ – импульс длительности; $\{a_k(n), 0 \leq n \leq L\}$ – кодовая последовательность, содержащая $L=16$ чипов, определяющих расстановку импульсов преамбулы во времени. Блок данных длиной N (последовательность Уолша) для k -го адресного сигнала определяется вектором $\mathbf{b}_k = [b_k(1) \dots b_k(N)]^T$.

Эквивалентный низкочастотный сигнал запишем как

$$s_k(t) = \sqrt{E_k} \sum_{i=0}^{N-1} b_k(i) g_k(t - iT), \quad (3)$$

где E_k – энергия сигнала на бит. Реализация сигнала на входе обнаружителя $r(t) = s(t) + n(t)$, $n(t)$ – белый гауссовский шум.

Обнаружитель выбирает наиболее правдоподобную последовательность $\{b_k(n), 1 \leq n \leq N, 1 \leq k \leq K\}$ по принимаемому сигналу $r(t)$, наблюдаемому на интервале времени $0 \leq t \leq NT + 2T$. Функция правдоподобия символа преамбулы имеет вид

$$\Lambda(\mathbf{b}) = \int_0^{NT+2T} \left[r(t) - \sum_{k=1}^K \sqrt{E_k} \sum_{i=1}^N b_k(i) g_k(t - iT) \right]^2 dt. \quad (4)$$

Последовательность символов $\{b_k(n)\}$ выбирается путём получения наилучшей линейной оценки $\hat{\mathbf{b}}_K$ – величины $\{b_k(n), 1 \leq n \leq N, 1 \leq k \leq K\}$, которая минимизирует логарифм функции правдоподобия

$$\Lambda(\mathbf{b}_K) = (\mathbf{r}_k - \mathbf{R}_s \mathbf{b}_K)^T \mathbf{R}_s^{-1} (\mathbf{r}_k - \mathbf{R}_s \mathbf{b}_K), \quad (5)$$

где \mathbf{R}_s – матрица корреляции; $\mathbf{r}_k = [r_1 \dots r_k]$ – вектор принятой реализации.

Оценку $\hat{\mathbf{b}}_K$ запишем в виде

$$\hat{\mathbf{b}}_k = \text{sign}(\mathbf{R}_s^{-1} \mathbf{r}_k) = \text{sign}(\mathbf{b}_k^0), \quad (6)$$

где \mathbf{b}_k^0 – детектируемые символы (оценки).

Таким образом, в алгоритме обнаружения формируется решение о наличии запросного сигнала с «огibaющей» (расстановкой во времени) импульсов преамбулы и передаваемой в преамбуле кодовой последовательности Уолша, которая используется для демодуляции и восстановления информационного сообщения.

Различение подрежимов опознавания производится анализом расстановки импульсов преамбулы во времени. Для подрежима M5L1 требуется наличие импульса P_2 и импульса P_1 , а для M5L2 – минимум три импульса из четырёх. При этом импульс P_1 является «опорным», относительно которого определяется временное расположение остальных. Если обозначить наличие/отсутствие импульса логической переменной P_i , то логику принятия решения о подрежиме опознавания можно представить в виде

$$\begin{cases} P_{\text{M5L1}} \leftarrow P_1 P_2, \\ P_{\text{M5L2}} \leftarrow (P_1 P_2 P_3 P_4) \vee (\bar{P}_1 P_2 P_3 P_4) \vee (P_1 \bar{P}_2 P_3 P_4) \vee \\ \vee (P_1 P_2 \bar{P}_3 P_4) \vee (P_1 P_2 P_3 \bar{P}_4), \end{cases} \quad (7)$$

где наличие импульсов на ожидаемых временных позициях определяется подрежимом опознавания.

Структурная схема приёмника, реализующего описанный алгоритм обнаружения ЗС режима М5 с постоянным уровнем ложной тревоги, показана на рис. 1, где обозначены: ЛПТ – линейный приёмный тракт, на вход ко-

торого поступает смесь сигнала и шума и осуществляется перенос на промежуточную частоту; С – сплиттер; БСА – блок сравнения амплитуд, в котором производится сравнение амплитуд импульсов преамбулы с амплитудой импульса ПБЛ; ДФД – дифференциальный фазовый детектор; ТГ – тактовый генератор ($T = 62,5$ нс); ПР – преобразователь отсчётов модулирующей функции $r_i = \text{sign}(r_i) = \{1 | r_i \geq 0, -1 | r_i < 0\}$; БК – банк корреляторов, построенных по схеме совпадений « K из n », для идентификации одного из $K=16$ наборов данных в выборке реализации входного сигнала; РУ – решающее устройство; ЦСП – цифровой сигнальный процессор, на который поступает информация о номере функции Уолша, подрежиме опознавания и поток данных ИГ; П – потребитель, которому поступает информация об обнаружении ЗС, его виде и декодированное информационное сообщение (ИС).

С выхода ЛПТ принимаемая реализация $r(t)$ поступает на БСА и сплиттер, который разделяет данные на чётный и нечётный потоки (с относительным сдвигом $T/2$) с двукратным понижением частоты, которые обрабатываются в отдельных каналах. При тактировании в сплиттере момент запуска точки выборки относительно изменения фазы реализации сигнала носит случайный характер, поэтому в каналах изменение фазы будет различаться, что приведёт к тому, что один из каналов может обеспечить лучшую вероятность обнару-

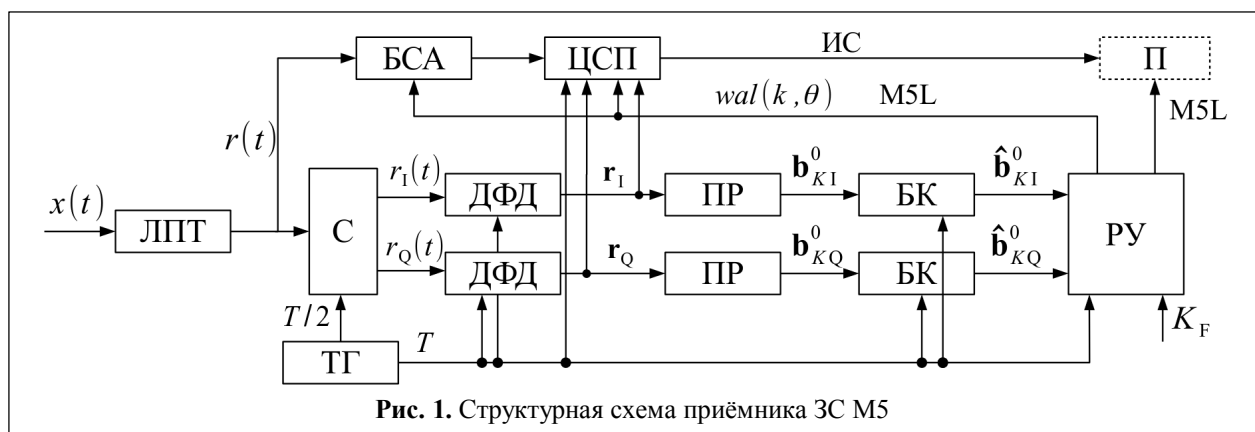


Рис. 1. Структурная схема приёмника ЗС М5

жения, чем другой во время обнаружения преамбулы и набора данных. При определении наилучшего канала, который будет использоваться для обнаружения данных ИГ, производится параллельная обработка с оценкой наилучшей корреляции для каждого набора данных преамбулы. ПР выполняет функцию двухуровневого декодера данных. При этом в процессе декодирования получается исходный код или его инверсия в зависимости от значения первого бита, который может быть произвольным «1» или «-1».

Схема коррелятора, которые используются в БК, приведена на рис. 2. Процесс корреляции данных запускается с ожидаемого времени первого символа данных на всех символах по одному.

Данные $r_k(n)$ подаются на вход регистра данных. Код Уолша сохранён в кодовом регистре. 16-битный массив сумматоров по модулю 2 (XOR) сравнивает содержание соответствующих битов входных данных с кодом Уолша. Выводы функции (XOR) подключены к сумматору, который обеспечивает вывод оценки корреляции текущего набора данных с заданной последовательностью Уолша $\hat{b}_k(n)$. Порядок данных и порядок кода Уолша должны быть строго соответствующими. Таким образом, корреляция производится на фиксированном интервале времени NT , представляющем собой тайм-слот для определённой последовательности Уолша.

Нужно отметить, что из-за биполярных значений каждой отдельной корреляции сумма

корреляции для ложных срабатываний имеет тенденцию сходиться к 0, в то время как сумма соответствующего набора данных реализации сигнала будет сходиться к положительной или отрицательной величине (в зависимости от данных, являющихся синфазными или противофазными). Максимальное абсолютное значение корреляции в соответствии с выражением (7) в РУ для подрежима M5L1 составляет $M_{M5L1} = 9 \times 16 = 144$ (импульс P_1 на двух временных позициях и трёх тайм-слотах, импульс P_2 – на одной временной позиции и трёх тайм-слотах) и для подрежима M5L2 $M_{M5L2} = 33 \times 16 = 528$.

РУ коррелирует входящий поток данных с заранее определённой маской (временным расположением импульсов) преамбулы и обнаруживает потенциальные преамбулы. Процесс осуществляется независимо от чётного и нечётного каналов, и решение об обнаружении принимается, когда преамбула обнаружена в одном из этих каналов. По наилучшей оценке выбирается канал для обработки набора данных ЗС. Уровень корреляции кодовой последовательности, содержащейся в импульсах преамбулы, должен быть выше порога по коду последовательности Уолша, и в этом случае, если временное положение импульсов преамбулы встречается в ожидаемые моменты времени, преамбула считается обнаруженной. Подрезим выбирается в соответствии с выражением (7). Данные декодируются ЦСП в зависимости от модулирующей последовательности.

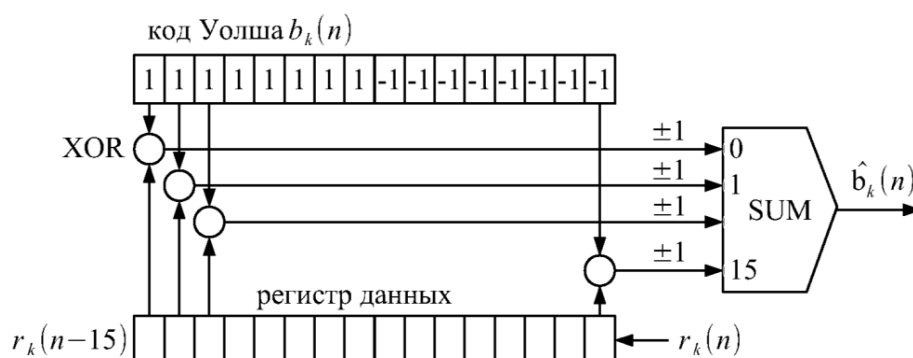


Рис. 2. Схема коррелятора в БК

При использовании преобразования с жёстким ограничением $b_i = \text{sign}(r_i) = \{1 | r_i \geq 0, -1 | r_i < 0\}$ появление знаковых битов в отсутствие сигнала ($\theta = 0$) при симметричном распределении помехи равновероятно $P(b_i = 1 | \theta = 0) = P(b_i = -1 | \theta = 0) = P(b_i = 0 | \theta = 0) = 0,5$. При появлении сигнала симметрия распределения нарушается, и задача обнаружения сводится к проверке альтернативной гипотезы $P(b_i = 1 | \theta = 1) = P(b_i = -1 | \theta = 1) > 0,5$.

В БК для обработки импульсов последовательности используются корреляторы, построенные по схеме совпадений « K из n ». Биномиальная вероятность $P(k)$ того, что существует k успешных корреляций из n попыток, определяется как

$$P_k(k) = \frac{n! p^k (1-p)^{n-k}}{(n-k)! k!} = C_n^k p^k (1-p)^{n-k}, \quad (8)$$

где p – вероятность обнаружения (получения корректного значения «-1» или «1») за одну попытку, $C_n^k = \frac{n!}{(n-k)! k!}$ – число сочетаний k элементов из множества, содержащего n различных элементов.

Порог, при котором обнаружитель пытается найти код преамбулы, является функцией требуемого уровня ложных тревог. В отсутствие сигнала $p = 0,5$ для входной реализации «сигнал+шум» – это функция отношения сигнал/шум и межсимвольных помех. Для обнаружения одного символа в корреляторах БК используется набор из $n = 16$ ячеек. Если в K ячейках корреляция достигнута, то вероятность обнаружения символа является кумулятивной вероятностью всех вероятностей от K до n

$$P_1(K) = \sum_{k=K}^n P_k(k). \quad (9)$$

Так как поиск преамбулы выполняется в двух параллельных каналах, то символ преамбулы может быть обнаружен, по крайней мере, в одном из каналов с вероятностью

$$P_{MSS1} = 1 - [1 - P_1(K)]^2. \quad (10)$$

Количество ячеек K определяет системный уровень ложных срабатываний обнаружителя. Такой подход предполагает, что преамбулы не

сортируются и каждая из них имеет право на запуск процесса декодирования ИГ ЗС.

В соответствии с (7) вероятности распознавания модулирующей функции Уолша ОГ $P_{\text{ОП}}(q, K)$ в подрежимах M5L1, M5L2 и запросного сигнала $P_{\text{ЗС}}$ определяются как

$$P_{\text{ОП M5L1}}(q, K) = P_{\text{MSS1}}(q, K) P_{\text{MSS2}}(q, K), \quad (11)$$

$$P_{\text{ОП M5L2}}(q) = 3P_{\text{MSS1}}(q, K) P_{\text{MSS2}}^2(q, K) [1 - P_{\text{MSS2}}(q, K)] + P_{\text{MSS1}}(q, K) P_{\text{MSS2}}^3(q, K) + [1 - P_{\text{MSS1}}(q, K)] P_{\text{MSS1}}(q, K) P_{\text{MSS2}}^2(q, K), \quad (12)$$

$$P_{\text{ЗС}}(q, K) = P_{\text{ОП}}(q, K) P_{\text{ИГ}}(q), \quad (13)$$

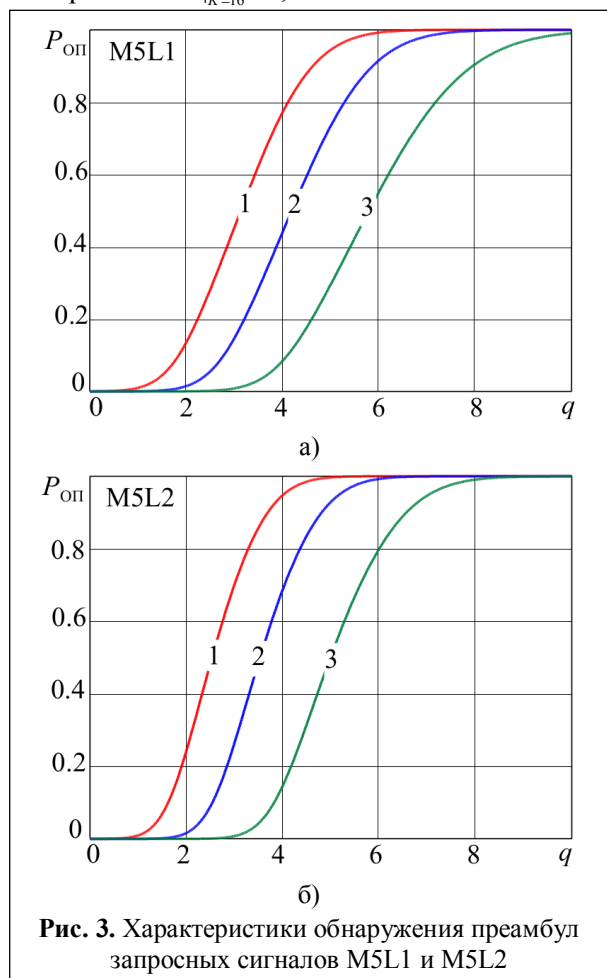
где $P_{\text{MSS1}}(q) = 1 - [1 - P_1(q_b, K)]^2$, $P_{\text{MSS2}}(q, K) = 1 - [1 - P_{\text{MSS1}}(q, K)]^9$ – вероятности обнаружения импульса ОГ на одной из трёх ожидаемых временных позициях при определении подрежима опознавания с корреляционной обработкой импульсов ОГ на трёх тайм-слотах для компенсации потерь при детектировании фазового перехода за счёт дополнительной корреляционной обработки кодовой последовательности на интервале $0 \leq t \leq NT + 2T$;

$P_1(q_b, K) = \sum_{k=K}^n C_n^k [p_b(q_b, K)]^k [1 - p(q_b, K)]^{n-k}$ – вероятность обнаружения символа преамбулы (кода Уолша) в зависимости от отношения сигнал/шум по числу ячеек коррелятора; $p_b(q_b) = 0,5 + 0,5 \cdot \psi(q_b)$ – вероятность правильного решения ПР о текущем знаке бита (элемента) последовательности; $q_b = \sqrt{2E_b / N_0}$ – параметр обнаружения бита (элемента) сигнала (импульса преамбулы); E_b – энергия сигнала на бит; $E_s = NE_b$ – энергия в импульсе преамбулы; N_0 – односторонняя спектральная плотность шума; $\psi(u) = 2 / \sqrt{2\pi} \int_0^u e^{-x^2/2} dx$ – интеграл вероятности; вероятность ложной тревоги (ВЛТ)

$F(K) = \sum_{k=K}^n C_n^k 0,5^n$; $P_{\text{ОП}}(q, K)$ и $P_{\text{ИГ}}(q)$ – вероятности обнаружения преамбулы и ИГ; $P_{\text{ИГ}}(q) = p_b(q_b)^n$ – вероятность правильного приёма ИГ из n бит без учёта кодирования.

Характеристики синтезированного приёмника запросных сигналов имитостойкого режима M5, рассчитанные по выражениям (11) и

(12), приведены на рис. 3. На рис. 3а, 3б кривые 1 построены при ВЛТ $F|_{K=14} = 2,1 \cdot 10^{-3}$, кривые 2 – при ВЛТ $F|_{K=15} = 2,6 \cdot 10^{-4}$, кривые 3 – при ВЛТ $F|_{K=16} = 1,5 \cdot 10^{-5}$.



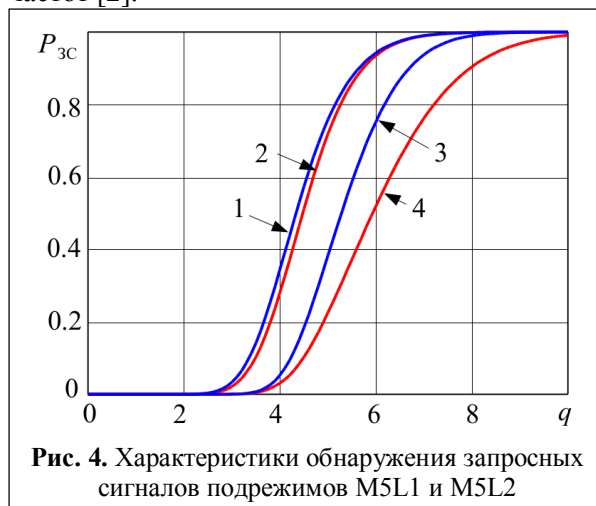
Характеристики обнаружения приёмника ЗС имитостойкого режима М5, рассчитанные в соответствии с (11)...(13), приведены на рис. 4. На рис. 4 кривые 1 и 3 – характеристики обнаружения ЗС подрежима М5L2; кривые 2 и 4 – характеристики обнаружения ЗС подрежима М5L1 при ВЛТ $F|_{K=14} = 2,1 \cdot 10^{-3}$ и $F|_{K=16} = 1,5 \cdot 10^{-5}$ соответственно.

В станциях исполнительной радиотехнической разведки и предупреждения об облучении приёмники, представляющие собой энергетические обнаружители, работают в условиях априорной неопределённости о структуре и параметрах сигналов, известной считается полоса частот, которую приблизительно занимает сигнал. В этом случае вероятность обнаруже-

ния факта излучения ЗС (наличия импульса преамбулы) может быть определена по выражению

$$P_{\text{Обн}} = F^{\frac{1}{1+q^2/2}}, \quad (14)$$

где F – заданная вероятность ложной тревоги; q – отношение сигнал/шум в заданной полосе частот [2].



Проведём сравнение характеристик обнаружения предложенного приёмника ЗС М5, энергетического обнаружителя в станциях РТР и оптимального приёмника для полностью известного сигнала. Характеристики обнаружения для оптимального приёмника определяются выражением

$$P_{\text{Опт}}(q) = \Phi[q - \arg \Phi(1 - F)], \quad (15)$$

где $\Phi(z) = (1/\sqrt{2\pi}) \int_{-\infty}^z e^{-x^2/2} dx$ – функция Лапласа.

На рис. 5 приведено сравнение характеристик обнаружения $\Delta P_1(q) = P_{\text{Опт}}(q) - P_{\text{ЗС}}(q)$ оптимального и синтезированного для ЗС режима М5 приёмников (кривая 1), а также сравнение характеристик обнаружения $\Delta P_2(q) = P_{\text{ЗС}}(q) - P_{\text{Обн}}(q)$ синтезированного для ЗС режима М5 приёмника и энергетического обнаружителя (кривая 2). Кривые построены при ВЛТ, эквивалентной значению $F|_{K=14} = 2,1 \cdot 10^{-3}$.

Использование предложенного приёмника ЗС режима М5 в станциях исполнительной РТР и предупреждения об облучении позволит обнаруживать факт излучения ЗС, распознавать подрежим опознавания, декодировать ин-

формационную группу. Анализ представленных на рис. 3-5 зависимостей показывает, что:

– запросные сигналы подрежима M5L2 могут быть обнаружены на удалениях больших, чем сигналы подрежима M5L1;

– на вероятность правильного обнаружения ЗС большее влияние оказывает вероятность обнаружения и распознавания преамбулы;

– предложенный приёмник по вероятности обнаружения факта излучения ЗС имитостойкого режима M5 при отношении сигнал/шум $1 < q < 6$ уступает оптимальному приёмнику для полностью известного сигнала и обеспечивает увеличение вероятности обнаружения ЗС по сравнению с энергетическим обнаружителем станций РТР на величину $\Delta P > 0,1$ при $q \in (2,5, 4) \cup (7, 10)$ и на $\Delta P > 0,2$ при $4 \leq q < 7$.

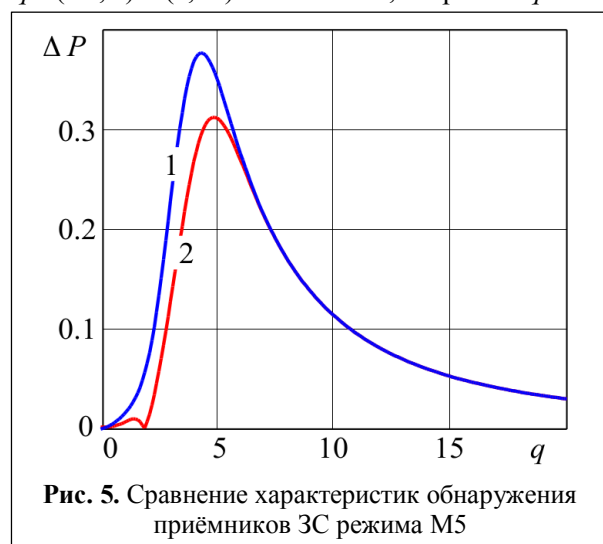


Рис. 5. Сравнение характеристик обнаружения приёмников ЗС режима M5

За счёт обработки только преамбулы в станциях предупреждения об облучении и в средствах исполнительной радиотехнической разведки повышается оперативность решения аппаратурой комплексов радиоэлектронного оборудования задачи радиопротиводействия радиолокационным системам с активным ответом в соответствии с алгоритмом функционирования [9], что приводит к увеличению про-

пускной способности и снижению информационной нагрузки на подсистему управления.

Литература

1. Радиоэлектронные системы. Основы построения и теория. Справочник. Изд. 2-е, перераб. и доп./ Под ред. Я.Д. Ширмана. – М.: Радиотехника, 2007. – 512 с.
2. Леньшин А.В. Бортовые системы и комплексы радиоэлектронного подавления. – Воронеж: ИПЦ «Научная книга», 2014. – 590 с.
3. Леньшин А.В., Лебедев В.В. Построение математической модели процесса воздействия маскирующей помехи на системы опознавания // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. – 2014. – № 2. – С. 13-19.
4. Леньшин А.В., Тихомиров Н.М., Лебедев В.В. Эффективность подавления систем радиолокации с активным кодовым ответом преднамеренными помехами // Вестник Воронежского института МВД России. – 2015. – № 4. – С. 114-121.
5. Леньшин А.В., Лебедев В.В. Характеристики обнаружения сигналов имитостойких режимов систем идентификации // Динамика сложных систем – XXI век. – 2015. – № 1. – т. 9. – С. 41-47.
6. Леньшин А.В., Тихомиров Н.М., Лебедев В.В. Эффективность подавления РЛС с активным ответом маскирующими и имитирующими помехами // Материалы XX Международной НТК «Радиолокация, навигация, связь». Том 2. – Воронеж: АО «Концерн «Созвездие», 2014. – С. 1323-1331.
7. Леньшин А.В., Лебедев В.В. Алгоритм обнаружения сигналов имитостойких режимов опознавания // Телекоммуникации. – 2016. – № 7. – С. 32-35.
8. Борисов В.И., Зинчук В.М., Лимарев А.Е., Шестопапов В.И. Помехозащищённость систем радиосвязи с расширением спектра прямой модуляцией псевдослучайной последовательностью / Под ред. В.И. Борисова. Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: РадиоСофт, 2011. – 550 с.
9. Леньшин А.В., Маевский Ю.И., Лебедев В.В. Оценка эффективности функционирования средств радиоэлектронного подавления в условиях конфликтного взаимодействия с РЛС с активным ответом // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. – 2015. – № 2. – С. 34-42.

Поступила 14 августа 2016 г.

English

Characteristics of the spoofing resistant signal receiver in radar systems with active response

Andrey Valentinovich Lenshin – Doctor of Engineering, Associate Professor, Professor of the Department Air force Military Scientific Center “Air Force Academy named after Professor N. E. Zhukovskiy and Yu.A. Gagarin”(Voronezh).

E-mail: andrey-lenshin@yandex.ru.

Address: 394024, Voronezh, street of Kalinin, d. 27.

Victor Vladimirovich Lebedev – Lecturer in the Branch of Air force Military Scientific Center “Air Force Academy named after Professor N. E. Zhukovskiy and Yu.A. Gagarin”(Syzran).

E-mail: vic078@yandex.ru.

Address: 446007, Samara region, Syzran, street of Marshal Zhukov, d.1.

Abstract: Target identification is necessarily done when detecting a target with target sight radars and it is done according to a number of attributes, the main of which is state affiliation "friend-or-foe". One of features of NATO identification systems (IS) is using the frequency plan of the international air traffic control systems having, as a rule, common radar field over states' territory. Therefore NATO IS frequency range is not provided or it is excluded for use in a peace time in radar warning facilities and electronic intelligence (ELINT). To extend functional capabilities of airbourne avionics when operating radar-tracking systems with the active code response, including IS, it is advisable to implement functions of emitting and receiving spoofing resistant signals by Mark-12a modern identification system in electronic intelligence (ELINT) control stations and radar warning systems. The specific features of the given IS is available reference pulse group with the pulse-time modulation defining the identification submode, and frequency modulation with a continuous phase of headline impulses and suppression of side lobes by 16-bit Walsh sequence when decoding information group. The article introduces the algorithm of Mark-12a challenging signal (CS) detection which employs step-by-step analysis of the received signals in favor of ELINT including headline detection, side lobes suppression impulse and information group that enables to reduce response time about radar warning facilities and electronic countermeasures systems by control electronic intelligence. Approach was suggested to develop the receiver of the electronic intelligence control station for signals of the identification spoofing resistant mode on methodological basis of continuous- phase signal detection. The article gives characteristics of challenging signal detection for two identification submodes, and comparison of detection performance of the developed receiver with the optimum receiver and the power receiver with the known frequency band occupied by the signal applied in by operational ELINT standard stations. It is shown that the suggested receiver according to detection performance is a bit inferior to optimum receiver, and has advantage in detection probability compared to the power receiver which is used in standard ELINT stations. Implementation of the offered algorithm increases solution efficiency via the electronic system equipment of IS counteraction that leads to increase in flow capacity and decrease in information load of the guidance subsystem.

Key words: RS, active response, identification system, detection, electronic intelligence.

References

1. Radio-electronic systems. Development fundamentals and theory. Reference book. 2nd Ed., rev. and enlarg. Edited by Ya.D. Shirman. - M.: Radiotekhnika, 2007. - 512 p.
2. Lenshin A.V. Airbourne systems and electronic countermeasures systems. - Voronezh: Publ.H. " Nauchnaya kniga ", 2014. - 590 p.
3. Lenshin A.V., Lebedev V. V. Mathematical modelling of the masking jamming impact process on identification systems. - Radiotekhnicheskiye i telekommunikatsionnye sistemy. - 2014. - No. 2. – P. 13-19.
4. Lenshin A.V., Tikhomirov N. M., Lebedev V. V. Efficiency of radar suppression systems with the active code response by intended jamming. - the Bulletin of Voronezh institute of Ministry of Internal Affairs of Russia. - 2015.- No. 4. – P. 114-121.
5. Lenshin A.V., Lebedev V. V. Signal detection performance of spoofing resistant modes of identification systems. - Dinamika slozhnykh sistem – XXI vek. – 2015. - No. 1. - v. 9. – P. 41-47.
6. Lenshin A.V., Tikhomirov N. M., Lebedev V. V. Efficiency of radar suppression systems with the active code response by masking and imitating jamming. - Materials of the XX International STC "Radar location, Navigation, Communication. Volume 2. - Voronezh: JSC Concern Sozvezdiye, 2014. – P. 1323-1331.
7. Lenshin A.V., Lebedev V. V. Detection signal algorithm of identification spoofing resistant modes. - Telekommunikatsii. - 2016. - No. 7. – P. 32-35.
8. Borisov V. I., Zinchuk V. M., Limarev A.E., Shestopalov V. I. Jam-protection of radio communication systems with spectrum broadening by direct modulation of pseudorandom sequenc. Edited by V. I. Borisov. 2nd Ed., rev. and enlarg - M.: Radiosoft, 2011. - 550 p.
9. Lenshin A.V., Mayevsky Yu.I., Lebedev V. V. Efficiency evaluation of functioning of electronic countermeasures systems in the environment of conflict interaction with the active response Radar. - Radiotekhnicheskiye i telekommunikatsionnye sistemy. - 2015. - No. 2. - P.