

УДК 621.396.62

А.С. Подстригаев, В.П. Лихачев, К.В. Гапенко

Сравнительный анализ показателей эффективности способов снижения неоднозначности определения частоты, возникающей на стыках каналов матричного приемника

Представлены результаты сравнительного анализа эффективности средств снижения неоднозначности определения частоты, возникающей при попадании сигнала на стык соседних частотных каналов матричного приемника. Исследованы два способа снижения неоднозначности: разделение каналов промежуточной частоты на группы с раздельной обработкой их выходного сигнала и использование устройства, выполняющего дополнительные измерения частоты на стыках частотных каналов. Предложены методики оценки эффективности на основе величины вероятности ложной тревоги, ширины полосы неоднозначности и выигрыша в отношении сигнал/шум.

Ключевые слова: неоднозначность, матричный приемник, стык каналов, крутизна АЧХ, неоднозначность определения частоты, четные каналы, полоса неоднозначности, радиотехническая разведка.

doi: 10.21293/1818-0442-2016-19-3-21-26

Матричный приемник (рис. 1) широко применяется в средствах радиотехнической разведки (РТР) [1–6]. В нем входной сигнал системой фильтров первой ступени $\Phi_{11}, \Phi_{12}, \dots, \Phi_{1m}$ разделяется по частоте на несколько каналов и после гетеродинирования преобразуется в единый для всех каналов первой ступени диапазон промежуточных частот (ПЧ) $\Delta f_{пч1}$, что обеспечивается выбором частот канальных гетеродинов $\Gamma_{11}, \Gamma_{12}, \dots, \Gamma_{1m}$. Канальные фильтры приемника также служат для исключения приема по зеркальному каналу. Далее сигнал ПЧ поступает на следующую ступень, где снова разде-

ляется по частоте и переносится во второй диапазон ПЧ (единый для всех каналов второй ступени) $\Delta f_{пч2}$ и так далее до последней ступени. Каждый частотный канал во всех ступенях снабжается индикатором ($I_{11} \dots I_{nm}$), указывающим номер сработавшего канала. Индикаторами, как правило, служат бинарные обнаружители, содержащие последовательно соединенные полосовой фильтр, амплитудный детектор и пороговое устройство [2, 7]. По набору сработавших индикаторов можно определить частоту принятого сигнала с точностью до половины полосы пропускания канала последней ступени.

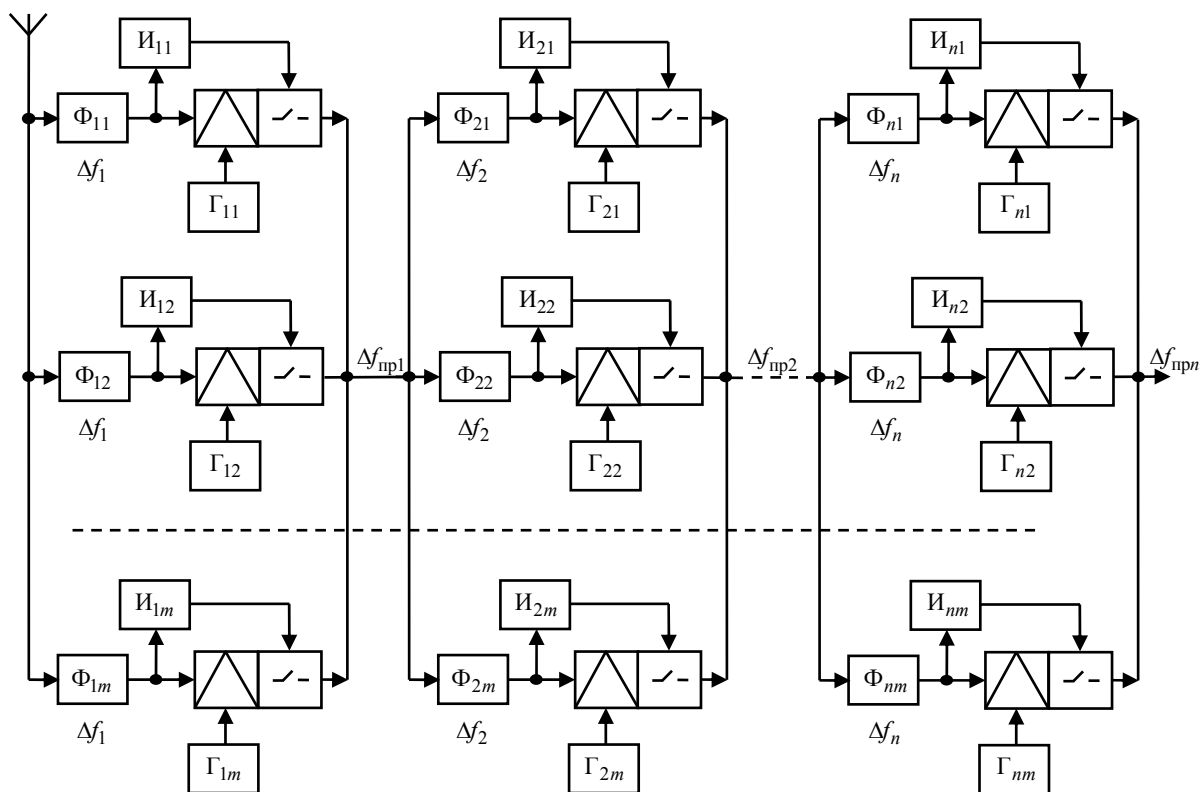


Рис. 1. Структурная схема матричного приемника

Одним из основных преимуществ схемы являются относительная простота и, как следствие, невысокие массогабаритные характеристики и стоимость. Однако существенным недостатком схемы является неоднозначность определения частоты (НОЧ). НОЧ может быть обусловлена различными причинами [8]. Одной из них является попадание сигнала на стык соседних частотных каналов. В соответствии с классификацией, предложенной в работе [8], далее такую неоднозначность будем называть неоднозначностью второго рода (НОЧ-2).

НОЧ-2 возникает при попадании мощного сигнала в смежную область соседних частотных каналов. Так как полосовые фильтры не обладают идеально прямоугольной АЧХ, сигнал, находясь в полосе одного канала, попадает в соседний. Если уровень сигнала достаточно высок, то срабатывают детекторы в обоих каналах. При этом полосы каналов переносятся в единый для ступени диапазон ПЧ. В результате, поскольку не ясно, какому из сработавших каналов соответствует обнаруженный сигнал, однозначное определение частоты на выходе приемника затруднено.

Возможна реализация различных способов устранения НОЧ-2 матричного приемника радиотехнической разведки, однако оценка их эффективности по различным показателям, например, по величине вероятности ложной тревоги, ширине полосы неоднозначности и выигрышу в отношении сигнал/шум ранее не производилась. В данной статье этот пробел устраняется.

Способы снижения неоднозначности определения частоты, возникающей при попадании сигнала на стыки соседних частотных каналов

Рассмотрим два способа снижения НОЧ-2. Первый способ заключается в разделении каналов ПЧ на группы с отдельной обработкой их выходного сигнала [9–12]. Сигналы с выходов каналов различных групп суммируются и обрабатываются отдельно. Второй способ предполагает дополнительные измерения частоты на стыках частотных каналов. Такие измерения могут быть выполнены, например, с помощью устройства, описанного в работах [8, 13] и представленного на рис. 2.

На рис. 2 представлено устройство измерения частоты (УИЧ), которое в работах [8, 13] предложено использовать для уменьшения НОЧ, обусловленной приемом совмещенных по времени и разнесенных по частоте сигналов (НОЧ третьего рода). УИЧ подключается ко входу каждой ступени приемника, за исключением последней, и позволяет уточнить определенные приемником частоты. В основу устройства положено использование цепей с ярко выраженной частотной зависимостью коэффициента передачи.

На рис. 2 сигнал со входа УИЧ, пройдя через усилитель-ограничитель (УО), разветвляется на K каналов. Каждый канал содержит последовательно включенные полосовой фильтр, формирующий по-

лосу пропускания канала Δf_i , фильтр, имеющий в полосе Δf_i наклон АЧХ, и детектор. УО устраняет зависимость сигнала от амплитуды для того, чтобы на входы каналов приходили сигналы одного уровня. Далее в каждом канале, в зависимости от частоты, сигнал приобретает соответствующую амплитуду, детектируется и поступает в устройство цифровой обработки (УЦО). УЦО включает в себя АЦП и выполняет измерение амплитуды сигнала в каждом канале, соотносении этой амплитуды с таблицей частот для каждого канала и выдает измеренное с заданной точностью значение частоты сигнала. Количество каналов УИЧ K на один больше количества каналов ступени, к которой подключено устройство, а полоса рабочих частот УИЧ перекрывает полосу рабочих частот ступени. Следовательно, серединам каналов УИЧ соответствуют границы каналов приемника и наоборот.

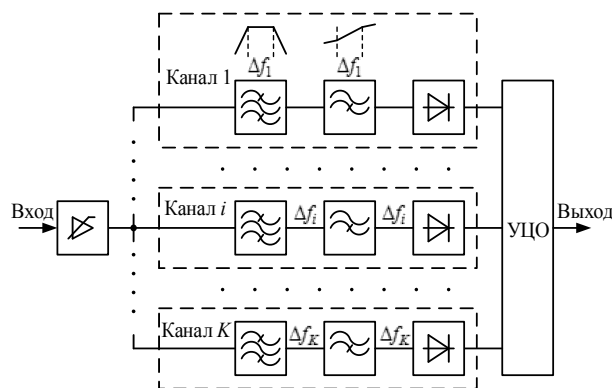


Рис. 2. Устройство измерения частоты

В настоящей работе рассматриваются результаты исследования эффективности использования только вышеуказанных способов снижения НОЧ-2.

Для исследования выбран двухступенчатый матричный приемник РТР, вторая ступень которого построена по принципу многоканального приемника без переноса частоты. В исходном состоянии каналы первой ступени принудительно закрыты и подключены к сумматору. Выход сумматора соединен со входом второй ступени. При обнаружении сигнала в одном из каналов он открывается и таким образом подключается ко второй ступени.

При моделировании заданы следующие параметры, приближенные к характеристикам реального приемника: время наблюдения $T_n = 655$ мкс, спектральная плотность мощности шума $N_0 = 10^{-20}$ Вт/Гц, АЧХ каналов аппроксимированы прямыми линиями, крутизна скатов АЧХ первой ступени $S_1 = 307$ дБ/Гц, крутизна скатов АЧХ второй ступени $S_2 = 360$ дБ/Гц, коэффициент передачи в полосе пропускания $K_0 = -3$ дБ. Полоса рабочих частот 10 ГГц, полоса каждого канала первой ступени составляет 500 МГц, полоса канала второй ступени равна 50 МГц. Величина порога обнаружения h выбиралась так, чтобы вероятность ложной тревоги

приемника в отсутствие полезного сигнала была на уровне $10^{-8} \dots 10^{-7}$.

Оценка эффективности способов снижения неоднозначности определения частоты второго рода на основе ширины полосы неоднозначности и величины вероятности ложной тревоги приемника

В качестве показателя НОЧ-2 в работе [14] предложено использовать вероятность ложной тревоги приемника $P_{лт пр}$, уточненную с учетом обнаружения сигнала за пределами частотных каналов приемника. С учетом выражений для вероятностных характеристик обнаружения в условиях полного отсутствия априорной информации о параметрах сигнала, полученных в [1, 3, 5], предложена методика оценки НОЧ-2 [15]. На основе указанной методики разработано программное обеспечение [16], формирующее вероятностные характеристики матричного приемника.

В соответствии с допущениями, принятыми в [1, 3, 5], полагалось, что сигнал существует в течение всего времени наблюдения T_n . Поэтому полученные далее вероятностные характеристики приема следует считать оптимистичными. На практике параметры сигнала, в том числе длительность импульса, для средств РТР, как правило, априорно неизвестны. Поэтому реализация оптимального приема практически невозможна, и реальные характеристики будут несколько хуже.

При разделении каналов на группы НОЧ-2 сохраняется в узкой полосе $\Delta f_{НОЧ-2}$, определяемой разрешающей способностью АЦП, установленного на выходе канала после детектора, $\Delta_{АЦП}$ и крутизной скатов АЧХ канала первой ступени приемника S_1 . В этой полосе при срабатывании обнаружителей соседних каналов разрешающей способности АЦП недостаточно для определения канала с наибольшей мощностью на выходе.

Для оценки эффективности разделения каналов на группы по методике оценки НОЧ-2 [15] необходимо задать пределы интегрирования сигнала: $[f_{i-1} - \Delta f_{НОЧ-2}, f_{i-1}]$ и $[f_i, f_i + \Delta f_{НОЧ-2}]$, где $\Delta f_{НОЧ-2} = \Delta_{АЦП} / S_1$ ($\Delta_{АЦП}$ – разрешающая способность АЦП по входной мощности).

Разрешающая способность АЦП по входной мощности находится в соответствии с выражением

$$\Delta_{АЦП} = 10 \lg(P_{вх \text{ дет max}} / P_{вх \text{ дет min}}) / 2^N, \quad (1)$$

где $P_{вх \text{ дет max}}$ – максимальная мощность на входе детектора, $P_{вх \text{ дет min}}$ – минимальная мощность на входе детектора, N – разрядность АЦП.

Учитывая высокие технические характеристики при относительно низкой стоимости, в качестве логарифмического детектора выбрана микросхема ADL5513. Тогда числитель в выражении (1) (динамический диапазон сигнала на входе микросхемы ADL5513) примет значение 70 дБ [17]. А при выборе 12-разрядного АЦП разрешающая способность бу-

дет равна $\Delta_{АЦП} = 0,017$ дБ. При крутизне ската АЧХ $S_1 = 307$ дБ/ГГц неоднозначность сохранится в полосе всего $\Delta f_{НОЧ-2} = 55,4$ кГц. По полосе $\Delta f_{НОЧ-2}$, которую далее будем называть полосой неоднозначности, также можно оценить эффективность способа.

Результаты моделирования зависимости вероятности ложной тревоги приемника от мощности сигнала на стыке каналов при различной отстройке частоты сигнала от стыка в среде MATLAB при разделении каналов на две группы с отдельной обработкой сигналов в пределах каждой группы представлены на рис. 3, а.

Способ снижения НОЧ-2, основанный на использовании частотно-зависимого устройства (ЧЗУ), также предполагает наличие полосы неоднозначности, определяемой разрешающей способностью АЦП и крутизной АЧХ ЧЗУ.

Поскольку УИЧ по сути является дополнительным приемником, подключенным к основному, его чувствительность должна быть, по возможности, не хуже чувствительности основного приемника. Однако наличие ЧЗУ неизбежно снижает чувствительность, поэтому крутизна АЧХ ЧЗУ не должна быть высокой. В то же время для повышения разрешающей способности крутизна должна быть как можно выше.

Для оценки максимально допустимой крутизны АЧХ частотно-зависимого устройства, при которой чувствительность УИЧ не хуже чувствительности основного приемника, выполнен расчет чувствительности по выражению [18]

$$P_0 = K_{ш} k T \Delta f_{ш} q, \quad (2)$$

где $K_{ш}$ – коэффициент шума линейной части приемника, $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К – постоянная Больцмана; T – абсолютная температура источника шума; $\Delta f_{ш} \approx 1,1 \Delta f_i$ – мгновенная полоса шума приемника (Δf_i – полоса i -го канала УИЧ); q – заданное отношение сигнал/шум на выходе линейной части.

Для упрощения вычислений по выражению (2) разработана программа в среде MATLAB, позволяющая варьировать характеристики звеньев и учитывать вклад каждого из них в итоговый коэффициент шума и чувствительность. Принимая $T = 343$ К, $\Delta f_{ш} = 550$ МГц ($\Delta f_i = 500$ МГц), $q = 7$ дБ, согласно расчетам чувствительность УИЧ без учета затухания в ЧЗУ составляет $P_0 \text{ УИЧ} = -104$ дБ. Вместе с тем чувствительность самого приемника при расчете по аналогичным выражениям равна $P_0 = -97,7$ дБ.

При затухании в ЧЗУ $L_{ЧЗУ} = -6,5$ дБ чувствительности приемника и УИЧ совпадают. Таким образом, для обеспечения равной чувствительности приемника и УИЧ запас затухания ЧЗУ в рабочей полосе частот должен быть 6,5 дБ. Тогда крутизна АЧХ ЧЗУ в полосе пропускания шириной 500 МГц составит $S_{ЧЗУ} = 13$ дБ/ГГц.

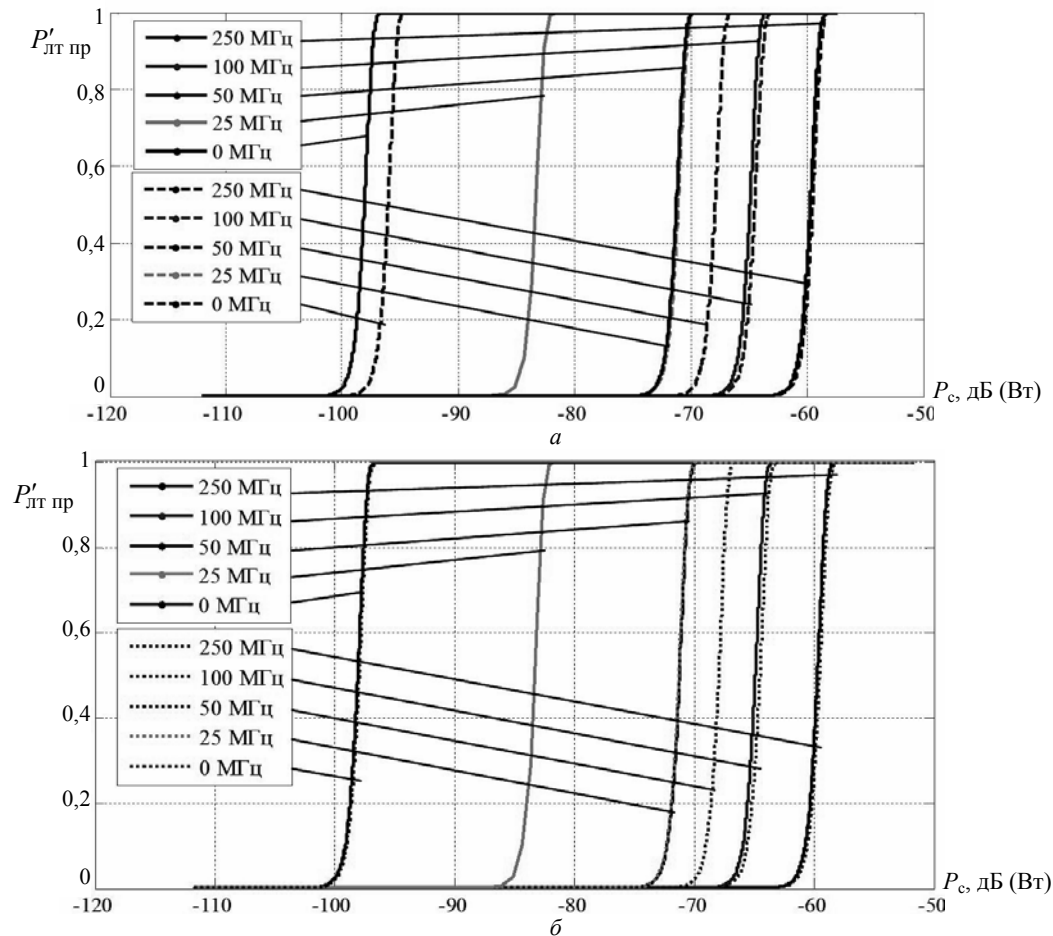


Рис. 3. Зависимость вероятности ложной тревоги матричного приемника от мощности сигнала при удалении несущей сигнала от границы канала: *a* – без средств снижения НОЧ-2 (сплошная линия) и при разделении каналов на две группы (штриховая линия); *б* – без средств снижения НОЧ-2 (сплошная линия) и при использовании УИЧ (пунктирная линия)

Аналогично первому способу НОЧ-2 сохраняется в узкой полосе $\Delta f_{\text{НОЧ-2}}$, определяемой разрешающей способностью АЦП по входной мощности установленного в устройстве цифровой обработки УИЧ, $\Delta_{\text{АЦП}}$ и крутизной АЧХ частотно-зависимых устройств в полосе *i*-го канала УИЧ $S_{\text{ЧЗУ}}$.

Для оценки эффективности использования УИЧ по методике оценки НОЧ-2 [15] необходимо задать пределы интегрирования сигнала: $[f_{i-1} - \Delta f_{\text{НОЧ-2}}, f_{i-1}]$ и $[f_i, f_i + \Delta f_{\text{НОЧ-2}}]$, где $\Delta f_{\text{НОЧ-2}} = \Delta_{\text{АЦП}} / S_{\text{ЧЗУ}}$.

Выбирая те же логарифмический детектор и АЦП, при крутизне ската АЧХ ЧЗУ $S_{\text{ЧЗУ}} = 13$ дБ/Гц, неоднозначность сохранится в полосе $\Delta f_{\text{НОЧ-2}} = 1,3$ МГц. Полученная при использовании УИЧ полоса неоднозначности приблизительно в 23 раза шире, чем при разделении каналов на группы. Результаты моделирования зависимости вероятности ложной тревоги приемника от мощности сигнала на стыке каналов при различной отстройке частоты сигнала от стыка в среде MATLAB при использовании для снижения НОЧ-2 устройства измерения частоты представлены на рис. 3, б.

Очевидно, что поскольку в обоих случаях оценка величины НОЧ-2 выполняется аналогичными

способами и при этом $S_{\text{ЧЗУ}} < S_1$, использование УИЧ дает меньший вклад в снижение НОЧ-2. Графики на рис. 3, а, б позволяют оценить эти эффекты количественно.

Представленные выше группы зависимостей вероятности ложной тревоги матричного приемника от мощности сигнала (рис. 3) при удалении несущей сигнала от границы канала показывают, что оба способа снижения НОЧ-2 уменьшают вероятность ложной тревоги приемника. При этом $P'_{\text{лт пр}}$ наиболее эффективно снижается при некоторой отстройке мешающего сигнала от границы канала (в эксперименте 25 МГц). Дальнейшее его удаление от границы канала показывает снижение эффективности. При отстройке на 100 МГц эффект от использования обоих средств снижения НОЧ-2 минимален. При отстройке до середины канала (250 МГц) эффект от использования средств снижения НОЧ-2 практически отсутствует. Это объясняется высоким затуханием сигнала при большой отстройке, а также удаленностью спектра сигнала от границы канала. Поэтому можно заключить, что для исследуемого приемника средства снижения НОЧ-2 эффективны при попадании сигнала в полосу до 70...100 МГц от границы канала. При попадании сигнала дальше от

границы канала его влияние на рост $P'_{\text{лт пр}}$ незначительно и сравнимо с влиянием шумов.

Оценка эффективности способов снижения неоднозначности определения частоты второго рода на основе выигрыша в отношении сигнал/шум

Другим показателем эффективности средств снижения НОЧ-2 является выигрыш в отношении сигнал/шум. Для его определения получены зависимости $P'_{\text{лт пр}}$ от отношения сигнал/шум q , аналогичные представленным на рис. 3. Далее на основе этих зависимостей построен график зависимостей выигрыша в отношении сигнал/шум от использования рассмотренных средств снижения неоднозначности (рис. 4).

Следует заметить, что при минимальной отстройке частоты мешающего сигнала от границы канала разделение каналов на группы является более эффективным. Для фиксированной $P'_{\text{лт пр}}$ отношение мощности мешающего сигнала к мощности шума q при стремящейся к нулю отстройке ($\Delta f \rightarrow 0$) для метода разделения каналов на группы может быть на 2 дБ выше по сравнению с методом, использующим УИЧ. При увеличении отстройки частоты мешающего сигнала от границы канала эффект от использования обоих средств снижения НОЧ-2 практически идентичен.

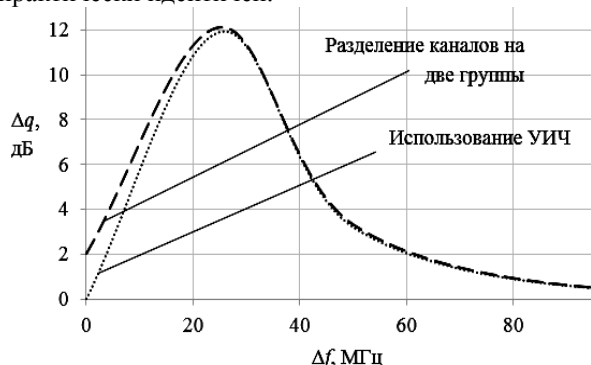


Рис. 4. Зависимость выигрыша в отношении сигнал/шум от удаления несущей сигнала от границы канала при использовании средств снижения НОЧ-2

Как отмечалось ранее, вероятностные характеристики приемника получены с учетом допущения о существовании сигнала в течение всего времени наблюдения T_n . Поскольку на практике длительность импульса может быть меньше времени наблюдения T_n , оценка эффективности способов снижения НОЧ-2 на основе вероятности ложной тревоги и выигрыша в отношении сигнал/шум является приближенной. В то же время реальная радиозлектронная обстановка характеризуется значительным количеством источников радиоизлучений, в том числе не являющихся объектами РТР. Поэтому мощность в полосе приема будет несколько выше, чем предполагалось при моделировании. Таким образом, результаты получены для частного практического случая и требуют дальнейшего уточнения.

При этом они позволяют качественно оценить эффективность средств снижения НОЧ-2 при несовпадении времени существования сигнала на входе приемника и времени наблюдения T_n .

Заключение

Выполнен сравнительный анализ показателей эффективности двух способов снижения НОЧ-2. В качестве таких показателей выбраны величина вероятности ложной тревоги, ширина полосы неоднозначности и выигрыш в отношении сигнал/шум.

Оценка по полосе неоднозначности, при попадании в которую сигналы в соседних каналах не различаются, показывает большую эффективность разделения на группы, поскольку полоса неоднозначности для этого способа в 23 раза уже полосы неоднозначности, возникающей при использовании УИЧ.

Однако на основе анализа других показателей можно сделать вывод о приблизительно одинаковом эффекте от использования обоих средств снижения НОЧ-2.

Для оценки эффективности средств снижения НОЧ-2 по значению вероятности ложной тревоги, вычисляемой с учетом обнаружения сигнала в канале при попадании за его границы, с помощью разработанной методики оценки НОЧ-2 [15] рассчитаны зависимости вероятности ложной тревоги матричного приемника от мощности сигнала при различном удалении несущей сигнала от границы канала.

Полученные группы зависимостей (рис. 3) отражают уровни сигнала, которые при заданной отстройке от границы канала с заданной вероятностью приводят к возникновению ложной тревоги в матричном приемнике. Характеристики приемника приближены к реальным. На тех же графиках показан положительный эффект от использования средств снижения НОЧ-2, зависящий от отстройки частоты сигнала от границы канала.

Также эффективность средств снижения НОЧ-2 оценивалась по выигрышу в отношении сигнал/шум (см. рис. 4). В результате численного эксперимента показано, что при приеме импульсного сигнала максимальный положительный эффект от использования средств снижения НОЧ-2 достигается в полосе до 70...100 МГц от границы канала и заключается в том, что для заданной $P'_{\text{лт пр}}$ мощность мешающего сигнала (или отношение «мешающий сигнал/шум») в соседнем канале может быть больше на величину Δq .

Следует заметить, что эффективность рассмотренных способов снижения НОЧ-2 во многом зависит от применяемой электронной компонентной базы – важны разрядность АЦП, динамический диапазон детектора и крутизна скатов АЧХ канальных фильтров.

В целом рассмотренные средства имеют приблизительно одинаковую эффективность. Поэтому при выборе конкретных средств снижения НОЧ-2 следует отдавать предпочтение другим характеристикам. Так, разделение каналов на группы позволяет подключать на выход приемника несколько уст-

роиств обработки, повышая таким образом пропускную способность. Устройство измерения частоты, как уже было сказано выше, позволяет уменьшать НОЧ третьего рода, возникающую в матричном приемнике при приеме совмещенных по времени и разнесенных по частоте сигналов. При необходимости решения обеих задач технические решения целесообразно комбинировать. В этом случае общая эффективность их работы будет определяться средством с наименьшей полосой неоднозначности.

Литература

1. Куприянов А.И. Теоретические основы радиоэлектронной борьбы: учеб. пособие / А.И. Куприянов, А.В. Сахаров. – М.: Вузовская книга, 2007. – 356 с.
2. Вакин С.А. Основы радиопротиводействия и радиотехнической разведки / С.А. Вакин, Л.Н. Шустов. – М.: Сов. радио, 1968. – 448 с.
3. Куприянов А.И. Радиоэлектронные системы в информационном конфликте / А.И. Куприянов, А.В. Сахаров. – М.: Вузовская книга, 2003. – 528 с.
4. Шлезингер Р.Дж. Радиоэлектронная война. – М.: Воениздат, 1963. – 320 с.
5. Перунов Ю.М. Радиоэлектронная борьба: радиотехническая разведка / Ю.М. Перунов, А.И. Куприянов. – М.: Вузовская книга, 2016. – 190 с.
6. Щербак В.И. Приемные устройства систем радиоэлектронной борьбы / В.И. Щербак, И.И. Водянин // Зарубежная радиоэлектроника. – 1987. – № 5.
7. Tsui J.B.Y. Microwave Receivers with Electronic Warfare Applications. – John Wiley & Sons, 1986. – 460 p.
8. Подстригаев А.С. Неоднозначность определения частоты в матричном приемнике / А.С. Подстригаев, В.П. Лихачев // Журнал радиоэлектроники: электронный журнал. – 2015. – № 2. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://jre.cplire.ru/jre/feb15/13/text.pdf>, свободный (дата обращения: 22.03.2016).
9. Wiegand R.J. Radar Electronic Countermeasures System Design. – Norwood: Artech House, 1991. – 288 p.
10. Пат. 2 284 545 РФ, МПК G 01 S 7/40, G 01 S 11/00. Корабельная система радиотехнического контроля / В.С. Байлов, А.Ф. Гришков, И.Г. Дорух, А.Э. Чекрыгин; патентообладатель ФГУП «ТНИИС». – № 2004119344/09; заявл. 24.06.04; опубл. 10.01.06. – 11 с.
11. Пат. 2 237 907 РФ, МПК7 G 01 S 7/38, H 04 K 3/00. Корабельный комплекс радиоэлектронного противодействия / А.А. Борисов, А.А. Борисов, П.А. Брыкалов, В.П. Примак, А.В. Чубаров, В.И. Шевченко; патентообладатель ДГУП «Научно-технический центр «Бригантина». – № 2002132544/09; заявл. 03.12.02; опубл. 10.10.04. – 13 с.
12. Пат. US 6 448 921 B1 США, МПК7 G 01 S 7/40. Channelized monobit electronic warfare radio receiver / James B.Y. Tsui, James N.Hedge, Vasu D.Chakravarthy, Keith M.Graves; патентообладатель Government of The United States of America as represented by The Secretary of The Air Force. – № US 09/917589; заявл. 30.06.01; опубл. 10.09.02. – 14 с.
13. Пат. 2 587 645 РФ, МПК G01R 23/00. Способ определения частоты в матричном приемнике и устройство для его осуществления / А.С. Подстригаев, В.П. Лихачев; патентообладатель ОАО «БЭМЗ». – № 2015118979/28; заявл. 20.05.15; опубл. 20.06.16. – 10 с.
14. Подстригаев А.С. Количественная оценка неоднозначности определения частоты при перекрытии каналов матричного приемника / А.С. Подстригаев, В.П. Лихачев, А.И. Уваров // Вестник Военно-воздушной академии. – 2015. – Т. 23, № 2. – С. 169–175.

15. Подстригаев А.С. Анализ вероятностных характеристик матричного приемника с учетом неоднозначности определения частоты на стыках каналов / А.С. Подстригаев, В.П. Лихачев, М.В. Ляпин // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. – 2015. – Т. 38, № 4. – С. 17–25 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://journal.tusur.ru/storage/43416/3.pdf?1464685956>, свободный (дата обращения: 05.10.2016).

16. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2016611930. Программа расчета вероятностных характеристик матричного приемника / А.С. Подстригаев, М.В. Ляпин. – Заявка №2015660937. Дата поступления 13 ноября 2015 г. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 15 февраля 2016 г.

17. Техническое описание микросхемы ADL5513 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/ADL5513.pdf, свободный (дата обращения: 23.03.2016).

18. Проектирование радиоприемных устройств: учеб. пособие для вузов / С.М. Клич, А.С. Кривенко, Г.Н. Носикова, А.П. Сиверс. – М.: Советское радио, 1976. – 487 с.

Подстригаев Алексей Сергеевич

Ассистент каф. электронных, радиоэлектронных и электротехнических систем (ЭРиЭС) Брянского гос. технического ун-та (БГТУ)
Тел. 8 (483-2) 54-64-67
Эл. почта: ap0d@ya.ru

Лихачев Владимир Павлович

Д-р техн. наук, профессор Военного учебно-научного центра Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», Воронеж
Тел.: 8 (473-2) 44-78-55
Эл. почта: lvp_home@mail.ru

Гапеев Кирилл Витальевич

Студент 4-го курса каф. ЭРиЭС БГТУ
Тел.: 8-952-967-29-25
Эл. почта: kirilldacent@yandex.ru

Podstrigaev A.S., Likhachev V.P., Gapeyenko K.V. Comparative analysis of efficiency indices of ways to reduce the frequency determination ambiguity emerging at joints of channels in radio intelligence matrix receiver

The results of comparative analysis of the efficiency of facilities reducing the frequency determination ambiguity emerging when the signal hits at the joint of adjacent frequency channels of the matrix receiver are presented. Two ways of reducing the frequency determination ambiguity are investigated: separation of intermediate frequency channels at groups with separated processing of their output signal and usage of the device taking extra measurements of frequency at joints of adjacent frequency channels. Estimation methods based on values of false-alarm probability, ambiguity band and the gain in signal-to-noise ratio are proposed.

Keywords: matrix-parallel receiver, matrix receiver, radio monitoring, radio intelligence, receiver design method, wide-band receiver, frequency plan.