

**АЛГОРИТМ ОБНАРУЖЕНИЯ ИНТЕНСИВНО МАНЕВРИРУЮЩИХ
ВОЗДУШНЫХ ЦЕЛЕЙ ДЛЯ ИМПУЛЬСНО-ДОПЛЕРОВСКОЙ БОРТОВОЙ
РАДИОЛОКАЦИОННОЙ СТАНЦИИ**

**Петров М.А., Головкина И.В.,
научный руководитель к.т.н. п/п-к Лютиков И.В.
Сибирский Федеральный университет**

Как известно, для многофункционального истребителя задача по обнаружению воздушных целей (ВЦ), в том числе интенсивно маневрирующих является первичной и весомо влияющей на исход предстоящего воздушного боя. Некоторые существующие однопозиционные импульсно-доплеровские бортовые радиолокационные станции (ИД БРЛС) обладают рядом недостатков, обусловленных следующими особенностями решения ими задачи обнаружения. Использование нескольких $n = 1, 2, \dots, N$ частот повторения зондирующих импульсов $F_{\text{г}}^{(n)}$ с целью устранения, так называемых «слепых» зон, обусловленных бланкированием приемника на время излучения и для однозначного измерения дальности до ВЦ, реализует согласованную обработку принимаемой пачки импульсов и принятие решения о её наличии или отсутствии за время каждого интервала её накопления (когерентного и (или) некогерентного). Объединение информации о результатах обработки сигналов за интервалы накопления на нескольких частотах повторения $F_{\text{г}}^{(n)}$ при этом не производится. Это приводит к нерациональному расходу энергетического ресурса станции, к потере потенциальной возможности использования результатов обработки сигналов за всё время облучения цели (все интервалы накопления на различных частотах повторения). Из работы известно, для устранения указанных недостатков в теории синтезированы алгоритмы обнаружения ВЦ для ИД БРЛС отличающиеся от существующих использованием многоканальной корреляционно-фильтровой обработки с частой во время-частотной области сеткой, учитывающей априорную неопределенность по трем параметрам (частоте Доплера, времени задержки и длительности принимаемых импульсов), а также некогерентной обработки на основе метода отношения правдоподобия за несколько частот повторения $F_{\text{г}}^{(n)}$ зондирующих импульсов. Однако данные алгоритмы не позволяют эффективно обнаруживать ВЦ, осуществляющие интенсивное маневрирование в условиях, при которых резко проявляются ракурсные зависимости как радиальной, так и тангенциальной составляющих вектора скорости ВЦ (при выполнении фигур высшего пилотажа, «зависания» её в воз-

духе, выполнения противоракетного манёвра, движения по касательной), особенно на малых дальностях.

По мере сближения истребителя с ВЦ, на которую он не наводится и находящейся на дальности R , тангенциальная составляющая скорости v_t растёт и соответственно увеличивается частотная девиация df/dt принимаемого на фиксированной длине волны λ отраженного сигнала от ВЦ.

$$\frac{df}{dt} = \frac{v_t^2}{R\lambda} \quad (1)$$

Это обстоятельство потребует увеличения размерности параметрического пространства и её учёт при создании дополнительной многоканальности путем введения в алгоритм обнаружения линейки ЛЧМ-фильтров, тем самым устраняя априорную неопределенность девиации частоты принимаемого сигнала и увеличивая тем самым степень согласованности его обработки. Этот сигнальный признак может быть использован в алгоритмах сопровождения и наведения для оценки угловой скорости линии визирования (по координатной информации измерений частотной девиации).

Учитывая указанные недостатки существующих однопозиционных ИД БРЛС по обнаружению интенсивно маневрирующих целей предлагается аналогично [4] использовать многоканальную корреляционно-фильтровую обработку с частой время-частотной сеткой, но учитывающей априорную неопределенность уже по четырем параметрам (частоте Доплера, девиации частоты, времени задержки, длительности принимаемых импульсов), а также некогерентную обработку на основе метода отношения правдоподобия за несколько частот повторения $F_i^{(n)}$ зондирующих импульсов (т.е. за всё время облучения цели, используя при этом результаты наблюдений за время предыдущих интервалов накопления). Решить данную задачу позволит разрабатываемый алгоритм.

Цель работы – описание алгоритма обнаружения интенсивно маневрирующих воздушных целей для ИД БРЛС устраняющего априорную неопределенность по времени задержки, длительности, частоте Доплера, девиации частоты принимаемого сигнала.

Синтез алгоритма осуществлен в следующей последовательности:

1. Определение максимального значения отношения правдоподобия по информации с выходов частотно-временных каналов ИД БРЛС; вычисление решающей статистики $l_{\varepsilon\beta k}^{(N)}(Z_{\varepsilon\beta k}^{(N)})$;

2. Получение закона распределения решающей статистики $f(Z_{\varepsilon\beta k}^{(N)})$;

3. Определение критической области критерия отношения правдоподобия по распределению решающей статистики $f(Z_{\varepsilon\beta k}^{(N)})$ путем нахождения значения порога $V_{\text{лт}}^{(N)}$, обеспечивающего заданную условную вероятность ошибки первого рода – условную вероятность ложной тревоги $P_{\text{эо}}$.

Как известно [12], под обнаружением понимается процесс принятия решения о наличии или отсутствии цели в разрешаемом объеме за время наблюдения с требуемым качеством. Отраженный от интенсивно маневрирующей ВЦ квазинепрерывный сигнал на входе приемника ИД БРЛС в режиме высокой частоты повторения (ВЧП) представляет собой многомерную величину в пространстве своих параметров: угол места ε , азимут β , наблюдаемое время задержки $t_{\zeta i}^{(n)}$ в пределах одного периода однозначного измерения дальности, длительность принимаемых импульсов $\tau_{\xi}^{(n)}$, частота Доплера F_D , девиация частоты $\Delta f_A(\mu)$ и, таким образом, на фиксированном за время наблюдения азимутально-угломестном положении главного луча ДН ФАР является пачкой линейно-частотно модулированных из $M^{(n)}$ импульсов с параметром $\mu = 2\pi\Delta f_A / \tau_{\xi}^{(n)}$, длительность $\tau_{\xi}^{(n)}$ которых на n -ой частоте $F_i^{(n)}$ повторения представляет собой кусочно-заданную функцию от наблюдаемого времени задержки $\tau_{\xi}^{(n)}(t_{\zeta i}^{(n)})$ (2).

$$\tau_{\xi}^{(n)} = \begin{cases} 0, t_{\zeta i}^{(n)} = 0 \text{ или } t_{\zeta i}^{(n)} = T^{(n)} \\ 0, 0 < t_{\zeta i}^{(n)} \leq \tau_{\text{дл}}^{(n)} \\ t_{\zeta i}^{(n)} - \tau_{\text{дл}}^{(n)}, \tau_{\text{дл}}^{(n)} - t_{\zeta i}^{(n)} < t_{\zeta i}^{(n)} \leq \tau_{\text{дл}}^{(n)} + t_{\zeta i}^{(n)} \\ T^{(n)} - t_{\zeta i}^{(n)}, \tau_{\text{дл}}^{(n)} < t_{\zeta i}^{(n)} < T^{(n)} \end{cases} \quad (2)$$

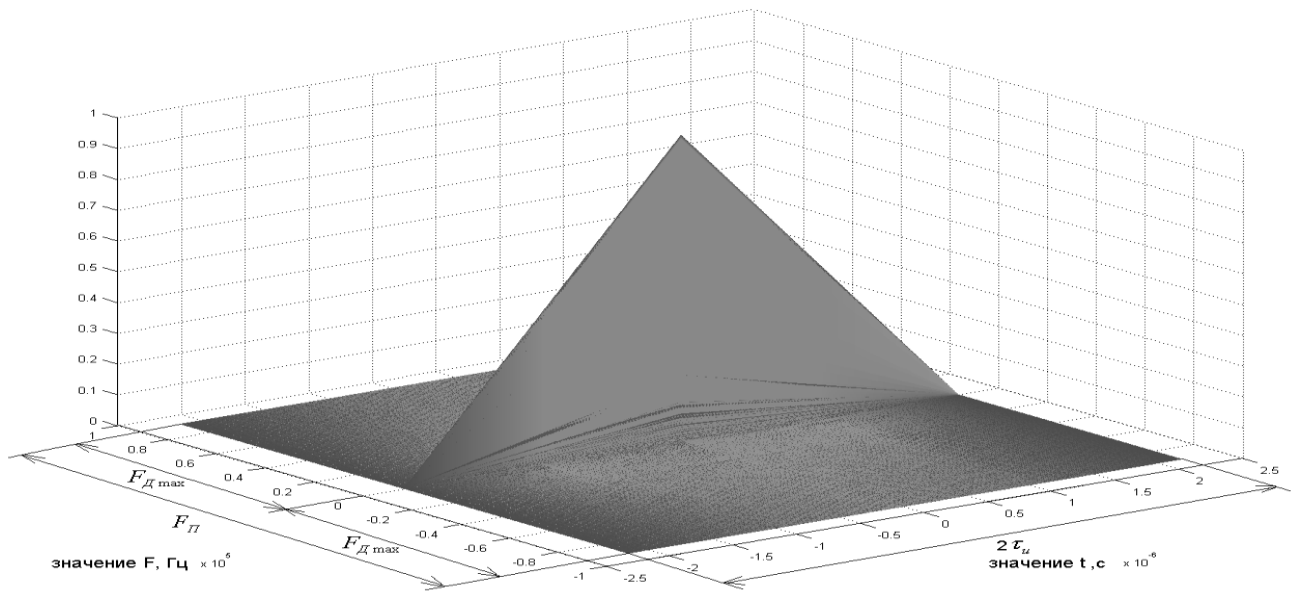


Рисунок 1 – Главный пик функции рассогласования пачки радиоимпульсов при $\Delta f_{\bar{A}} = 0$

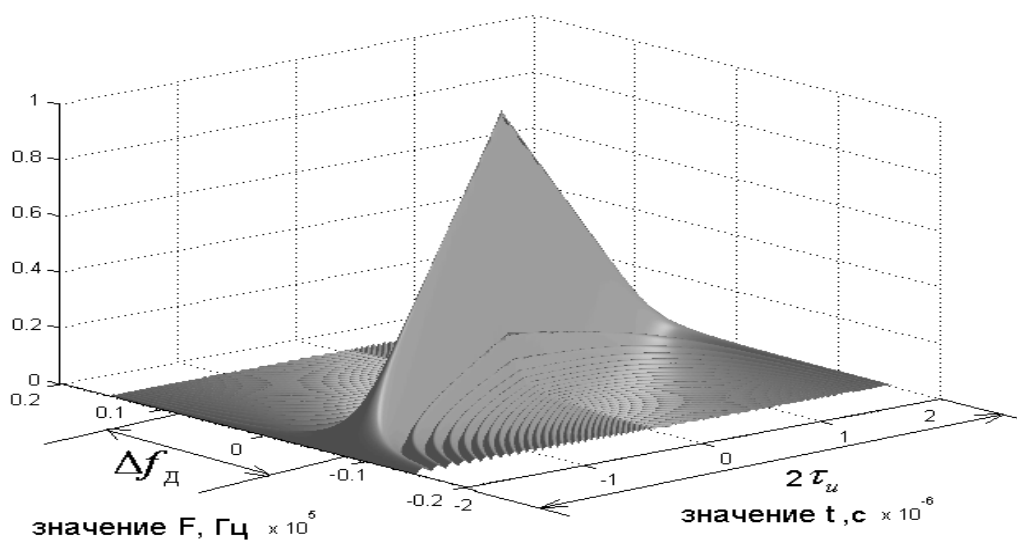


Рисунок 2 – Главный пик функции рассогласования пачки ЛЧМ-радиоимпульсов при $\Delta f_{\bar{A}} \neq 0$

Ввиду отсутствия априорной информации о местоположении и скорости ВЦ объективно существует неопределенность этих параметров. Вид ограниченной области двумерной функции неопределенности (функции рассогласования) от рассогласования по времени и частоте, при условиях, что девиация частоты $\Delta f_{\bar{A}} = 0$ и $\Delta f_{\bar{A}} \neq 0$ показан на рисунках 1 и 2, соответственно.

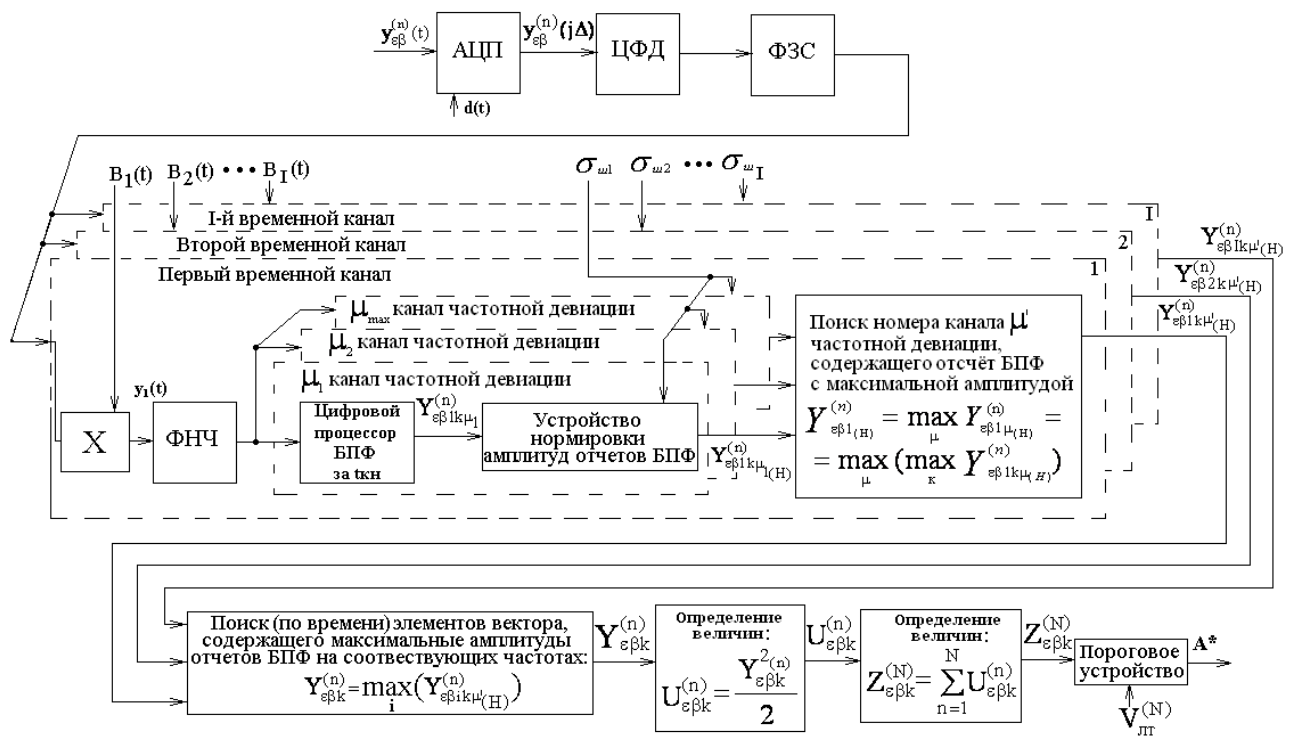


Рисунок 3 - Схема синтезированного алгоритма

Для устранения неопределенности ожидаемых параметров принимаемого сигнала и тем самым увеличения степени согласованности его обработки, предлагается в обнаружителе ИД БРЛС «нарезать» сетку по этой области пространства с заданными шагами по каждому из параметров: $\Delta\varepsilon$, $\Delta\beta$, ΔT_s , $\Delta F_{\dot{A}}$, $\Delta\tau_{\dot{\varepsilon}}^{(n)}$, $\Delta f_{\dot{A}}$.

Таким образом, устройство, реализующее согласованную обработку сигнала должно быть многоканальным по каждому из его параметров (рисунок 3).

Выводы

Таким образом, синтезированный алгоритм обнаружения интенсивно маневрирующих ВЦ для ИД БРЛС на основе метода отношения правдоподобия за несколько N интервалов когерентного накопления, устраняет априорную неопределенность по времени задержки, длительности импульсов, частоте Доплера и девиации частоты. Предполагается, что применение разработанного алгоритма приведет к существенному увеличению условной вероятности правильного обнаружения интенсивно маневрирующих ВЦ, что в дальнейшем требует подтверждения результатами имитационного моделирования с использованием метода Монте-Карло.