

**МЕТОД ОБНАРУЖЕНИЯ СКОРОСТНЫХ МАЛОВЫСОТНЫХ ЦЕЛЕЙ
ДЛЯ «ПРОСВЕТНОГО» РАДИОЛОКАЦИОННОГО КОМПЛЕКСА НА
БАЗЕ ЗАГОРИЗОНТНЫХ РЛС НАЗЕМНОГО БАЗИРОВАНИЯ**

В.В. Замараев, кандидат технических наук, старший научный сотрудник

ЦНИИ войск ВКО Министерства обороны Российской Федерации

А.Е. Ченцов, кандидат военных наук, доцент

ВА ВКО имени Маршала Советского Союза Г.К. Жукова

И.В. Лютиков, кандидат технических наук, доцент

Военно-инженерный институт Сибирского федерального университета

**DETECTION METHOD OF HIGH-SPEED LOW-ALTITUDE TARGETS
FOR "LUMINAL" RADAR COMPLEX ON THE BASIS
OF LAND-OVER-THE-HORIZON RADARS**

V.V. Zamaraev, candidate of technical sciences, senior researcher

ASD troops Central Research Institute of the Russian Federation Defense Ministry

A.E. Chentsov, ASD MA named Marshal of the Soviet Union Georgiy Zhukov,

candidate of military sciences, Associate Professor

I.V. Lyutikov, candidate of technical sciences, Associate Professor

Military Engineering Institute of Siberian Federal University

В статье проведен анализ возможностей существующей системы разведки воздушного противника в соединениях и объединениях ВКС (ПВО-ПРО). Обозначена проблема, что при применении крылатых ракет существенно увеличены возможности воздушного противника по нанесению внезапного удара по объектам стратегических ядерных сил и высших звеньев управления. Показаны альтернативные варианты построения систем разведки воздушного противника, позволяющие увеличить возможности обнаружения крылатых ракет существ-

вующими информационными средствами системы ВКО. Предложен усовершенствованный метод обнаружения, основанный на спектральном анализе сигналов, полученных от целей с помощью просветной радиолокации и позволяющий обнаруживать и классифицировать цели как крылатые ракеты. Проанализированы графические зависимости точностных характеристик измеряемых параметров принимаемых эхо-сигналов от параметров РЛС на основе предложенного метода, оценены его преимущества и недостатки в отличие от известных (существующих), приведены выводы и рекомендации к применению.

Ключевые слова: обнаружение, воздушный противник, крылатые ракеты, ЗГО, загоризонтная РЛС, ВКО, ВКС, спектральный анализ, просветная радиолокация, классификация цели.

This article analyzes the possibilities of the existing system of air intelligence of the enemy in connections and associations of ASF (ASD). Designated problem that when applying the cruise missiles significantly increased the possibility of enemy aircraft on drawing the sudden impact on objects of strategic nuclear forces and the highest levels of management. Showing alternatives to enemy air reconnaissance systems, to increase the possibility of detection of cruise missiles existing information by means of a system of ASD. Proposed improved detection method based on spectral analysis of signals received from objectives through radar and rear-illuminated tracing enables you to detect and classify targets like cruise missiles. Graphic dependences are analysed accuracy characteristics of measured parameters taken by the echo-signals from RADAR parameters on the basis of the proposed method, appreciated its advantages and disadvantages in contrast to the known (existing) provides conclusions and recommendations for use.

Keywords: detection, air opponent, cruise missiles, over-the-horizon RADAR, ASD, ASF, spectral analysis, transmissive radiolocation, classification purposes.

Особую опасность при нанесении превентивного разоружающего удара по группировкам стратегических ядерных сил (СЯС), состоящим из мобильных

и защищенных стационарных ракетных комплексов, сегодня представляют стоящие на вооружении США и стран НАТО крылатые ракеты воздушного и морского базирования (КР). Это объясняется их способностью осуществлять полет на большие дальности на предельно малых высотах с огибанием рельефа местности, возможностью обхода информационных и огневых зон системы ВКО и малой радиолокационной заметностью КР.

Анализ возможностей существующей системы разведки воздушного противника в соединениях и объединениях ВКС (ПВО-ПРО) [1-8] показал, что при применении КР существенно увеличиваются возможности воздушного противника по нанесению внезапного удара по объектам СЯС и высших звеньев управления (ВЗУ).

Создание сплошного радиолокационного поля на малых высотах над всей территорией страны по экономическим ограничениям не реализуемо. Это обстоятельство приводит к необходимости поиска альтернативных вариантов, позволяющих увеличить возможности обнаружения крылатых ракет существующими информационными средствами системы ВКО.

В настоящее время предлагается несколько таких вариантов.

Первый вариант предполагает использование РЛС на воздушных носителях (аэростатах, вертолетах), что позволяет обнаруживать КР на достаточно больших дальностях. Основной недостаток – большая стоимость эксплуатации, что ограничивает возможности их применения при непрерывном дежурстве. Кроме того, возможности по непрерывному применению РЛС на аэростатах существенно ограничиваются метеоусловиями.

Второй вариант предполагает использование маловысотных РЛС, размещенных на штатных или специальных вышках. На сегодняшний день имеется несколько типов таких РЛС и радиолокационных комплексов (РЛК) (например, «Каста 2-2», «Подлет», «Снаряд-У» («Барьер») и др.).

Возможности РЛС позволяют осуществлять непрерывное боевое дежурство, но имеют недостатки – малые размеры зон обнаружения РЛС на предельно малых высотах и их «стационарность». Последнее позволяет противнику на

этапе планирования удара произвести разведку и, при необходимости, организовать помеховое и (или) огневое подавление таких РЛС.

Третий вариант предполагает применение РЛС загоризонтного обнаружения (РЛС ЗГО), которые позволяют контролировать большие и достаточно удаленные районы при любых высотах полета целей, могут находиться на значительном расстоянии от предполагаемых маршрутов полета КР. Однако, существует проблема в применении РЛС ЗГО – это недостаточный потенциал для обнаружения крылатых ракет, который составляет порядка (15 - 20) дБ/Вт.

Устранение отмеченных недостатков предлагается устранить путём создания «просветного» РЛК [7] на базе передающей позиции РЛС ЗГО и двух приемных позиций, расположенных в районе, в котором ожидается пролет КР. Важной особенностью расположения позиций является ортогональность их базы линии визирования «передатчик – приемник». Прием сигналов осуществляется на слабонаправленную антенну (типа полуволновый вибратор).

При разработке облика такого комплекса должны быть определены параметры комплекса, которые обеспечивают требуемые характеристики обнаружения и классификации целей, и принципы обработки информации для принятия решения о принадлежности обнаруженных целей к классу «КР».

Для решения поставленных задач необходимо развитие теории применительно к рассматриваемой структуре комплекса (в первую очередь выбор обнаружителя и измерителей параметров сигналов).

Энергетический выигрыш метода можно определить соотношением параметров существующей РЛС ЗГО к параметрам предлагаемого комплекса:

– соотношением дальностей обнаружения $v_r = \frac{R_{\text{пер}}^2}{R_{\text{пр}}^2}$,

– соотношением ЭПР цели при просветной и обычной локации

$$v_{\sigma} = \frac{\sigma_{\text{об}}}{\sigma_{\text{прос}}},$$

– соотношением площадей приемных антенн $v_a = \frac{S_{\text{пр ЗГО}}}{S_{\text{пр о}}}$,

где $S_{\text{про ЗГО}}$ – площадь приемной антенны РЛС ЗГО;

$S_{\text{пр о}}$ – площадь приемной антенны обнаружителя приемника,

– соотношением за счет увеличения времени когерентного накопления (в том числе, за счет использования дополнительно внешней когерентности)

$$v_{\text{нак}} = \sqrt{\frac{\tau_{\text{кн.прос}}}{\tau_{\text{кн об}}}}.$$

Суммарный выигрыш для комплекса равен $v_{\Sigma} = v_r v_{\varepsilon} v_a v_{\text{нак}}$.

Все перечисленные выше коэффициенты могут быть рассчитаны аналитически, кроме соотношения ЭПР при просветной и обычной локации (v_{ε}). В литературе [6 - 8] считается, что это соотношение может достигать значений (25...42) дБ, а определение конкретного значения требует проведения экспериментальных работ.

Для примера возьмем $v_{\text{нак}} = 4 \cdot 10^4$, $v_{\text{нак}} = 6$, $v_a = 10^{-3}$, тогда $v_{\Sigma} = 240 v_{\varepsilon}$.

Приведенный пример иллюстрирует наличие потенциальных запасов по энергетике, который позволяет обнаружить одиночные КР и решить проблему с недостающим потенциалом.

Таким образом, если разместить приемные позиции в «ракетоопасном» районе так, чтобы в пределах прямой видимости выполнялись условия обнаружения КР «на просвет» с использованием сигнала от действующих РЛС ЗГО, а при обработке сигналов, обнаруженных на приемных позициях, использовать режим внешней когерентности и согласованную фильтрацию, например, ЛЧМ-сигналов (типа «режим синтезированной апертуры»), то на приемных позициях могут быть реализованы дальности обнаружения малоразмерных, низколетящих целей в диапазоне 15-20 км, что близко к потенциально возможным дальностям обнаружения целей на предельно малых высотах по энергетическим ограничениям. Необходимо отметить, что существующие ограничения РЛС ЗГО по времени функционирования (из-за геофизических условий) позволяют использовать ее только в качестве дополнительного средства в системе предупреждения об ударах КР.

Рассмотрим геометрическую интерпретацию метода в случае, когда имеется одна приемная позиция (рис. 1).

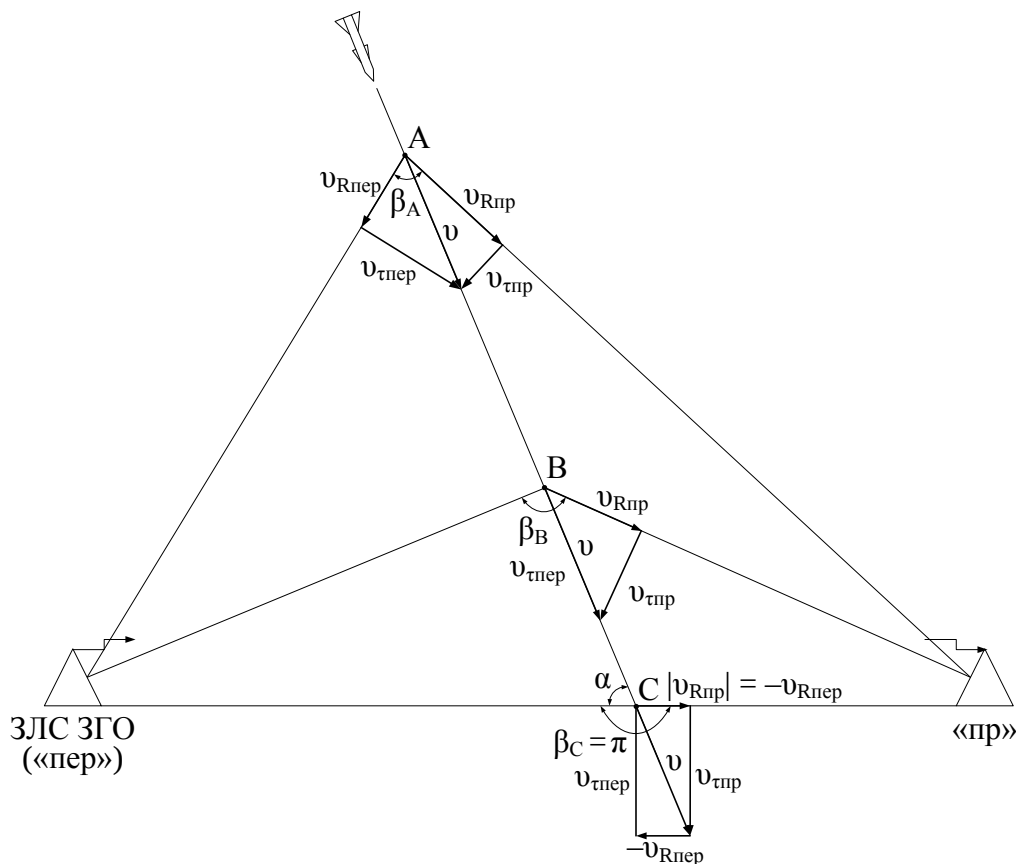


Рисунок 1 – Геометрическая интерпретация метода
на примере одной приемной позиции

Пусть траектория полета цели пересекает линию визирования под углом α в точке С и проходит через точки А, В, и С. В точке А зондирующий по отношению к цели и отраженный по отношению к приемной станции сигналы имеют радиальную и тангенциальную составляющие вектора скорости цели. В точке В зондирующий сигнал имеет только тангенциальную составляющую, совпадающую с вектором скорости цели, а отраженный сигнал – полный вектор скорости. Точка С находится на линии визирования «передатчик – приемник», в этой точке принимаемый целью и отраженный от нее сигнал имеет ряд свойств: во-первых, радиальные скорости зондирующего сигнала «передатчик – цель» и отраженного сигнала «цель – приемник» имеют противоположные зна-

ки ($v_{R\text{ пер}} = -v_{R\text{ пр}}$), следовательно доплеровское смещение частоты сигнала от цели на приемной позиции будет равно нулю, во-вторых, вектор скорости цели будет иметь тангенциальные составляющие (по отношению и к передатчику, и к приемнику), а их значения будут определяться углом α , в-третьих, бистатистический угол «передатчик – цель – приемник» будет составлять $\beta = 180^\circ$, что соответствует максимальному значению бистатистической ЭПР цели.

Наличие тангенциальной составляющей скорости цели $v_t = v \times \sin \alpha$ приводит к частотной модуляции принимаемых сигналов. При этом их частотная девиация определяется из выражения:

$$\frac{df}{dt} = \frac{v_t^2}{R_{\text{пер}} \lambda} + \frac{v_t^2}{R_{\text{пр}} \lambda}. \quad (1)$$

Так как $R_{\text{пер}} \gg R_{\text{пр}}$, то зависимость частотной девиации от дальности «передатчик – цель» ($R_{\text{пер}}$) можно пренебречь. Тогда за время когерентного накопления сигнала ($\tau_{\text{кн}}$) девиация частоты будет равна:

$$\Delta f = \tau_{\text{кн}} \frac{df}{dt}. \quad (2)$$

Согласованный фильтр для такого сигнала – это ЛЧМ-фильтр с нулевой начальной частотой и указанной девиацией. Полоса фильтра будет определяться $\tau_{\text{кн}}$, а девиация будет зависеть от двух параметров v_t , $R_{\text{пр}}$, что накладывает неопределенность в оценках v_t и $R_{\text{пр}}$ (если дальность $R_{\text{пр}}$ не измеряется).

Для обнаружения целей с неизвестной частотной девиацией нужно иметь гребенку фильтров, настроенных на разную девиацию частоты.

Отметим, что настроенный на заданный закон изменения доплеровский фильтр позволяет обнаруживать факт пересечения линии «передающая позиция – приемная позиция», но не позволяет определить направление, при котором произошло пересечение, т.к. в выражении (1) используется квадрат тангенциальной скорости цели (v_t^2).

Для определения направления траектории цели, пересекающей линию визирования «передатчик–приемник», необходимо иметь еще одну позицию. При этом проход цели через две линии визирования будет осуществляться последо-

вательно. Кроме этого в моменты, когда цель не находится на линии визирования, у нее появляется сигнал, допллеровская частота которого не равна нулю, меняется и закон изменения ЛЧМ–сигнала.

Для маловысотных целей предельная дальность обнаружения определяется известным выражением

$$R = 4,12(\sqrt{h} + \sqrt{H}). \quad (3)$$

Расстояние до таких целей будет небольшим. Условие появления ЛЧМ–сигналов от целей может быть осуществлено путем выбора соответствующего значения $\tau_{\text{кн}}$. При больших значениях требуемого времени когерентного накопления целесообразно применить метод внешней когерентности, используя при фильтрации в качестве опорного сигнала прямой сигнал передатчика. При этом будут компенсированы спектральные искажения на трассе распространения «передатчик – цель – приемник».

Рассмотрим геометрическую интерпретацию метода, когда имеются две приемные позиции (Пр A_1 и Пр A_0) (рис. 2), расположенные на расстоянии R_6 друг относительно друга и расположенные ортогонально к линии визирования (передатчик – приемник).

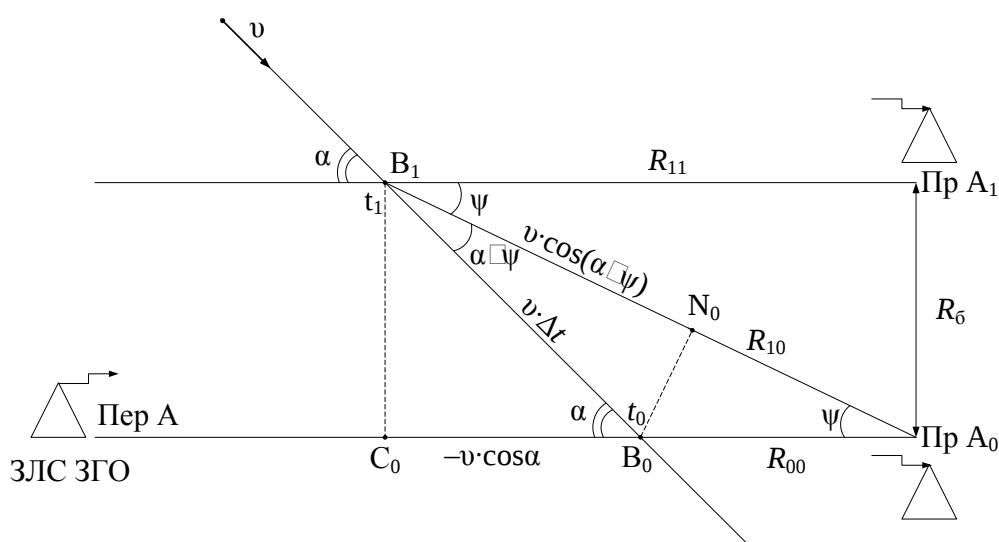


Рисунок 2 – Геометрическая интерпретация метода
на примере двух приемных позиций

Пусть цель движется под углом α к линии визирования, ее траектория пересекает линию визирования (Пер А – Пр А₁) в точке В₁, удаленной от Пр А₁ на расстояние R₁₁. Скорость цели равна v .

На первой приемной позиции, как было отмечено выше, доплеровское смещение сигнала от цели в точке В₁ равно 0, а частотная модуляция сигнала, за счет тангенциальной составляющей, определяется выражением

$$\frac{df}{dt} = \frac{v_{\tau}^2}{R_{11}\lambda} = \frac{v^2 \sin \alpha}{R_{11}\lambda}. \quad (4)$$

Рассмотрим формульные зависимости для определения доплеровского смещения и частотной девиации на позициях Пр А₁ и Пр А₀ в момент времени t_1 , когда цель находится в точке В₁:

1. $f_{д1}(t_1) = 0$, $f'_1(t_1)$ – измерения на первой позиции, когда цель находится в точке В₁

$$f'_1 = \frac{v^2 \sin \alpha}{R_{11}\lambda}. \quad (5)$$

2. $f_{д0}(t_1)$, $f'_0(t_1)$ – измерения на тот же момент времени на позиции Пр А₀

$$f_{д0}(t_1) = \frac{v \cdot \cos(\alpha - \psi) - v \cdot \cos \alpha}{\lambda}, \quad (6)$$

$$f'_0(t_1) = \frac{(v \cdot \sin(\alpha - \psi))^2}{R_{10}\lambda} = \frac{(v \cdot \sin(\alpha - \psi))^2}{\lambda \sqrt{R_6^2 + R_{11}^2}}, \quad (7)$$

$$R_6^2 + R_{11}^2 = \left(\frac{R_6}{\sin \psi} \right)^2. \quad (8)$$

Мы получили четыре уравнения с четырьмя неизвестными v , α , ψ , R_{11} . Решение системы уравнений можно получить известными численными методами.

Таким образом, при пересечении в точке В₁ целью линии визирования можно оценить все параметры движения цели, а имея вторую приемную позицию оценить и направление ее движения.

Как следует из приведенных выше формул, в общем случае принимаемый на приемных позициях сигнал включает в себя два закона изменения фазы (линейный, вызванный радиальным перемещением цели, и квадратичный, вызванный тангенциальной составляющей скорости). Для согласованной фильтрации таких сигналов в общем случае необходима система ЛЧМ-фильтров в двумерном пространстве $\left[\varphi_d, df/dt \right]$. Поиск оптимального фильтра, соответствующего принимаемому сигналу, достаточно сложная процедура, поэтому задачу можно привести к поиску оптимального фильтра в одномерном пространстве $\left[\varphi_d = 0, df/dt \right]$.

Это условие выполняется в тот момент, когда цель находится на линии визирования в точке B_1 (Пер А – Пр A_1), либо в точке B_0 (Пер А – Пр A_0). В этом случае $f_{d1}(t_1) = 0$, $f_{d0}(t_0) = 0$, а частотная девиация зависит от двух параметров цели – тангенциальной составляющей скорости цели (v_τ) и дальности до нее R_{11} , R_{00} . Дополнительный замер на второй линии визирования позволит оценить положение цели, используя только линейки фильтров на каждой позиции (поиск в одномерном пространстве). Если использовать дополнительные замеры (например, от второй позиции, когда на первой позиции $f_0 = 0$), то будем иметь избыточную информацию, которая может быть использована для повышения точности оценки вектора состояния цели.

При двух позициях и расстоянии между ними R_δ тангенциальная составляющая скорости равна

$$v_\tau = \frac{R_\delta}{t_0 - t_1}, \quad (9)$$

где: t_0 – оценка момента времени пересечения целью линии визирования Пер А – Пр A_0 (по результатам обнаружения сигнала в соответствующем доплеровском фильтре);

t_1 – оценка момента времени пересечения целью линии визирования Пер А – Пр A_1 (по результатам обнаружения сигнала в соответствующем доплеровском фильтре).

Дальность до цели от приемной позиции Пр A_0 в момент пересечения соответствующей линии визирования

$$R_0 = \frac{v_\tau^2}{\lambda \left(\frac{df}{dt} \right)_0^*}, \quad (10)$$

где $\left(\frac{df}{dt} \right)_0^*$ – оценка частотной девиации сигнала (на основании параметров фильтра, в котором произошло обнаружение сигнала при $f_d = 0$).

Радиальная составляющая скорости определяется соотношением

$$v_\tau = \frac{R_0 - R_1}{t_0 - t_1}. \quad (11)$$

Рассмотрим более детально вопрос о параметрах фильтра, которые используются для оценки дальности до цели. Как выше было отмечено, при пересечении целью линии визирования доплеровское смещение сигнала от цели равно нулю (падающая и отраженная волна имеют одинаковый по величине и противоположный по знаку набег фазы), а частотная девиация сигнала от цели определяется выражением (1).

Для согласованной фильтрации такого сигнала надо иметь два фильтра одинаковыми по величине частотной девиации, но разными начальными частотами Доплера. В связи с тем, что полоса сигнала для рассматриваемого случая включает в себя и область пассивных помех, то необходима режекция сигналов в полосе Δf_p в области $f_d = 0$. Указанные фильтры будут собирать сигналы в полосе Δf_{d1} и Δf_{d2} соответственно. Сигналы с выхода этих фильтров суммируются когерентно (с учетом фазы, определяемой временным сдвигом сигналов). Решение о пересечении линии визирования принимается по максимальному значению сигнала в двумерной области (время – частотная девиация). Эту процедуру можно реализовать с помощью дискриминатора, на вход которого подаются сигналы с двух указанных выше фильтров.

Рассмотрим ошибки измерения дальности предлагаемого комплекса до цели.

При наличии частотной девиации принимаемых сигналов дальность до цели может быть определена с помощью выражений (9) и (10).

Дисперсию ошибок измерения дальности до цели можно определить методом линеаризации

$$\sigma_R^2 = \left(\frac{2v_\tau}{f'} \right) \sigma_{v_\tau}^2 + \left(\frac{v_\tau^2}{f'^2} \right) \sigma_{f'}^2.$$

При этом

$$\sigma_{f'}^2 = \frac{k}{q^2 \tau_{\text{кн}}^2}, \quad \sigma_{v_\tau}^2 = \frac{2v_\tau^2}{R_6} \sigma_{t_{\text{пер}}}^2,$$

$$f' = \frac{df}{dt} = \frac{v^2 \sin \alpha}{R_{\text{пр}} \lambda},$$

$$\sigma_{t_{\text{пер}}}^2 = \frac{1}{q^2 \Pi_{\text{эф}}^2} = \frac{1}{q^2 \tau^2 f'},$$

где: q – отношение сигнал/шум,

$\sigma_{t_{\text{пер}}}^2$ – дисперсия (квадрат среднеквадратического отклонения (СКО))

оценки момента пересечения целью линии визирования. Для ее вычисления требуется задаться отношением сигнал/шум (для построения зависимостей, приведенных на рис. 3, принято $q^2 = 100$).

Расчетные результаты, полученные в среде математического моделирования Matlab, представлены на рис. 3 – 6.

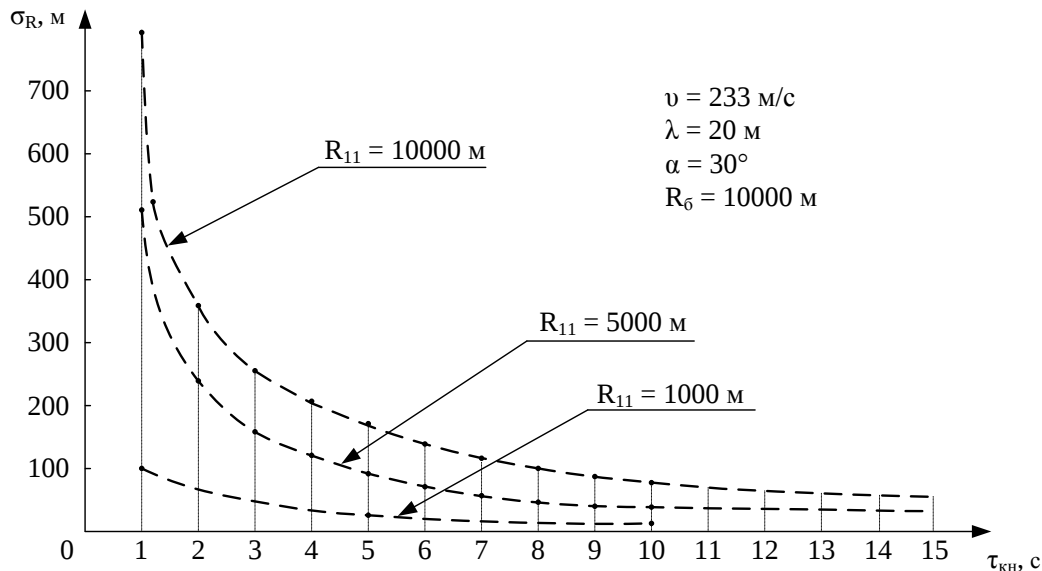


Рисунок 3 – График зависимостей СКО ошибки измерения по дальности от времени когерентного накопления при различных значениях расстояния от точки пересечения целью линии визирования до приемника первой позиции (R_{11})

Из рисунка 3 следует, что даже при времени когерентного накопления порядка от 3 до 5 секунд параметры ошибок измерения дальности исследуемого комплекса до цели на два-три порядка меньше по сравнению с ошибками измерения по дальности РЛС ЗГО. При времени когерентного накопления более 10 секунд СКО ошибки измерения по дальности практически не меняются.

На рис. 4 приведены графики зависимости СКО ошибок определения дальности до цели от расстояния между приемными станциями (R_6) при времени когерентного накопления ($\tau_{\text{кн}}$) 5 и 10 секунд. Из графика следует, что при $R_6 \geq 10000$ м СКО ошибки измерения по дальности практически постоянны.

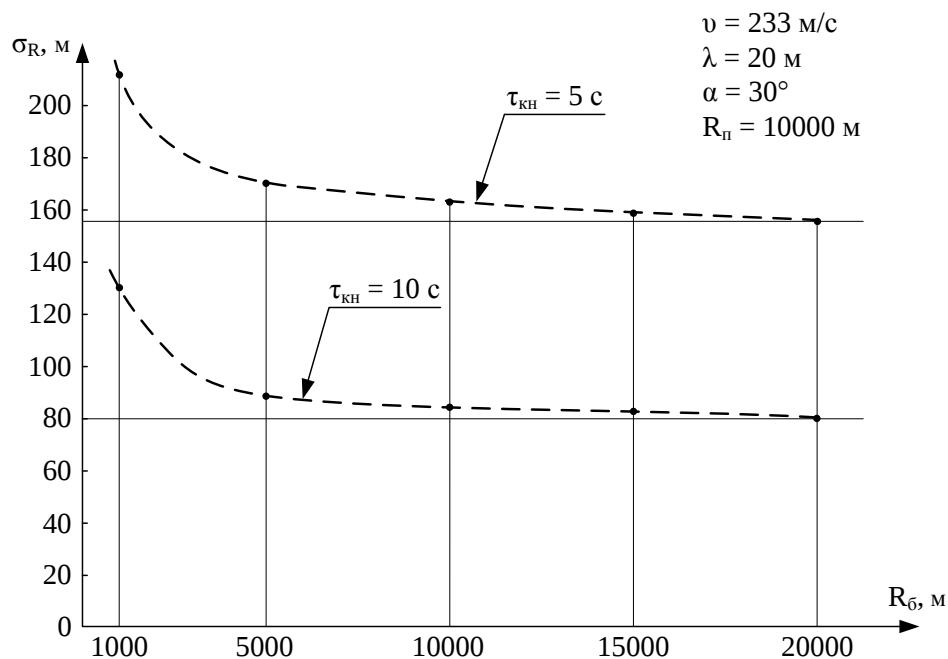


Рисунок 4 – График зависимости СКО ошибок определения дальности до цели от расстояния между приемными станциями при различных значениях времени когерентного накопления

На рис. 5 представлен график зависимости СКО ошибки измерения путевой скорости цели (для простоты расчетов было принято $\alpha = 90^\circ$, т.е. тангенци-

альная составляющая вектора скорости равна полному вектору скорости) от времени когерентного накопления ($\tau_{\text{кн}}$).

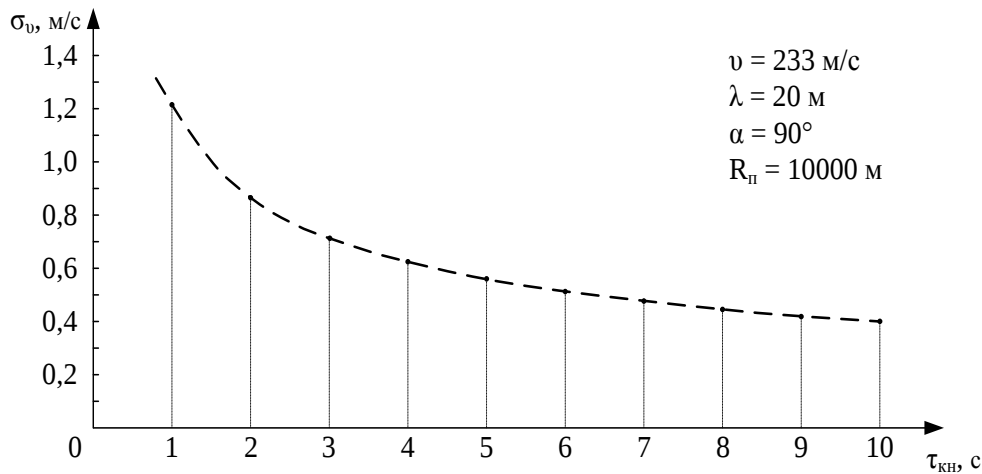


Рисунок 5 – График зависимости СКО ошибки измерения
путевой скорости цели от времени когерентного накопления

Из графика следует, что при $\tau_{\text{кн}} = 10 \text{ с}$ СКО ошибка измерения полного вектора скорости (σ_v) равна примерно $0,45 \text{ м/с}$. Полученная оценка СКО ошибки измерения путевой скорости исследуемого комплекса на два порядка меньше СКО ошибки определения путевой скорости РЛС ЗГО, что позволяет достаточно точно определить скорость полета цели и совместно с признаком малой высоты траектории полета идентифицировать ее как крылатую ракету.

На рис. 6 представлен график зависимости определения СКО ошибок по дальности от длины волны передатчика, из которого следует, что при увеличении длины волны характеристики обнаружителя значительно улучшаются.

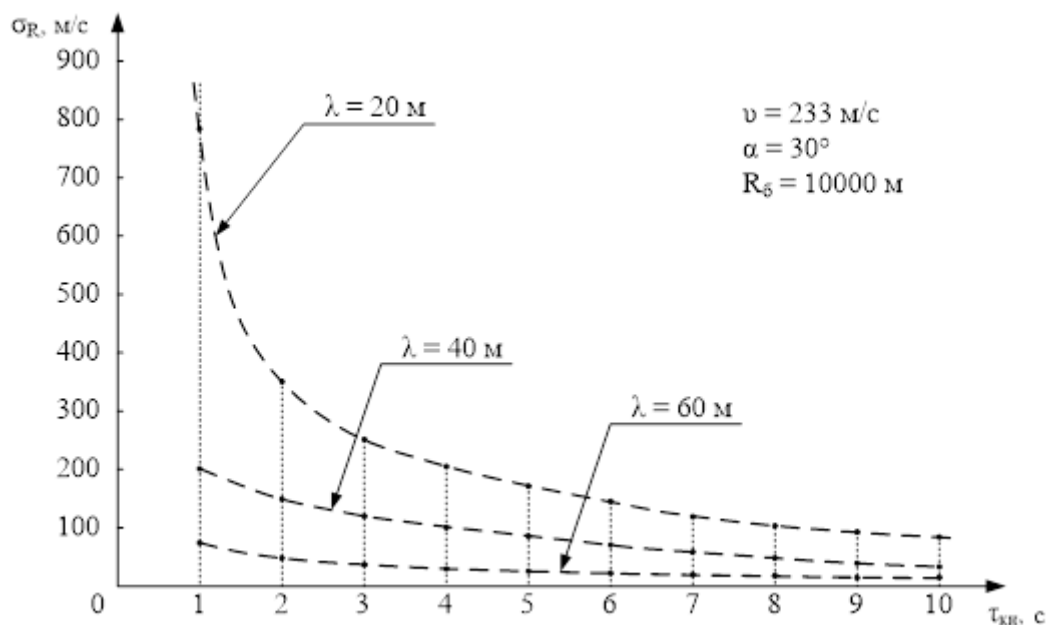


Рисунок 6 – График зависимости определения СКО ошибок по дальности при различных значениях длины волны передатчика

Признак того, что цель летит на малой высоте, может быть получен косвенно по длительности получения сигнала от цели (короткая траектория).

Рассмотрим изменение f' в зависимости от расстояния до цели (при пересечении линии визирования) для различных длин волн.

Таблица 1

λ/R	20 000	10 000	5 000	2,5 000	1 000
20	0,25	0,5	1	2	5
40	0,125	0, 25	0,5	1	2,5
60	0,063	0,125	0,25	0,5	1,25

Частотная девиация сигнала за время когерентного накопления определяется выражением $\Delta F = f' \tau_{кн}$.

В зависимости от соотношения ΔF и $\Delta f_d = \frac{1}{\tau_{кн}}$

$$n = \frac{\Delta F}{\Delta f_d} = f' \tau_{кн}^2$$

влияние частотной девиации различно. Так при времени когерентного накопления равного 1 сек, влияние девиации проявляется на дальностях менее 5 км в

коротковолновой части диапазона. При времени когерентного накопления 10 сек влияние существенно на дальностях до 20 км во всем диапазоне частот. Не рассматривая другие факторы, влияющие на эффективность метода, можно в первом приближении считать, что время когерентного накопления в интересах решения задачи обнаружения маловысотных целей должно быть порядка 10 сек.

Выводы

1. Метод предлагается реализовать в виде РЛ-комплекса, использующего передающую позицию ЗГ РЛС и две приемных позиции, расположенных в необходимом для контроля районе ортогонально к линии визирования. Комплекс позволяет надежно обнаруживать крылатые ракеты в прикрываемом районе и с высокой точностью оценивать параметры их движения, необходимые для классификации степени их опасности.

2. Предлагаемый метод, в отличие от известных (существующих), использует для измерения дальности до цели спектральные особенности отраженных сигналов.

3. Время когерентного накопления полезного сигнала на обнаружителе комплекса от 3 до 5 секунд позволяет получить СКО ошибки определения дальности и скорости цели на несколько порядков меньше по сравнению с теми же характеристиками РЛС ЗГО.

4. При выборе расстояния между приемными станциями комплекса более 10 км, значение СКО ошибки определения дальности до цели не изменяется.

5. Увеличение длины волны передающей станции в диапазоне от 20 м до 60 м значительно (в 2-3 раза) улучшает характеристики обнаружителя.

Список литературы

1. Лобов С.А., Ляпоров В.Н. Угрозы национальной безопасности России. Военные угрозы. *Монография*. – Тверь: ВА ВКО имени Маршала Советского

Союза Г.К. Жукова, 2014. [Lobov S.A., Liaporov V.N. Threats to Russia's national security. Military threats. *Monograph*. - Tver: ASD MA named Marshal of the Soviet Union Georgiy Zhukov, 2014.]

2. Бояринцев А, Пашенных В. Перспективы радиолокационной разведки.// *Журнал ВКО* – 2006. – № 4. [Boiarintsev A., Pashennykh V. Prospects for radar reconnaissance.// *ASD Journal* – 2006. – № 4.]

3. Милешкевич В.А. BBC без глаз и ушей.// *ВКО*. – 2008. – № 2. [Mileshkevich V.A. *The AIR FORCE without the eyes and ears*.// *ASD Journal*. – 2008. – № 2.]

4. Шрамченко А. Радиотехнические войска: трудное настоящее.// *ВКО* – 2005. – № 1. [Shramchenko A. Radiotechnical troops: hard now.// *ASD Journal* – 2005. – № 1.]

5. Кислуха А. К единому радиолокационному полю страны.// *ВКО* – 2012. – № 2. [Kislukha A. A single radar field country.// *ASD Journal* – 2012. – № 2.]

6. Глазер Дж. И. Некоторые результаты по определению двухпозиционной ЭПО сложных объектов. // Труды Института инженеров по электротехнике и радиоэлектронике (ТИИЭР). – 1989. – Т. 77, № 5. – С. 8-18. [Glazer J.I. Some results on the definition of two-step EPO complex objects. // *Transactions of the Institute of electrical and electronics engineers (IEEE)*. – 1989. – Т. 77, № 5. – p. 8-18.]

7. Григас С.Э. Контроль космического пространства с использованием просветной радиолокации / С.Э. Григас, Д.Ц. Литовченко, А.А. Скорынин // *Антенны*. – 2013. – №1. – С. 83–86. [Grigas S.E. Control of outer space using the rear-illuminated tracing radar / S.E. Grigas, D.Ts. Litovchenko, A.A. Skorynin // *Antennas*. – 2013. – №1. – p. 83–86.]

8. Ковалев Ф.Н. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. // На правах рукописи // Нижегородский государственный технический университет имени Р.Е. Алексеева. – 2015 – С. 30. [Kovalev F.N. Thesis for the degree of doctor of technical sciences. // *A manuscript* // Nizhny Novgorod State Technical University named R.E. Alexeev. – 2015 – p. 30.]