

ОСОБЕННОСТИ РАДИОЛОКАЦИОННОГО ОБНАРУЖЕНИЯ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ВОЗДУШНО-КОСМИЧЕСКИХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Ле Ван Кыонг

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Козлов С.В. – д.т.н., доцент

Приведен анализ факторов, определяющих сложность проблемы радиолокационного обнаружения высокоскоростных воздушно-космических летательных аппаратов (ВВКЛА).

Обнаружение и сопровождение ВВКЛА, способных осуществлять полет как в космическом пространстве, так и в атмосфере со скоростью, в пять и более раз превышающей скорость звука, являются актуальной задачей. Несмотря на наличие к настоящему времени достаточно большого числа работ [3-8], комплексное решение данной задачи весьма далеко от завершения. Это определило цель работы, заключающейся в анализе проблемных вопросов обнаружения и сопровождения ВВКЛА как объектов радиолокационного наблюдения.

Особые характеристики ВВКЛА, затрудняющие их радиолокационное обнаружение [1-2], состоят в следующем: полет на ранее не используемых высотах от 30 до 120 км от поверхности Земли; способность ВВКЛА летать на ранее недостижимых скоростях для летательных аппаратов (от 5 до 30 Махов) как в атмосфере, так и за ее пределами в околоземном космическом пространстве; высокая вероятность использования ВВКЛА на трансконтинентальных маршрутах с последовательными переходами из воздушного пространства в космическое и обратно; возможность использования непредсказуемых смешанных траекторий полета к цели (аэродинамика - в начале полета, эллипс - при полете во внеземном пространстве, баллистика – на конечном участке полета); небольшая (доли-единицы кв.м) эффективная площадь рассеяния при больших (желательно, не менее 700...800 км) требуемых дальностях обнаружения. На рис.1. представлен пространственные возможности наземной РЛС по обнаружению ВВКЛА. Дальность обнаружения радиолокационных станций, работающих в метровом и дециметровом диапазоне, ограничена дальностью прямой видимости D_n , которая определяется как:

$$D_n [\text{км}] = 4,12(\sqrt{H(\text{м})} + \sqrt{h(\text{м})}). \quad (1)$$

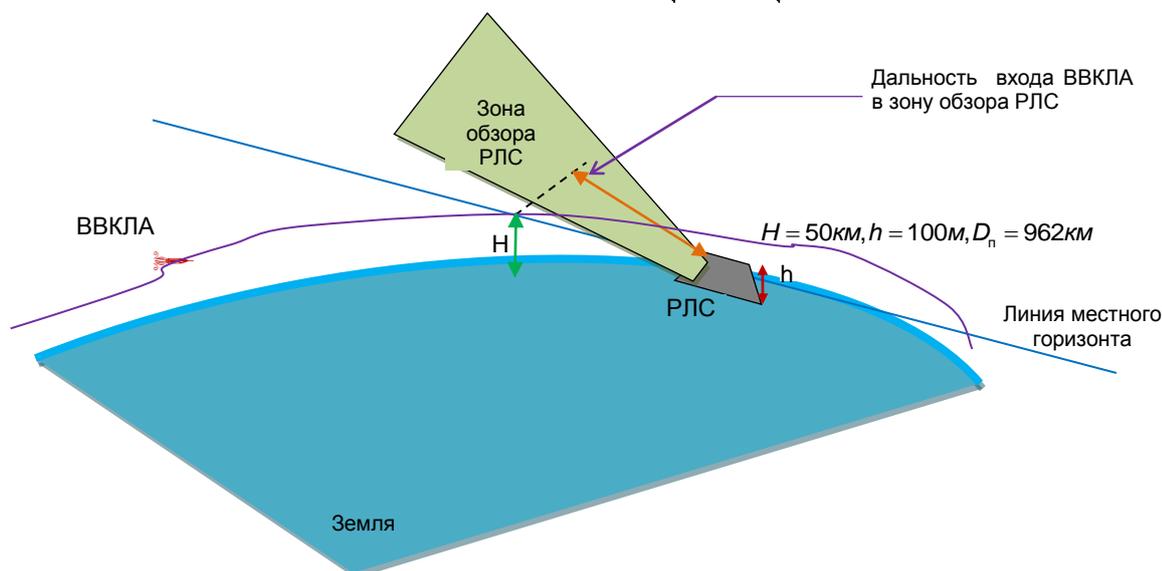


Рисунок 1 – Пространственные возможности РЛС по обнаружению ВВКЛА

К наиболее проблемному относится вопрос обеспечения длительного (единицы секунд) когерентного накопления отраженного сигнала при большой скорости цели. Отметим, что для увеличения точности измерения дальности до цели и помехоустойчивости по отношению к внешним активным помехам необходимо использовать зондирующий сигнал с большой (единицы-десятки МГц) шириной спектра при длительности одиночного сигнала 0,5...1 мс. Но такой сигнал очень трудно когерентно накапливать, так как сжатый в каждом периоде повторения одиночный сигнал оказывается при междупериодной обработке в разных элементах разрешения по дальности. Так, например, при радиальной скорости цели 1500 м/с, периоде повторения $T_r=10$ мс, времени наблюдения $T_n=1$ с и ширине спектра зондирующего сигнала $\Delta f_0=10$ МГц отраженный сигнал будет находиться в 100

различных (в данном случае – последовательных) элементах разрешения по дальности. Кроме того, даже если цель на определенных участках движется прямолинейно и равномерно, то при наблюдении в системе координат РЛС и вычислении радиальной скорости и ускорения, цель, в первом приближении, движется равноускоренно. Величина этого ускорения во всех случаях такова, что это требует обязательного учета в алгоритме когерентного накопления. Аналогичная проблема, но преимущественно на малых (100...200 км) дальностях будет характерна и для измерения угловых координат. Так, если цель движется с тангенциальной скоростью 500 м/с, то при дальности до нее 100 км изменение угла наблюдения составит примерно $0,29^\circ$, что с учетом высоких требований к точности измерения координат и параметров движения ВВКЛА необходимо обязательно учитывать в алгоритмах обработки. Кроме того, проходящий через ионосферу широкополосный сигнал может испытывать существенные искажения (приобретать дополнительную задержку, сдвиг частоты, флуктуации направления распространения и поляризации), что приводит к ошибкам измерения целевых параметров.

В [4] выполнена оценка времени когерентного накопления для некоторых типов ВВКЛА и установлено, что алгоритм когерентного накопления целесообразно использовать для пачек с числом импульсов не более 15, что при периоде повторения $T = 20$ мс соответствует интервалу в 300 мс. Дальнейшее накопление импульсов приводит к потерям на выходе приемника. В работах [3,7–8] показано, что высокие скорость и ускорение цели не являются препятствием для эффективного когерентного накопления. Так когерентное накопление пачки импульсов, отраженных от искусственного спутника Земли на дальности 600...2000 км при радиальном ускорении $0...100$ м/с² оказалось возможным в пределах $0,4...0,5$ с (длина волны - 24 см). Когерентный накопитель (КН) был многоканальным по скорости и ускорению. Однако построение многоканальных по скорости и ускорению КН оказывается трудно реализуемым [5]. Для обеспечения обнаружения цели при КН минимальное число каналов обработки приемника по скорости и ускорению составляет $2NIP$ и для типичной пачки из $N=16$ импульсов, числе каналов по ускорению $P=64$, числе каналов по скорости $I=183$, получим $2NIP=374784$. С учетом необходимости построения многоканальной системы для оценки угловых координат [9], общее число каналов может достигать нескольких миллионов или даже десятки миллионов. Отметим, что попытки автора и других исследователей по построению алгоритмов обработки, основанных на предварительном оценивании неизвестных параметров (скорости и ускорения) отраженного сигнала для снижения числа каналов обработки не привели к конструктивному решению из-за малого отношения сигнал/шум по одному импульсу пачки и нерегулярности оценивания неизвестных параметров по части импульсов пачки. Сложность такого алгоритма не уступает сложности многоканального когерентного накопителя.

Наряду с проблемными вопросами обнаружения и измерения координат на этапе первичной обработки, недостаточно исследованными являются вопросы вторичной обработки информации по ВВКЛА. Во-первых, адекватная модель (аналогичная модели Зингера и ее модификациям для аэродинамических летательных аппаратов) движения ВВКЛА отсутствует, причем для ВВКЛА эта модель, очевидно, должна иметь различные структуру и параметры для движения на атмосферном и внеатмосферном участках полета. Во-вторых, требуется синтез алгоритмов сопровождения ВВКЛА, учитывающих указанную выше модель движения с учетом существенно большего (дополнительно измеряемые радиальная и тангенциальная скорость, радиальное ускорение) объема измерений на этапе первичной обработки, чем для аэродинамической цели.

Таким образом, основные проблемные вопросы обнаружения и сопровождения ВВКЛА как объектов радиолокационного наблюдения заключаются в синтезе практически реализуемых алгоритмов обнаружения и измерения координат ВВКЛА при длительном когерентном накоплении отраженного сигнала и обосновании модели движения и алгоритмов сопровождения ВВКЛА с учетом сильной взаимосвязи первичной и вторичной обработки информации.

Список использованных источников:

1. Пророк В.Я., Шаймухаметов Ш.И. Математическая модель движения гиперзвукового летательного аппарата // *Научные технологии в космических исследованиях Земли*, № 2, 2016. С. 17-21.
2. Купцов И.М. Борьба с гиперзвуковыми летательными аппаратами: новая задача и требования к системе воздушно-космической обороны // *Военная мысль*, № 1, 2011. С. 71 - 76.
3. Kibbler G. O. T. H.A radar pulse train optimum processor for accelerating targets // *IEEE Transactions*. 1967. September AES 3. No. 5. Pp. 808–818.
4. Чепкасов А. В. Определение интервалов когерентного накопления пачки длинных импульсов при обнаружении высокоскоростной цели радиолокационной станцией с АФАР на твердотельных приборах // *Радиопромышленность*, № 1, 2016. С. 14-17.
5. Порсеев В. И., Николаев А. П., Кривоножко И. С. Многоканальное накопление радиолокационных сигналов, отраженных от высокоскоростных целей, движущихся с ускорением // *Вестник Концерна ВКО «Алмаз – Антей»*, № 1, 2018. С. 23-34
6. Логвинов М. А., Буров А. С., Барцевич С. Н. Алгоритм сопровождения маневрирующих целей с учетом данных первичной обработки сигнала // *Наука и образование: Электронное научное издание*, № 1, 2012. С. 1-15.
7. Кузьменков В. Ю., Логвинов В. М. Способы и устройства совместного измерения радиальной скорости и радиального ускорения // *Радиотехника и электроника*. 1997. Т. 42. № 12.-С. 1465-1475.
8. Маркович И. И., Завтур Е. Е. Методы цифровой обработки сигналов, отраженных от высокоманевренных воздушных целей. // *Вестник воздушно-космической обороны*, №3, 2016. С. 17–23.
9. Ле Ван Кыонг. Адаптивное оценивание угловых координат цели в радиолокационном измерителе с многоканальной приемной системой. В настоящем сборнике.