

МОДЕЛЬ И ПАРАМЕТРЫ ДВИЖЕНИЯ ТИПОВЫХ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ЦЕЛЕЙ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ НАКОПЛЕНИИ ОТРАЖЕННЫХ СИГНАЛОВ

Ле Ван Кыонг, аспирант

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

Козлов С.В. – д.т.н., доцент

Аннотация. Рассмотрены модели движения типовых радиолокационных целей при длительном накоплении отраженных сигналов, приведены результаты анализа параметров движения, влияющих на эффективность алгоритмов обработки.

Ключевые слова. Скорость, ускорение, производная ускорения, миграция дальности, миграция частоты, длительное накопление.

Обоснование алгоритмов длительного накопления (ДН) отраженного сигнала (ОС) [1,2] предполагает определение модели (закона) и параметров движения типовых радиолокационных целей (РЛЦ). ДН наиболее актуально для РЛЦ, имеющих малую эффективную площадь рассеяния и (или) находящихся на больших дальностях. Обоснованная модель и параметры используются для устранения миграции дальности (МД) и частоты (МЧ) ОС [2]. В качестве типовых РЛЦ рассмотрим малогабаритный беспилотный летательный аппарат (БЛА) на участках прямолинейного полета и разворота, самолет, совершающий прямолинейный полет или маневр с заданной перегрузкой, участки земной поверхности и расположенные на ней объекты при локации с искусственного спутника Земли (ИСЗ) или наоборот, и баллистический объект (снаряд), движущийся под действием силы тяжести и сопротивления атмосферы. Для реализации когерентного накопления (КН) [1] необходимо, чтобы за время $T_{\text{КН}}$ ДКН изменения $\delta V, \delta a$ скорости и ускорения РЛЦ были меньше, чем разрешающие способности $\Delta V = \lambda/2T_{\text{КН}}$, $\Delta a = \lambda/2T_{\text{КН}}^2$ по указанным параметрам. Зависимости $\Delta V(T_{\text{КН}})$, $\Delta a(T_{\text{КН}})$ для различных значений длины волны λ РЛС приведены на рис. 1.

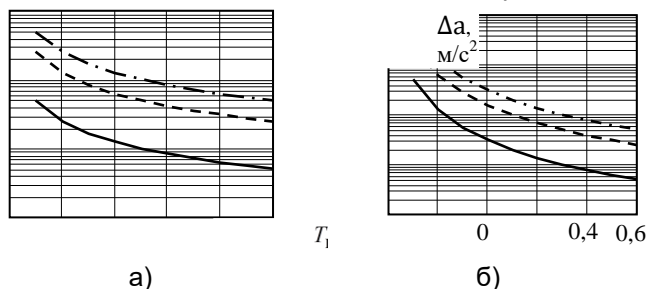


Рисунок 1- Зависимость разрешающей способности по скорости (а) и ускорению (б) для различных значений длины волны (сплошная кривая - $\lambda = 1$ см, пунктирная - $\lambda = 5$ см, штрихпунктирная - $\lambda = 10$ см)

Как видно из рис.1, при времени КН 0,5...1 с изменение скорости и ускорения не должны превышать десятых-сотых долей м/с и м/с², соответственно. Если указанное условие не выполняется, то при синтезе алгоритмов необходимо учитывать МЧ. Миграцию дальности необходимо учитывать, если радиальное перемещение РЛЦ

$$\delta r = |V_{0r} T_{\text{КН}} + a_r T_{\text{КН}}^2 / 2| > c / (2\Delta f_0) \text{ где } \Delta f_0$$

- ширина спектра сигнала; V_{0r} , a_r - радиальные скорость (в момент начала наблюдения) и ускорение РЛЦ.

В качестве наиболее общей модели

взаимного перемещения РЛС и цели примем полином третьей степени [2], когда дальность изменяется по закону

$$r(t) = r_0 + V_{0r}t + \frac{a_r t^2}{2} + a_r' t^3 / 6, \quad (1)$$

где r_0 начальная дальность между РЛС и РЛЦ; a_r' - производная радиального ускорения.

Для обоснования параметров V_r, a_r, a_r' на рис.2-4 приведены типичные законы изменения указанных параметров от времени наблюдения для самолета, совершающего прямолинейный полет со скоростью 250 м/с (курсовая дальность и параметр 30 км), самолета, совершающего разворот с различным радиусом, БЛА, движущегося по окружности, артиллерийского снаряда с начальной скоростью 500 м/с (курсовая дальность и параметр относительно РЛС 30 км) и ИСЗ, движущегося по круговой орбите на высоте 500 (600) км, на интервале времени наибольшего сближения с некоторой точкой на земной поверхности.

Анализ полученных зависимостей проведем применительно к времени накопления 0,5...1,0 с при ширине спектра сигнала $\Delta f_0 = 10...50$ МГц. Основные выводы состоят в следующем:

- при ДН сигнала, отраженного от прямолинейно движущегося самолета, необходимо учитывать линейную миграцию дальности и МЧ, обусловленную радиальным ускорением; учет производной радиального ускорения не требуется;

- при ДН сигнала, отраженного от самолета или БЛА, совершающих разворот, требуется учет линейной и квадратичной миграции дальности и миграции частоты, обусловленной, в том числе, производной дальности третьего порядка; так, при типичных значениях $a_r' = 1...2$ м/с³ при маневрировании приращение скорости РЛЦ за время наблюдения может составить $a_r T_{\text{кн}}^2 / 2 = 1$ м/с, что существенно превышает потенциальную разрешающую способность по радиальной скорости;

- для баллистического объекта (снаряда) в большинстве случаев можно ограничиться линейной миграцией дальности; для миграции частоты должны учитываться три производные дальности;

- для ИСЗ, особенно при реализации длительного (единицы-десятки секунд в прожекторном режиме при синтезировании апертуры) накопления необходимо учитывать минимум три производные дальности между РЛС и целью.

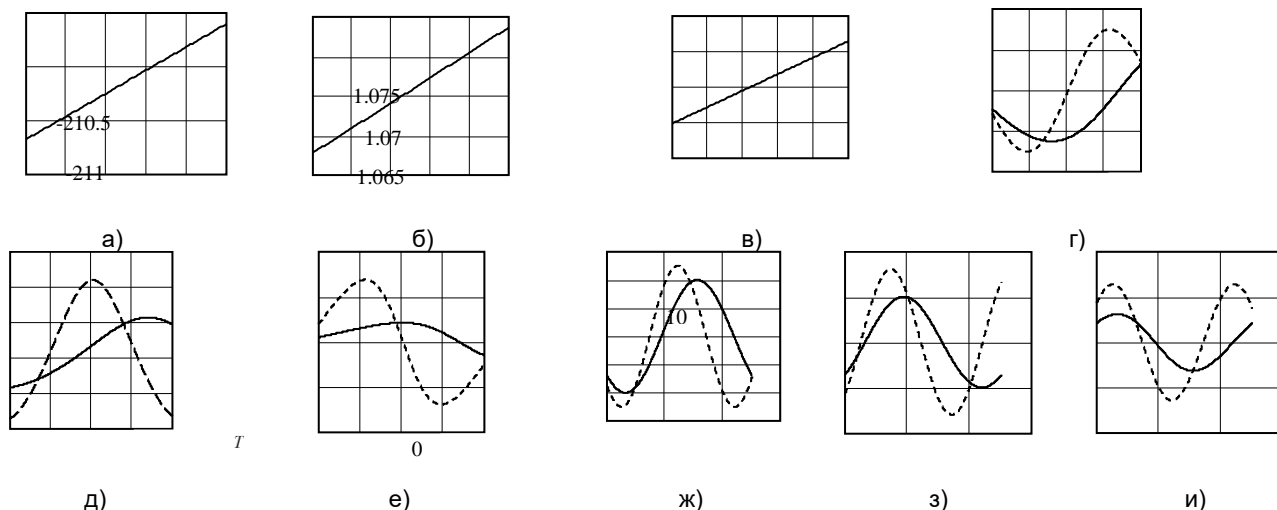


Рисунок 2 – Зависимость радиальных скорости (а, г, ж), ускорения (б, д, з) и производной ускорения (в, е, и) от времени наблюдения при прямолинейном движении самолета (а, б, в), при развороте самолета (г, д, е) с радиусом 6250 м (сплошная кривая) и 4500 м (пунктирная кривая) и при движении БЛА (ж, з, и) по окружности (сплошная кривая – радиус 80 м, пунктирная – радиус 78 м)

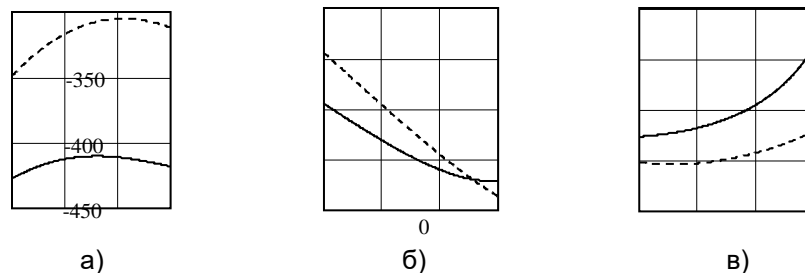


Рисунок 3 – Зависимость, радиальной скорости (а), радиального ускорения (б), и производной ускорения (в) снаряда от времени наблюдения (сплошная кривая - угол запуска 30°, штрих - угол запуска 45°)

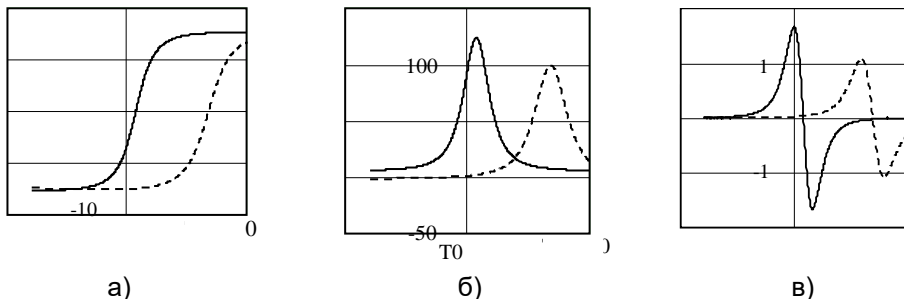


Рисунок 4– Зависимость радиальной скорости (а), радиального ускорения (б), и производной ускорения ИСЗ (в) от времени наблюдения (сплошная – высота 500 км, штрих – высота 600 км)

Таким образом, при синтезе алгоритмов ДН ОС может быть использована модель (1), число учитываемых производных дальности и их максимальные значения в которой определяется типом РЛЦ и условиями наблюдения.

Список использованных источников:

1. Вопросы перспективной радиолокации. Коллективная монография / Под ред. А.В. Соколова // Перспективы повышения эффективности метровых РЛС при использовании длительного когерентного накопления (по результатам экспериментальных исследований). / С.И. Нефедов [и др.]. М.: Радиотехника, 2003. –С. 49-63.
2. Long-time coherent integration for weak maneuvering target detection and high-order motion parameter estimation based on keystone transform / P. Huang, G. Liao, Z. Yang, X.-G. Xia, J.-T. Ma, J. Ma. // IEEE Trans. Signal Process. vol. 64, no. 15. –P.4013-4026.