

УДК 621.396.6.001.2

*И.В. Князев, О.Ю. Дубовицкая, В.Н. Глистин\**

## ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ ФИЛЬТРА ТРЕТЬЕГО ПОРЯДКА ДАЛЬНОМЕРНОГО КАНАЛА

В современных автоматизированных системах управления воздушным движением (АС УВД) для обеспечения высокой пропускной способности и безопасности полетов необходима высокая точность измерения фазовых координат воздушных судов (ВС). Для повышения точности применяются фильтры сопровождения ВС, чьи алгоритмы функционирования зависят от моделей состояния и наблюдения, примененных при их синтезе. Часто модель состояния дальномерного канала радиолокационных станций (РЛС) базируется на гипотезе движения цели с постоянной скоростью или с постоянным ускорением. Алгоритмы линейной фильтрации, реализованные в РЛС в виде  $\alpha$ - $\beta$  и  $\alpha$ - $\beta$ - $\gamma$  фильтров не дают достаточно высокой точности (особенно при интенсивно изменяющемся ускорении цели по линии визирования).

Фильтры третьего порядка с переменными коэффициентами более точно отражают физическую сущность процесса и обеспечивают лучшую точность оценки координат ВС. Модель системы по оценке дальности, скорости и ускорения:

$$\begin{cases} D(k) = D(k-1) + V(k-1)\tau + 0,5a(k-1)\tau^2; \\ V(k) = V(k-1) + a(k-1)\tau; \\ a(k) = a(k-1) + \xi_a(k-1); \end{cases} \quad (1)$$

$$D_{\text{и}}(k) = D(k) + \xi_{\text{дн}}(k). \quad (2)$$

Алгоритм оценки дальности, скорости и ускорения [1] в этом случае может быть представлен в виде:

$$D_o(k+1) = D_o(k) + K_{\phi 1} \Delta D(k+1); \quad (3)$$

$$V_o(k+1) = V_o(k) + K_{\phi 2} \Delta V(k+1); \quad (4)$$

$$a_o(k+1) = a_o(k) + K_{\phi 1} \Delta A(k+1); \quad (5)$$

---

\* Работа выполнена под руководством канд. техн. наук, доцента ФГБОУ ВПО «ТГТУ» Ю.Н. Панасюка.

$$\Delta D(k+1) = D_n(k+1) - D_s(k+1); \quad (6)$$

$$\Delta V(k+1) = V_n(k+1) - V_s(k+1); \quad (7)$$

$$\Delta a(k+1) = a_n(k+1) - a_s(k+1); \quad (8)$$

$$P_s(k+1) = \Phi(k+1)P_0\Phi^T(k+1) + Q(k); \quad (9)$$

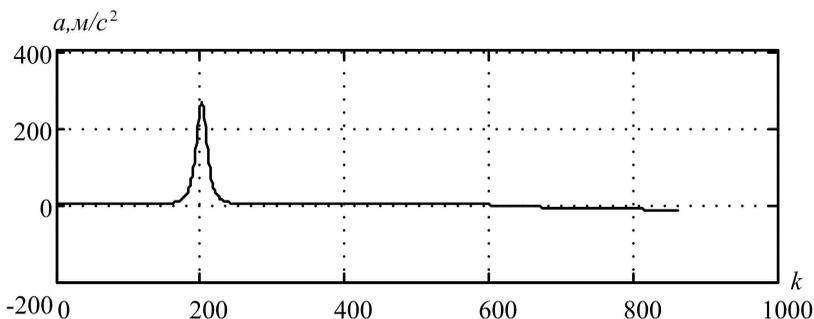
$$K_\phi(k+1) = P_s(k+1)H^T(k+1) \left[ H(k+1)P_s(k+1)H^T(k+1) + R(k+1) \right]^{-1}; \quad (10)$$

$$P_s(k+1) = P_s(k+1) - K_\phi(k+1)H(k+1)P_s(k+1), \quad (11)$$

где  $D_s(k+1)$ ,  $V_s(k+1)$ ,  $a_s(k+1)$  – экстраполяция дальности, скорости и ускорения;  $K_\phi(k+1)$  – матрица оптимальных коэффициентов передачи фильтра;  $P_s(k+1)$  – апостериорная ковариационная матрица ошибок фильтрации;  $P_0(k+1)$  – априорная ковариационная матрица ошибок фильтрации;  $R(k+1)$  – матрица дисперсий измерения;  $Q(k)$  – матрица дисперсий возмущения.

Для исследования точности радиоэлектронных следящих систем (РЭСС) используют потенциальные и реальные точностные характеристики, которые могут быть получены аналитическими методами и с помощью имитационного моделирования. Для оптимальных РЭСС потенциальная точность характеризуется диагональными элементами априорной ковариационной матрицы ошибок фильтрации, представляющих собой дисперсии ошибок фильтрации компонентов вектора состояния (фазовых координат), которые позволяют судить о качестве функционирования оптимального фильтра и характеризуют точность оценивания. При этом необходимо отметить два обстоятельства. Дисперсия зависит от условий применения, определяющих в модели системы  $\Phi$  и  $H$ , их статистических характеристик возмущений.

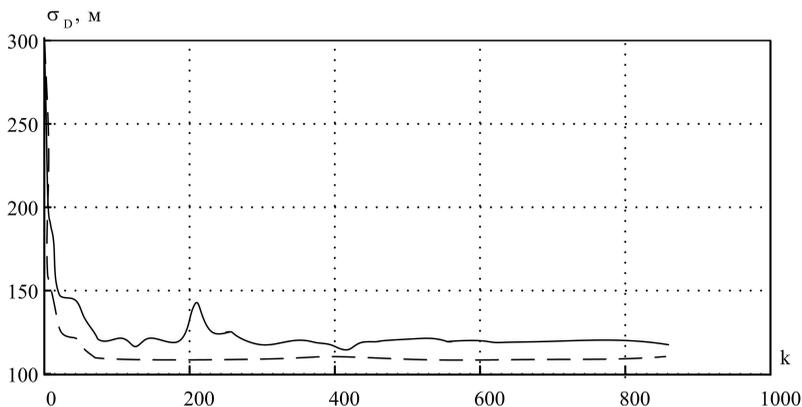
На основе алгоритма (3) – (11) было проведено статистическое имитационное моделирование дальномерного канала радиолокационной станции при следующих условиях: воздушное судно выполняет типовой маневр захода на посадку «большая коробочка» (исследуется участок от начала маневра до окончания 1-го разворота на  $90^\circ$ ), измерение дальности производится относительно диспетчерской радиолокационной станции, скорость ЛА на линейных участках маневра 300 м/с, радиус разворота 5000 м, период дискретизации  $\tau = 0,1$  с. Шум измерения дальности представляет собой гауссовский белый шум с математическим ожиданием  $m_d = 0$  м, среднеквадратическим отклонением  $\sigma = 300$  м. Изменение ускорения ВС по линии визирования при выполнении указанного маневра представлено на рис. 1.



**Рис. 1. Изменение ускорения ЛА**

Как видно из графика (рис. 1) в районе 200-го шага ускорение ВС становится значительным, что приводит к увеличению динамических ошибок фильтрации, для снижения влияния которых в случае использования  $\alpha$ - $\beta$  и  $\alpha$ - $\beta$ - $\gamma$  фильтрации придется увеличивать коэффициенты передачи фильтров, что в свою очередь приведет к ухудшению общей точности фильтрации (в том числе и на тех участках, где ускорение незначительно) за счет влияния флуктуационных ошибок и постоянства коэффициентов передачи фильтров.

Результаты моделирования фильтра дальномерного канала, функционирующего по алгоритму (3) – (11), представлены на рис. 2, где показана зависимость реального (сплошная линия) и потенциального (штриховая линия) среднеквадратического отклонения (СКО) дальности от времени с дискретностью  $\tau$ .



**Рис. 2. Зависимость реального и потенциального СКО дальности от времени с дискретностью  $\tau$**

Как видно из результатов моделирования, в районе 200-го шага наблюдается рост СКО дальности, вызванный возрастанием ускорения ВС, однако за счет автоматического подбора фильтром оптимальных коэффициентов передачи реальное СКО возрастает не критично и на участках, где ускорение незначительно, реальное СКО близко к потенциальному. Таким образом, фильтр, функционирующий по алгоритму (3) – (11), позволяет повысить точность измерения дальности за счет изменения коэффициентов передачи фильтра от шага к шагу. Общая точность данного фильтра выше, чем у фильтров с постоянными коэффициентами ( $\alpha$ - $\beta$  и  $\alpha$ - $\beta$ - $\gamma$  фильтры).

Невысокая потенциальная и реальная точность исследуемого алгоритма функционирования дальномерного канала не отвечает современным требованиям радиоэлектронных следящих систем АС УВД. В связи с этим необходимо дальнейшее совершенствование алгоритмов вторичной обработки радиолокационной информации. Такое усовершенствование может быть осуществлено за счет улучшения моделей состояния и наблюдения, которые более точно отражают физическую сущность процесса. Примером может служить использование сведений о пространственном положении ВС, его основных динамических и кинематических характеристиках.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Лобачев, Ю.В. Обработка радиолокационной информации в автоматизированных системах управления полетами / Ю.В. Лобачев, Ю.Н. Панасюк, Б.П. Комягин. – Тамбов : ТВВАИУРЭ, 2008.

2 Красовский, А.А. Справочник по теории автоматического управления / А.А. Красовский. С – М. : Наука б.н., 1987.