

*И. В. Князев\**

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК АЛГОРИТМА РАДИОЛОКАЦИОННОГО ДАЛЬНОМЕРА С УЧЕТОМ ПРОСТРАНСТВЕННОГО ПОЛОЖЕНИЯ ЦЕЛИ**

Для обеспечения безопасности полетов, повышения пропускной способности аэропортов необходимо улучшать точностные характеристики измерительных подсистем автоматизированных систем управления воздушным движением (АСУВД). В современных АСУВД для повышения точности измеряемых координат широко используются фильтры, основанные на методах оптимальной линейной фильтрации [1]. В настоящее время существует множество алгоритмов такой обработки на практике, реализуемые в виде  $\alpha$ - $\beta$  и  $\alpha$ - $\beta$ - $\gamma$  фильтров, а также фильтров с

---

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

переменными коэффициентами, более точно отражающими физическую сущность процесса, и обеспечивают лучшую точность оценки координат летательного аппарата (ЛА). Алгоритмы функционирования фильтров с переменными коэффициентами базируются на различных моделях состояния и наблюдения, например зингеровская модель, высокой точностью оценивания координат отличаются фильтры, в основу которых положены модели состояния, учитывающие пространственное положение ЛА [2]. Целью данной статьи является исследование точностных характеристик фильтра с переменными коэффициентами, учитывающего пространственное положение цели.

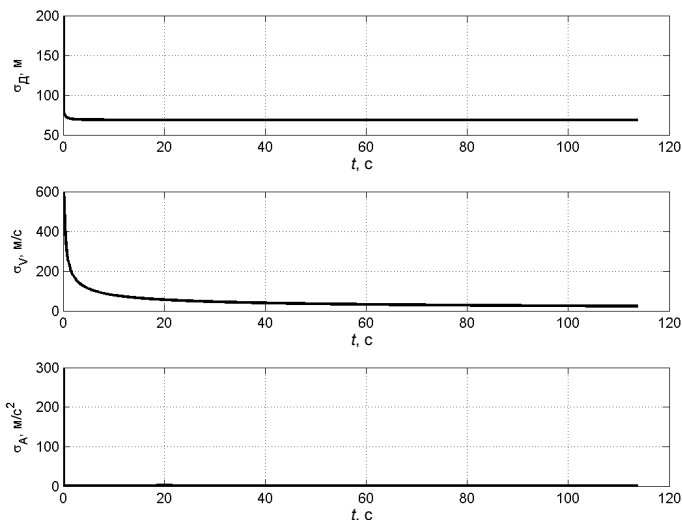
Для анализа фильтров, применяемых для оценки фазовых координат летательных аппаратов, находят потенциальные и реальные ошибки функционирования. Для исследования потенциальных ошибок можно применять как аналитические методы, так и имитационное моделирование, а для оценки реальных ошибок возможно применение, в основном, методов моделирования (аналитические методы возможно применить только для систем малой размерности). На первом этапе необходимо определить потенциальные ошибки для того, чтобы выяснить их минимальный уровень. Если потенциальные ошибки соответствуют установленным требованиям, переходят к оценке реальных ошибок.

Для оптимальных фильтров потенциальная точность характеризуется диагональными элементами априорной ковариационной матрицы ошибок фильтрации  $P_0$ , представляющих собой дисперсии ошибок фильтрации компонентов вектора состояния (фазовых координат)  $P_{011}, \dots, P_{0nn}$ , которые позволяют судить о качестве функционирования оптимального фильтра и характеризуют точность оценивания. Дисперсия зависит от условий применения, определяющих в модели системы  $\Phi$  и  $H$ , их статистических характеристик возмущений  $\sigma_n$ .

Методом имитационного моделирования исследуем зависимость потенциальной точности (потенциального СКО) оценки дальности от времени, для чего воспользуемся программой, имитирующей работу синтезированного фильтра [2], найдем как

$$\begin{aligned}\sigma_D &= \sqrt{P_{011}}; \\ \sigma_V &= \sqrt{P_{022}}; \\ \sigma_A &= \sqrt{P_{033}}.\end{aligned}\tag{1}$$

Результат моделирования представлен на рис. 1. Из результатов моделирования видно, что синтезированный алгоритм обладает высокой потенциальной точностью.



**Рис. 1. Зависимости потенциального СКО дальности, скорости, ускорения от времени**

Так как потенциальные ошибки соответствуют требованиям, то необходимо исследовать точность фильтрации в условиях, приближенных к реальным (в дальнейшем – реальная точность).

С помощью имитационного моделирования на ЭВМ проводятся исследования реальной точности оценок фазовых координат сопровождаемого ЛА. Имитационное моделирование на ЭВМ представляет собой имитацию входных сигналов  $z_{и}$  и обработку этих сигналов с помощью алгоритма [2]. Имитация входного сигнала  $z_{и}$  представляет собой изменение истинных фазовых координат и шум наблюдения  $o_{и}$ . Шум наблюдения  $o_{и}$  имитируется датчиками случайных чисел. Знание реальных ошибок фильтрации позволяет достоверно оценить работоспособность полученных алгоритмов фильтрации в условиях, приближенных к реальным. Реальная точность оценивается по величине СКО оценок фазовых координат известной формулой

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x(k) - \hat{x}(k))^2}{N-1}}, \quad (2)$$

где  $\sigma$  – средняя квадратичная ошибка оценивания фазовой координаты цели;  $x(k)$  – истинные значения фазовых координат цели;  $\hat{x}(k)$  – оце-

ночные значения фазовых координат цели  $k$ -й реализации;  $N$  – количество реализаций.

С помощью имитационного моделирования исследуем реальную точность синтезированного алгоритма, для этого воспользуемся программой, имитирующей работу синтезированного алгоритма. и программой, имитирующей входные воздействия. Для определения СКО ограничимся 100 выборками. В качестве входного сигнала будет использован закон изменения дальности во время прохождения целью типового маневра захода на посадку «большая коробочка» в качестве помехи был принят центрированный белый шум со среднеквадратическим отклонением 200 м. Результаты моделирования приведены на рис. 2.

Из результатов моделирования видно, что реальная точность синтезированного алгоритма не значительно отличается от потенциальной, что обусловлено соответствием модели состояния реальной динамике полета ЛА.

В ходе имитационного моделирования также получена зависимость реального СКО скорости цели от времени, ошибка оценивания скорости цели мала (около 1,6 м/с) и постоянна, что обусловлено постоянством скорости движения ЛА в процессе прохождения маневра «большая коробочка».

Из результатов исследования видно, что точность фильтра с переменными коэффициентами, учитывающего пространственное положение цели высока и применение таких фильтров позволит значительно увеличить пропускную способность автоматизированных систем управления воздушным движением при заданном уровне безопасности.

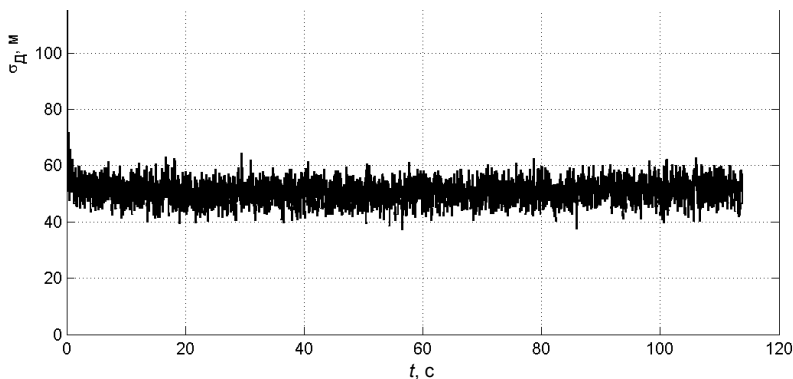


Рис. 2. Зависимость реального СКО дальности от времени

## Список литературы

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

2. *Князев, И. В.* Разработка модели и алгоритма радиолокационного дальномера с учетом пространственного положения цели для решения задачи управления воздушным движением / И. В. Князев // Наука и образование для устойчивого развития экономики, природы и общества : сб. докл. Междунар. науч.-практ. конф. – Тамбов : ФГБОУ ВПО «ТГТУ». – 2013. – Т. 3. – С 275 – 282.

*Кафедра «Радиотехника» ФГБОУ ВПО «ТГТУ»*