

УДК 621.396.968

*В. Н. Глистин\**

### МОДЕЛЬ ДАЛЬНОМЕРА ПОСАДОЧНОЙ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ СТАНЦИИ

В настоящий момент одной из наиболее актуальных тем в радиотехнике и радиолокации является обеспечение безопасности полетов воздушных судов (ВС). Особенно это касается посадочных радиолокационных станций (ПРЛС), обеспечивающих безопасность ВС на наиболее ответственном, завершающем этапе его полета – посадке.

Используемые существующие алгоритмы функционирования автоматизированных систем управления воздушным движением (АС УВД) не обеспечивают требуемой точности при заданном уровне безопасности движения воздушных судов. Проблема точности, устойчивости, помехозащищенности следящих устройств АС УВД обусловлена в первую очередь тем, что используемые модели движения ВС не соответствуют их реальным моделям движения, из-за неточности оценки дальности ( $D$ ), скорости ( $v$ ) и ускорения ( $a$ ). Так используемая во второй обработке модель Зингера основана на предположении, что ускорение цели является статистической величиной [1].

В то время как изменение дальности между ПРЛС и ВС при заходе на посадку имеет нелинейный характер, это ведет к резкому увеличению ошибки оценки дальности, скорости, ускорения. Решить данную проблему возможно синтезом радиоэлектронных следящих устройств АС УВД за траекторией движения воздушного судна с использованием дополнительных сведений бортовых датчиков.

Необходимую дополнительную информацию бортовых датчиков воздушного судна можно получить от дискретно-адресных систем передачи информации, где используется индивидуально-адресный запрос. Это позволит получить данные о кинематических характеристиках цели, позволяющих точно описать движение воздушного судна [2].

Используя информацию, полученную от дискретно-адресных систем передачи, необходимую для более точного описания движения ВС относительно ПРЛС, можно записать следующую модель состояния в дискретном времени:

---

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

$$\left. \begin{aligned}
D(k+1) &= D(k) + v(k)\tau + 0,5a(k)\tau^2; \\
v(k+1) &= v(k) + a(k)\tau; \\
a(k+1) &= v_{\Pi}(k)(\cos\theta(k)\sin\varepsilon_B(k)(\omega_{\theta}(k) - \omega_B(k)\cos(\varphi(k) - \varepsilon_r(k))) + \\
&\quad + \sin\theta(k)\cos\varepsilon_B(k)(\omega_B(k) - \omega_{\theta}(k)\cos(\varphi(k) - \varepsilon_r(k))) + \\
&\quad + \cos\theta(k)\cos\varepsilon_B(k)\sin(\varphi(k) - \varepsilon_r(k))(\omega_r(k) - \omega_{\varphi}(k))) + \xi_a(k); \\
v_{\Pi}(k+1) &= v_{\Pi}(k) + a_{\Pi}(k)\tau; \\
a_{\Pi}(k+1) &= (1 - \alpha_{\phi}\tau)a_{\Pi}(k) + \xi_{a_{\Pi}}(k); \\
\theta_{\Pi}(k+1) &= \theta_{\Pi}(k) + \omega_{\theta_{\Pi}}(k)\tau; \\
\omega_{\theta_{\Pi}}(k+1) &= (1 - \alpha_{\phi}\tau)\omega_{\theta_{\Pi}}(k) + \xi_{\omega_{\theta_{\Pi}}}; \\
\varphi_{\Pi}(k+1) &= \varphi_{\Pi}(k) + \omega_{\varphi_{\Pi}}(k)\tau; \\
\omega_{\varphi_{\Pi}}(k+1) &= (1 - \alpha_{\phi}\tau)\omega_{\varphi_{\Pi}}(k) + \xi_{\omega_{\varphi_{\Pi}}}(k); \\
\varepsilon_B(k+1) &= \varepsilon_B(k) + \omega_B(k)\tau; \\
\omega_B(k+1) &= (1 - \alpha_{\phi}\tau)\omega_B(k) + \xi_{\omega_B}(k); \\
\varepsilon_r(k+1) &= \varepsilon_r(k) + \omega_r(k)\tau; \\
\omega_r(k+1) &= (1 - \alpha_{\phi}\tau)\omega_r(k) + \xi_{\omega_r}(k);
\end{aligned} \right\} (1)$$

в свою очередь модель наблюдения будет иметь следующий вид:

$$\left. \begin{aligned}
D_{\Pi}(k+1) &= D(k+1) + \xi_{D_{\Pi}}(k+1); \\
v_{\text{ши}}(k+1) &= v_{\Pi}(k+1) + \xi_{v_{\text{ши}}}(k+1); \\
\theta_{\text{ши}}(k+1) &= \theta_{\Pi}(k+1) + \xi_{\theta_{\text{ши}}}(k+1); \\
\varphi_{\text{ши}}(k+1) &= \varphi_{\Pi}(k+1) + \xi_{\varphi_{\text{ши}}}(k+1); \\
\varepsilon_{\text{ви}}(k+1) &= \varepsilon_B(k+1) + \xi_{\varepsilon_{\text{ви}}}(k+1); \\
\varepsilon_{\text{ги}}(k+1) &= \varepsilon_r(k+1) + \xi_{\varepsilon_{\text{ги}}}(k+1),
\end{aligned} \right\} (2)$$

где  $v_{\Pi}$  и  $a_{\Pi}$  – скорость и ускорение цели;  $\theta_{\Pi}$  и  $\omega_{\theta_{\Pi}}$  – угол наклона и скорость изменения угла наклона цели;  $\varphi_{\Pi}$  и  $\omega_{\varphi_{\Pi}}$  – путевой угол и скорость изменения путевого угла цели;  $\varepsilon_B$  и  $\omega_B$  – угол наклона линии визирования и его скорость изменения в вертикальной плоскости;  $\varepsilon_r$  и  $\omega_r$  – угол наклона линии визирования и его скорость изменения в горизонтальной плоскости;  $\xi_a$ ,  $\xi_{a_{\Pi}}$ ,  $\xi_{\omega_{\theta_{\Pi}}}$ ,  $\xi_{\omega_{\varphi_{\Pi}}}$ ,  $\xi_{\omega_B}$ ,  $\xi_{\omega_r}$  – центрированные гауссовские шумы с известными дисперсиями;  $\xi_{D_{\Pi}}$ ,  $\xi_{v_{\text{ши}}}$ ,  $\xi_{\theta_{\text{ши}}}$ ,  $\xi_{\varphi_{\text{ши}}}$ ,  $\xi_{\varepsilon_{\text{ви}}}$ ,  $\xi_{\varepsilon_{\text{ги}}}$  – дискретные центрированные гауссовские шумы измерений с известными дисперсиями [1].

Вектор состояния (1) имеет большие размеры и некоторые его составляющие слабо коррелированы. В векторе состояния (1) имеется возможность выделить несколько групп уравнений, для которых можно сформировать независимые оценки на основе измерений, провести его декомпозицию, т.е. исходный вектор состояния (1) разобьем на несколько подвекторов.

В итоге векторы состояния (1) и наблюдения (2) модели систем фильтров дальномерного канала примут следующий вид [1]:

– модель системы по оценке дальности, скорости и ускорения:

$$\left. \begin{aligned} D(k+1) &= D(k) + v(k)\tau + 0,5a(k)\tau^2; \\ v(k+1) &= v(k) + a(k)\tau; \\ a(k+1) &= v_{\text{ц}}(k)(\cos\theta(k)\sin\varepsilon_{\text{в}}(k)(\omega_{\theta}(k) - \omega_{\text{в}}(k)\cos(\varphi(k) - \varepsilon_{\text{г}}(k))) + \\ &\quad + \sin\theta(k)\cos\varepsilon_{\text{в}}(k)(\omega_{\text{в}}(k) - \omega_{\theta}(k)\cos(\varphi(k) - \varepsilon_{\text{г}}(k))) + \\ &\quad + \cos\theta(k)\cos\varepsilon_{\text{в}}(k)\sin(\varphi(k) - \varepsilon_{\text{г}}(k))(\omega_{\text{г}}(k) - \omega_{\varphi}(k)) + \xi_a(k); \end{aligned} \right\} (3)$$

$$D_{\text{ц}}(k+1) = D(k+1) + \xi_{D_{\text{ц}}}(k+1); \quad (4)$$

– модель системы по оценке скорости и ускорения цели

$$\left. \begin{aligned} v_{\text{ц}}(k+1) &= v_{\text{ц}}(k) + a_{\text{ц}}(k)\tau; \\ a_{\text{ц}}(k+1) &= (1 - \alpha_{\text{ф}}\tau)a_{\text{ц}}(k) + \xi_{a_{\text{ц}}}(k); \end{aligned} \right\} (5)$$

$$v_{\text{цц}}(k+1) = v_{\text{ц}}(k+1) + \xi_{v_{\text{цц}}}(k+1); \quad (6)$$

– модель системы по оценке угла наклона и скорости изменения угла наклона цели

$$\left. \begin{aligned} \theta_{\text{ц}}(k+1) &= \theta_{\text{ц}}(k) + \omega_{\theta_{\text{ц}}}(k)\tau; \\ \omega_{\theta_{\text{ц}}}(k+1) &= (1 - \alpha_{\text{ф}}\tau)\omega_{\theta_{\text{ц}}}(k) + \xi_{\omega_{\theta_{\text{ц}}}}; \end{aligned} \right\} (7)$$

$$\theta_{\text{цц}}(k+1) = \theta_{\text{ц}}(k+1) + \xi_{\theta_{\text{цц}}}(k+1); \quad (8)$$

– модель системы по оценке путевого угла и угловой скорости путевого угла цели

$$\left. \begin{aligned} \varphi_{\text{ц}}(k+1) &= \varphi_{\text{ц}}(k) + \omega_{\varphi_{\text{ц}}}(k)\tau; \\ \omega_{\varphi_{\text{ц}}}(k+1) &= (1 - \alpha_{\text{ф}}\tau)\omega_{\varphi_{\text{ц}}}(k) + \xi_{\omega_{\varphi_{\text{ц}}}}(k); \end{aligned} \right\} (9)$$

$$\varphi_{\text{цц}}(k+1) = \varphi_{\text{ц}}(k+1) + \xi_{\varphi_{\text{цц}}}(k+1); \quad (10)$$

– модель системы по оценке угла наклона линии визирования и его скорости изменения в вертикальной плоскости

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon_{\text{в}}(k+1) &= \varepsilon_{\text{в}}(k) + \omega_{\varepsilon_{\text{в}}}(k)\tau; \\ \omega_{\varepsilon_{\text{в}}}(k+1) &= (1 - \alpha_{\text{ф}}\tau)\omega_{\varepsilon_{\text{в}}}(k) + \xi_{\omega_{\varepsilon_{\text{в}}}}(k); \end{aligned} \right\} (11)$$

$$\varepsilon_{\text{вн}}(k+1) = \varepsilon_{\text{в}}(k+1) + \xi_{\omega_{\text{в}}}(k+1); \quad (12)$$

– модель системы по оценке угла наклона линии визирования и его скорости изменения в горизонтальной плоскости

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon_{\Gamma}(k+1) &= \varepsilon_{\Gamma}(k) + \omega_{\Gamma}(k)\tau; \\ \omega_{\Gamma}(k+1) &= (1 - \alpha_{\Phi}\tau)\omega_{\Gamma}(k) + \xi_{\omega_{\Gamma}}(k); \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

$$\varepsilon_{\text{ГН}}(k+1) = \varepsilon_{\Gamma}(k+1) + \xi_{\varepsilon_{\Gamma}}(k+1). \quad (14)$$

Полученная модель системы дальномерного канала позволяет сохранить высокую точность и дает возможность определить все необходимые оценки фазовых координат при значительно меньших вычислительных затратах.

### 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. Анодина, Т. Г. Моделирование процессов в системе управления воздушным движением / Т. Г. Анодина, В. И. Мокшанов. – Москва : Радио и связь, 1993.