

Тема 6. Перспективные направления работ по повышению уровня БзП

Под адаптивными системами ограничения параметров движения понимаются системы, в основе алгоритмов функционирования которых используются математические модели движения ЛА, настраиваемые по режимам полета. Такие алгоритмы обеспечивают заданный уровень показателей качества функционирования систем ограничения во всем диапазоне режимов полета ЛА.

6.1 Алгоритм функционирования адаптивной СОУА

В предыдущих параграфах рассматривались те трудности, которые возникают при синтезе СОУА, и недостатки, присущие СОУА с фиксированной настройкой параметров.

Рассмотрим подход к синтезу алгоритма функционирования СОУА, в существенной мере свободного от рассмотренных выше недостатков.

Пусть движение ЛА в продольном канале описывается следующими выражениями:

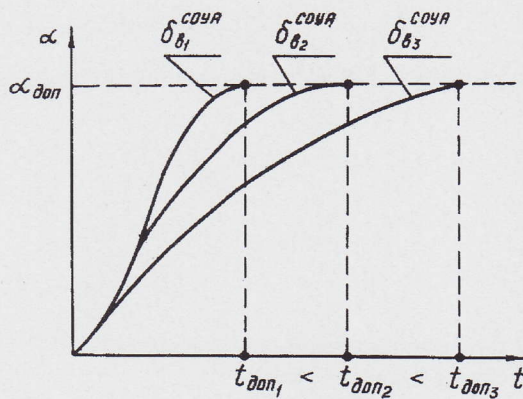


Рис. 6.14

$$\dot{\alpha} = \omega_z - \bar{Y}^\alpha \alpha; \tag{6.31}$$

$$\dot{\omega}_z = \bar{M}_z^\alpha \alpha + \bar{M}_z^{\omega_z} \omega_z + \bar{M}_z^{\dot{\alpha}} \dot{\alpha} + \bar{M}_z^{\delta_B} \delta_B.$$

Сведем их к одному уравнению. Для этого полученное из первого уравнения равенство $\omega_z = \dot{\alpha} + \bar{Y}^\alpha \alpha$ подставим во второе. Продифференцируем первое уравнение по t и в полученное уравнение $\ddot{\alpha} = \dot{\omega}_z - \bar{Y}^\alpha \alpha$ вместо $\dot{\omega}_z$ подставим правую часть второго уравнения. Приведя подобные члены, получим

$$\ddot{\alpha} = a_1 \dot{\alpha} + a_0 \alpha + \bar{M}_z^{\delta_B} \delta_B, \tag{6.32}$$

где $a_1 = \bar{M}_z^{\omega_z} + \bar{M}_z^{\dot{\alpha}} - \bar{Y}^\alpha$; $a_0 = \bar{M}_z^\alpha + \bar{M}_z^{\omega_z} - \bar{Y}^\alpha$.

Рассмотрим график $\alpha(t)$ при выводе ЛА на $\alpha_{доп}$ (рис.6.14).

Для оптимальной СОУА должно быть соблюдено следующее условие: СОУА должна сработать именно в тот момент времени, чтобы последующее движение обеспечило в точке $\alpha(t) = \alpha_{доп}$

$$\dot{\alpha}_{\alpha=\alpha_{доп}} = 0.$$

Для этого введем в рассмотрение два временных интервала.

Под первым будем понимать время достижения $\alpha_{\text{доп}} - t_{\text{д}}$ при условии, что текущий темп изменения угла атаки равен $\dot{\alpha}(t)$, а темп изменения угла атаки на $\alpha(t) = \alpha_{\text{доп}}$ равен нулю ($\dot{\alpha}_{\alpha=\alpha_{\text{доп}}} = 0$).

Введем в рассмотрение средний темп изменения угла атаки на интервале выхода самолета на $\alpha_{\text{доп}}$:

$$\dot{\alpha}_{\text{ср}} = \frac{1}{t_{\text{д}} - t} \int_t^{t_{\text{д}}} \dot{\alpha}(\tau) d\tau = \frac{\alpha_{\text{доп}} - \alpha(t)}{t_{\text{д}}}. \quad (6.33)$$

Значение $\dot{\alpha}_{\text{ср}}$ для текущего времени t можно также определить по приближенной формуле

$$\dot{\alpha}_{\text{ср}} = \frac{\dot{\alpha}(t) + \dot{\alpha}(t_{\text{д}})}{2} = \frac{\dot{\alpha}(t)}{2}.$$

Тогда для времени достижения $\alpha_{\text{доп}}$ справедливо соотношение вида

$$t_{\text{д}} = \frac{\alpha_{\text{доп}} - \alpha(t)}{\dot{\alpha}_{\text{ср}}} = 2 \frac{\alpha_{\text{доп}} - \alpha(t)}{\dot{\alpha}(t)}. \quad (6.34)$$

Под вторым временным интервалом будем понимать время $t_{\text{с}}$, за которое возможно сбросить текущий темп угла атаки $\dot{\alpha}(t)$ до нулевого значения.

Для его определения рассмотрим уравнение (6.32). Его правая часть представляет собой располагаемое ускорение изменения угла атаки на интервале достижения углом атаки значения $\alpha_{\text{доп}}$.

Для нахождения времени $t_{\text{с}}$ необходимо использовать среднее значение ускорения $\ddot{\alpha}_{\text{ср}}$. Приближенное значение $\ddot{\alpha}_{\text{ср}}$ можно вычислить по формуле

15*

$$\ddot{\alpha}_{\text{ср}} = a_1 \dot{\alpha}_{\text{ср}} + a_0 \alpha_{\text{ср}} + \overline{M}_z^{\delta_B} \delta_B^{\text{COYA}}, \quad (6.35)$$

где $\alpha_{\text{ср}} = \frac{\alpha(t) + \alpha_{\text{доп}}}{2}$.

Тогда аналогично выражению (6.34) получим

$$t_{\text{с}} = \frac{\dot{\alpha}_{\alpha=\alpha_{\text{доп}}} - \dot{\alpha}(t)}{\ddot{\alpha}_{\text{ср}}} = -\frac{\dot{\alpha}(t)}{\ddot{\alpha}_{\text{ср}}}. \quad (6.36)$$

Для выполнения условия $\dot{\alpha}_{\alpha=\alpha_{\text{доп}}} = 0$ необходимо, чтобы величины рассмотренных временных интервалов были равны:

$$t_{\text{доп}} = t_{\text{с}}. \quad (6.37)$$

При наличии этого равенства необходимо обеспечить срабатывание СОУА, выражающееся в отклонении стабилизатора на величину δ_B^{COYA} .

Подставив в выражение (6.37) выражения (6.34) и (6.36), можно получить угол атаки срабатывания $\alpha_{\text{сраб}}$ СОУА:

$$2 \frac{\alpha_{\text{доп}} - \alpha(t)}{\dot{\alpha}(t)} = -\frac{\dot{\alpha}(t)}{\ddot{\alpha}_{\text{ср}}}. \quad (6.38)$$

Заменив $\alpha(t)$ на $\alpha_{\text{сраб}}$ и преобразовав выражение (6.38), получим

$$\alpha_{\text{сраб}} = \alpha_{\text{доп}} + \frac{1}{2} \frac{\dot{\alpha}^2(t)}{\ddot{\alpha}_{\text{ср}}}. \quad (6.39)$$

Здесь $\ddot{\alpha}_{\text{ср}} < 0$ – среднее ускорение угла атаки, зависящее как от собственных динамических свойств ЛА, так и от системы ограничения угла атаки.

Развернув (6.39) и опустив аргумент t , получим

$$\alpha_{\text{сраб}} = \alpha_{\text{доп}} + \frac{1}{2} \frac{\dot{\alpha}^2}{\left(\overline{M}_z^{\omega z} + \overline{M}_z^{\dot{\alpha}} - \overline{Y}^{\alpha} \right) \dot{\alpha}_{\text{ср}} + \left(\overline{M}_z^{\omega z} \overline{Y}^{\alpha} + \overline{M}_z^{\dot{\alpha}} \right) \alpha_{\text{ср}} + \overline{M}_z^{\delta} \delta_{\text{В}}^{\text{СОУА}}}. \quad (6.40)$$

Видно, что структура алгоритма срабатывания адаптивной СОУА существенно отличается от традиционного типа

$$\alpha_{\text{сраб}} = \alpha_{\text{доп}} - K \dot{\alpha}.$$

Моделирование показывает исключительно высокую эффективность адаптивного алгоритма при условии точной настройки параметров выражения (6.40) по режимам полета.

6.2. Алгоритм системы увода ЛА с опасной высоты

Поскольку задача решается на траекторном уровне, то уравнения движения ЛА как материальной точки можно выбрать в виде

$$\begin{aligned} \dot{H} &= V \sin \theta; \\ \dot{\theta} &= \frac{g}{V} (n_y \cos \gamma - \cos \theta); \\ \dot{V} &= g (n_x - \sin \theta). \end{aligned} \quad (6.41)$$

Следуя логике построения алгоритма адаптивной СОУА, выделим в качестве ограничиваемого параметра высоту ($H \geq H_{\text{мин}}$). В качестве управления примем заданное значение нормальной перегрузки

$$n_y = \begin{cases} n_y(t), & \text{если } H > H_{\text{сраб}}; \\ n_y^{\text{УВОД}}, & \text{если } H \leq H_{\text{сраб}}. \end{cases} \quad (6.42)$$

Найдем время достижения ЛА минимально допустимой высоты $H_{\text{мин}}$ при условии

$$\dot{H}_{H=H_{\text{мин}}} = 0;$$

$$t_{\text{д}} = \frac{H_{\text{мин}} - H}{\dot{H}_{\text{ср}}} = 2 \frac{H_{\text{мин}} - H}{\dot{H}}, \quad (6.43)$$

где $\dot{H}_{\text{ср}} = \frac{0 + H}{2} = \frac{\dot{H}}{2}$ – необходимый средний темп изменения высоты на оставшемся временном интервале $t_{\text{д}}$.

Время сброса $t_{\text{с}}$ темпа изменения высоты до нулевого значения на $H = H_{\text{мин}}$ будем определять по следующей методике.

Продифференцируем по t первое уравнение системы (6.41)

$$\ddot{H} = \dot{V} \sin \theta + \dot{V} \cos \theta \dot{\theta} \quad (6.44)$$

и подставим на места производных $\dot{\theta}$ и \dot{V} правые части второго и третьего уравнений системы (6.41). Проведя преобразования, получим

$$\ddot{H} = g(n_x \sin \theta + n_y \cos \gamma \cos \theta - 1). \quad (6.45)$$

Найдем приближенное среднее значение ускорения изменения высоты $\ddot{H}_{\text{ср}}$. Для этого используются текущее значение \ddot{H} , определяемое выражением (6.45), и конечное значение $\ddot{H}_{\dot{H}=0}$, то есть когда темп изменения высоты $\dot{H} = 0$, что соответствует нулевому значению угла наклона траектории ($\theta = 0$):

$$\ddot{H}_{\dot{H}=0} = g(n_y \cos \gamma - 1). \quad (6.46)$$

Взяв среднее арифметическое выражение (6.45) и (6.46), получим после преобразования с учетом управления $n_y^{\text{УВОД}}$,

$$\ddot{H}_{\text{ср}} = \frac{g(n_x \sin \theta + n_y^{\text{УВОД}} \cos \gamma (\cos \theta + 1) - 2)}{2}. \quad (6.47)$$

По аналогии определения t_c в задаче ограничения угла атаки запишем его выражение для рассматриваемой задачи:

$$t_c = \frac{\dot{H}_{H=H_{\text{мин}}} - \dot{H}}{\ddot{H}_{\text{ср}}} = -\frac{\dot{H}}{\ddot{H}_{\text{ср}}}. \quad (6.48)$$

Приравниваем выражения (6.43) и (6.48):

$$2 \frac{H_{\text{мин}} - H}{\dot{H}} = -\frac{\dot{H}}{\ddot{H}_{\text{ср}}}. \quad (6.49)$$

Обозначив высоту $H_{\text{сраб}} = H_{t=t_c}$ и проведя преобразование, получим с учетом (6.47)

$$H_{\text{сраб}} = H_{\text{мин}} + \frac{H^2}{g(n_x \sin \theta + n_y^{\text{УВОД}} \cos \gamma (1 + \cos \theta) - 2)}. \quad (6.50)$$

Анализируя структуру закона, можно увидеть, что он адаптивен и адекватно изменяет высоту срабатывания системы УВОД в зависимости от величины параметров движения ЛА (\dot{H}, γ, θ) и выбранной величины управления $n_y^{\text{УВОД}}$. Исследования показывают существенно большую эффективность данного алгоритма по сравнению с алгоритмами традиционного типа:

$$H_{\text{сраб}} = H_{\text{мин}} + K\dot{H}, \quad (6.51)$$

где K – фиксированный коэффициент.

В качестве заключения по рассмотренным адаптивным алгоритмам отметим следующее. Принципиальным отличием адаптивных алгоритмов от традиционного является то, что их структура получена из условия отсутствия запроса по ограничиваемому параметру движения ЛА:

$$\dot{\alpha}_{\alpha=\alpha_{\text{доп}}} = 0; \quad \dot{H}_{H=H_{\text{мин}}} = 0.$$

При синтезе структуры алгоритмов использовались динамические модели движения ЛА с необходимой детализацией, учитывающей влияние на процессы движения ЛА тех или иных факторов.

Вторым принципиальным отличием является снижение числа настраиваемых параметров алгоритма (остается только выбор диапазона управления, доверенного СОУА – $\delta_{\text{в}}^{\text{СОУА}}$ и системе УВОД – $n_y^{\text{УВОД}}$). Коэффициент K как таковой в алгоритмах отсутствует. Уменьшается число критериев, по которым оценивается эффективность БСОБ. Фактически, например, задача выбора параметров СОУА

сводится из многокритериальной к однокритериальной – минимизации времени t_d интенсивного вывода ЛА на $\alpha_{\text{доп}}$. Остальные два критерия при таком алгоритме теряют смысл, их значения всегда тождественно равны нулю.