

## КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА

Целью контрольной работы является исследование САУ углом тангажа посредством статического автопилота. Для выполнения контрольной работы следует использовать печатные издания 1 и 2 [Л1, Л2] из списка литературы в программе дисциплины.

Структурная схема системы представлена на рис. 3.6 [Л1]. Исходные данные для расчёта коэффициентов САУ соответствуют параметрам продольного канала ЛА и берутся из табл. 1.1, где тип самолёта определяется по первой букве фамилии студента: А–И – лёгкий самолёт, Й–С – средний самолёт, Т–Я – тяжёлый самолёт. Высота полёта задаётся второй буквой фамилии: А–Н – первый столбец параметров самолёта, П–Я – второй столбец (столбец «Н=12 км» для тяжёлого самолёта не используется).

Требуется:

- 1) рассчитать коэффициенты автопилота;
- 2) определить значения статических ошибок относительно управляющего  $U_3$  и возмущающего  $f_2$  воздействий.

*Таблица 1.1*

Коэффициент	Легкий самолет		Средний самолет		Тяжелый самолет		
	<i>H</i> =11 км <i>M</i> =0,9 $\tau_a=3,8$ с	<i>H</i> =15 км <i>M</i> =2,5 $\tau_a=2,5$ с	<i>H</i> =0 (посадка)	<i>H</i> =4 км <i>M</i> =0,65 $\tau_a=2,9$ с	<i>H</i> =0 (посадка)	<i>H</i> =8 км <i>M</i> =0,8 $\tau_a=2,5$ с	<i>H</i> =12 км <i>M</i> =0,9 $\tau_a=3$ с
$n_{11}$	0,024	-0,01	0,12	0,019	0,12	0,026	0,048
$n_{12}$	-0,11	-0,08	-0,28	0,02	-0,12	-0,025	-0,079
$n_{13}$	0,2	0,2	0,4	0,3	0,3	0,1	0,17
$n_{14}$	-0,0004	-0,0004	—	-0,00044	—	-0,0004	-0,0004
$n_{21}$	-0,4	-0,68	-0,8	-0,6	-0,65	-0,36	-0,68
$n_{22}$	2,4	2,5	2,4	2,66	2,35	3	2,4
$n_{23}$	0	0	0,02	0	0,015	0	0
$n_{24}$	-0,012	-0,013	—	-0,013	—	-0,011	-0,012
$n_{31}$	0	-0,8	0	0	0	0	-1,2
$n_0$	0,4	0,7	0,59	0,6	0,9	1,17	0,68
$n_{32}$	38	16	6,6	10,6	8	4,2	36
$n_{33}$	2,45	2,2	1,67	1,7	2,35	2,5	2,42
$n_{34}$	-0,053	-0,055	—	-0,055	—	-0,05	-0,05
$n_B$	49	100	15,2	24,5	8,4	28	46
$n_d$	0,022	0,02	0,019	0,021	0,018	0,02	0,02

Методические указания

### 3.4. УПРАВЛЕНИЕ УГЛОМ ТАНГАЖА ПОСРЕДСТВОМ СТАТИЧЕСКОГО АВТОПИЛОТА

Рассмотрим статическую систему автоматического управления углом тангажа (рис. 3.6), включающую контур управления угловой скоростью и контур управления углом тангажа. Передаточная функция ЛА взята в предположении постоянства скорости полета. На структурной схеме не показаны внешние возмущения

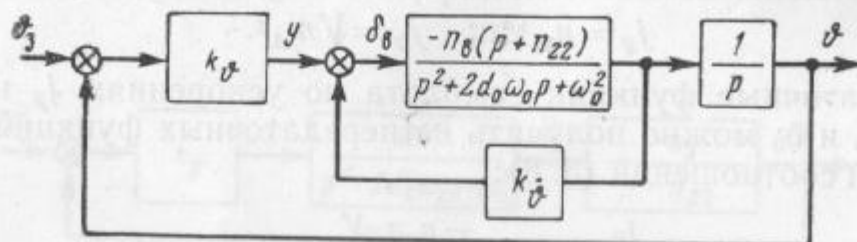


Рис. 3.6. Структурная схема системы управления углом тангажа

щения  $f_2$  и  $f_3$ , действующие на ЛА. Закон управления системы берем в виде

$$\delta_{\theta} = k_{\theta} (\vartheta - \vartheta_3) + k_{\dot{\vartheta}} p \vartheta, \quad (3.13)$$

где  $\vartheta_3$  — заданное значение угла тангажа.

Решая уравнение (3.13) совместно с уравнениями (1.22), получим

$$p^3 + a_1 p^2 + a_2 p + a_3 \vartheta = (b_0 p + a_3) \vartheta_3 + (n_0 p + n_{32}) f_2 + (p + n_{22}) f_3, \quad (3.14)$$

где

$$a_1 = 2d_0 \omega_0 + n_{\theta} k_{\dot{\vartheta}}; \quad a_2 = \omega_0^2 + n_{\theta} (k_{\theta} + n_{22} k_{\dot{\vartheta}});$$

$$a_3 = n_{\theta} n_{22} k_{\theta}; \quad b_0 = n_{\theta} k_{\theta}.$$

Выбор параметров системы управления следует производить из условий неискаженного воспроизведения заданного угла тангажа  $\vartheta_3$  при слабом реагировании на возмущения  $f_2$  и  $f_3$ . Если передаточные числа  $k_{\theta}$  и  $k_{\dot{\vartheta}}$  выбрать достаточно большими, то реакция системы на возмущения  $f_2$  и  $f_3$  будет слабой.

Будем осуществлять выбор передаточных чисел  $k_{\theta}$  и  $k_{\dot{\vartheta}}$  в два этапа. Сначала выберем значение передаточного числа  $k_{\dot{\vartheta}}$  из условия заданного переходного процесса во внутреннем контуре (см. рис. 3.6), передаточная функция для которого имеет вид

$$\frac{\dot{\vartheta}}{y} = \frac{n_{\theta} (p + n_{22})}{p^2 + 2d\omega p + \omega^2}, \quad (3.15)$$

где

$$\omega^2 = \omega_0^2 + n_{\theta} n_{22} k_{\dot{\vartheta}}; \quad 2d\omega = 2d_0 \omega_0 + n_{\theta} k_{\dot{\vartheta}}.$$

где  $2d_0\omega_0 = n_{11} + n_{33}$ ,  $\omega_0^2 = n_{31} + n_{11}n_{33}$ .

Выберем такое значение передаточного числа  $k_{\beta}$ , чтобы коэффициент затухания был оптимальным, например,  $d=1$ . Находим

$$k_{\beta} = \frac{1}{n_n} \left[ 2d^3 n_{22} \left( 1 + \sqrt{1 - \frac{2d_0\omega_0}{d^2 n_{22}} + \frac{\omega_0^2}{d^2 n_{22}^2}} \right) - 2d_0\omega_0 \right]. \quad (3.16)$$

Для внешнего замкнутого контура (см. рис. 3.6) можно написать

$$\frac{\theta}{\theta_3} = \frac{n_n k_{\beta} (p + n_{22})}{p^3 + A_1 \omega p^2 + A_2 \omega^2 p + \omega^3}, \quad (3.17)$$

где

$$A_1 = 2d; \quad A_2 = 1 + \frac{n_n k_{\beta}}{\omega^2}; \quad \omega^3 = n_n k_{\beta} n_{22}.$$

Известно, что параметры Вышнеградского  $A_1$  и  $A_2$  соответствуют оптимальному переходному процессу, если они меняются в пределах от 2 до 3. Поскольку  $A_1$  определяется коэффициентом затухания  $d$ , то следует задать  $A_2$ . Взяв  $A_2=3$ , найдем

$$k_{\beta} = \frac{8n_{22}^2}{n_n}; \quad \omega = 2n_{22}. \quad (3.18)$$

Следовательно, если известны параметры ЛА, то по формулам (3.16) и (3.18) можно найти значения передаточных чисел  $k_{\beta}$  и  $k_{\beta}$  и собственную частоту  $\omega$ .

Коэффициент демпфирования внутреннего контура берётся равным единице:

$$d=1.$$

Коэффициент Вышнеградского  $A_1$  определяется коэффициентом  $d$ , а коэффициент  $A_2$  следует взять равным 2,5:  
 $A_2=2,5$ .

Статические ошибки определяются из уравнения (3.14) при подстановке в него  $p=0$ . Статическая ошибка относительно управляющего (задающего) воздействия  $U_3$  определяется как отклонение от единицы выходной величины  $U$  при  $U_3=1$  и нулевых возмущающих воздействиях  $f_2=f_3=0$ .

Статическая ошибка относительно возмущающего воздействия  $f_2$  определяется как реакция выходной величины  $U$  на возмущающее воздействие  $f_2=1$  при нулевом управляющем воздействии  $U_3=0$  и нулевом возмущающем воздействии  $f_3=0$ .

Пример.

Пусть уравнение САУ имеет вид

$$(T_0 p^3 + T_0 p^2 + p + 1) u = (T_1 p + 1) u_3 + (T_2 p + 1) f_2 + (T_3 p + 1) f_3.$$

Тогда статические ошибки будут равны:

1) Относительно управляющего воздействия ошибка равна  $1 - |\varepsilon|$ , где  $\varepsilon$  определяется из уравнения ( $p=0$ )

$$(T_0 0^3 + T_0 0^2 + 0 + 1) \varepsilon = (T_1 0 + 1) 1 + (T_2 0 + 1) 0 + (T_3 0 + 1) 0.$$

2) Относительно возмущающего воздействия ошибка  $\varepsilon$  определяется из уравнения ( $p=0$ )

$$(T_0 0^3 + T_0 0^2 + 0 + 1) \varepsilon = (T_1 0 + 1) 0 + (T_2 0 + 1) 1 + (T_3 0 + 1) 0.$$