где допустимое множество искомых матриц определяется формулой

$$\Omega_\Delta = \left\{R, Q, P, \Gamma : \Delta_i \in C_\Delta, \Delta_\Phi\left(\Delta_i\right) = 0, i = 1 \ldots n_j, n_j = \deg \Delta_\Phi \right\}$$

Заметим, что решение поставленной задачи (8.3) существенно определяется заданием величины α допустимой степени устойчивости ОНФ. В дальнейшем будем вместо этой величины задавать параметр *T*, связанный с α прямой пропорциональной зависимостью $\alpha = k_\alpha T$, где k_α – фиксированный множитель. Нетрудно показать. что чем меньше значение *T*, тем меньшей является величина минимума функционала $J_2\left(R, Q, P, \Gamma\right)$, т.е. тем лучше качество подавления волновой помехи. В связи с этим в дальнейшем параметр *T* будем называть степенью инерционной фильтрации (или просто степенью фильтрации) волновой помехи.

Обратим особое внимание на ‘тот факт, что уменьшение величины *T*, улучшающее качество фильтрации, входит в противоречие с качеством динамики при скачкообразных возмущениях, поскольку влечет за собой приближение корней полинома $\Delta_\Phi\left(s\right)$ к мнимой оси. В связи с этим степень фильтрации *T* в процессе движения объекта может изменяться по мере необходимости путем задания с пульта. При отсутствии высокочастотного возмущения величина этого параметра должна принимать максимальное значение. При наличии высокочастотного возмущения (волнения), в зависимости от его интенсивности, величина параметра *T* уменьшается.
Сформулированная оптимизационная задача (8.3) синтеза ОНФ по существу является сложной задачей нелинейного программирования, приближенно решаемой с помощью специально разработанных численных методов.

Обеспечение астатизма замкнутой системы по регулируемым координатам

Требование астатизма замкнутой системы по регулируемым координатам является довольно распространенным условием функционирования штатных алгоритмов управления динамической системы.

В соответствии с общей структурной схемой штатных алгоритмов управления, запишем линейные уравнения динамики замкнутой системы в соответствующей плоскости стабилизации в следующем виде:

$$
\begin{aligned}
&\dot{x} = Ax + B\delta + C_f\, f(t),\\
&\dot{\delta} = u,\\
&\dot{z} = Az + B\delta + Ry + Q(x - z),\\
&\dot{y} = \Gamma y + P(x - z),\\
&u = W_{uz}(p)z + W_{ux}(p)x + W_{u\delta}(p)\delta.
\end{aligned}
\tag{8.4}
$$

С формальной точки зрения, условие астатизма но регулируемой координате x_i для системы (8.4) записываются следующим образом:

для любого $f_0 \in R^2$ при $f(t) = f_0 1(t)$, $\lim\limits_{t\to\infty} x_i(t) = 0$.

Эти условия могут быть с очевидностью представлены в следующей эквивалентной форме:

$$F_{fx_i}(0) = 0\,, \tag{8.5}$$

где $F_{fx_i}(s)$ – передаточная матрица замкнутой системы (8.4) от возмущения к регулируемой координате x_i соответственно. Эта матрица может быть определена следующим образом:

$$F_{fx}(s) = \Delta^{-1}(s)\det\begin{pmatrix} C_f & -B & 0 & 0\\ 0 & I_2 s - W_{u\delta}(s) & -W_{uz}(s) & 0\\ 0 & -B & I_4 s - A + Q & -R\\ 0 & 0 & P & I_2 s - \Gamma \end{pmatrix}, \tag{8.6}$$

где $\Delta(s)$ – характеристический полином системы (8.4).

Таким образом, проблема обеспечения астатизма замкнутой системы по регулируемой координате сводится к такому выбору матриц $W_{uz}(s), W_{ux}(s), W_{u\delta}(s)$ в уравнении для основного управляющего сигнала, чтобы выполнилось условие (8.5). Регулируемых координат может быть несколько, тогда соответственно в (8.5) увеличится количество условий.

Заметим, что при непосредственном использовании базовых статических алгоритмов стабилизации

$$u = Kx - \delta$$

с последующим формированием управляющих сигналов но выходу ОНФ в виде

$$u = Kz - \delta \tag{8.7}$$

мы имеем $W_{uz}(s) = K,\, W_{ux}(s) = 0,\, W_{u\delta}(s) = -I_2$. Непосредственная подстановка указанных матриц в формулы (8.6) позволяет убедиться в том, что условия (8.5) не выполняются, т.е. закон управления (8.7) не обеспечивают астатизм и нуждается в коррекции.

Заметим, что при проектировании систем управления могут быть применены два подхода к обеспечению астатизма (или, что то же самое, к обеспечению выполнения условия (8.5)), именуемые соответственно позиционной и скоростной астатической коррекцией.

а) Астатические позиционные алгоритмы стабилизации.

Эти алгоритмы формируются на базе (8.7) путем введения дополнительного адаптивного корректирующего (балансировочного) сигнала:

$$u = Kz - \delta + K_\Delta y\,. \tag{8.8}$$

С учетом соотношения $y = F(p)(x - z)$, уравнение (8.8) принимает вид

$$u = Kz - \delta + K_\Delta F(p)(x - z),$$

откуда следует, что в данном случае мы имеем

$$W_{uz}(s) = K - K_\Delta F(s), W_{ux}(s) = K_\Delta F(s), W_{u\delta}(s) = -I_2 \tag{8.9}$$

Подставляя соотношения (8.9) в формулы (8.6), а затем в условие (8.5), получим систему из четырех неоднородных линейных алгебраических уравнений с четырьмя неизвестными – компонентами матрицы коррекции.

Замечание. Аналогичные рассуждения могут быть проведены и для более общего способа введения позиционной астатической коррекции в виде

$$u = Kz - \delta + K_\Delta(p)y\,.$$

б) Астатические скоростные алгоритмы стабилизации.

При данном способе обеспечения астатизма алгоритмы также формируются на базе (8.7). Однако здесь вместо введения дополнительного аддитивного корректируюцтего сигнала используется эквивалентное линейное выражение векторного слагаемого $Kx - \delta$ через производные $\dot{x}$ и регулируемые координаты в силу уравнений объекта при $f \equiv 0$. Этот подход приводит к переходу от (8.7) к эквивалентному (в определенном смысле) регулятору

$$u = L\dot{x} + Nx \tag{8.10}$$

Синтез настраиваемых фильтров волновых помех в канале управления

Дополнительные фильтры (ДФ) являются вспомогательным элементом штатных алгоритмов управления, который не функционирует постоянно и включается лишь по мере необходимости. ДФ рационально использовать в тех режимах движения, при которых ДС подвергается существенному воздействию высокочастотного возмущения (волнения). Как известно,