

Глава III Информационный блок системы управления

Информационный блок системы управления является наиболее сложной частью системы, поскольку ее задачей является получение сведений о наблюдаемых объектах при разнообразном воздействии окружающей среды и различных видах искусственного противодействия.

Если обратиться к схеме, показанной на рис. 7, то можно видеть такие компоненты как радиолокатор, цифровая вычислительная машина и, конечно, кинематические уравнения связи, которые «увязывают» взаимодействие объекта управления и наблюдаемого объекта.

В реальных системах в качестве средств получения информации могут применяться и другие устройства: инфракрасные, лазерные, оптико-электронные и др. Заметим, что каждое из этих устройств само по себе является сложной автоматической системой.

С точки зрения разработчика системы управления информационный блок помимо того, что должен обеспечить желаемую инструментальную точность, также должен иметь требуемые динамические свойства, как элемента замкнутой системы управления.

Здесь мы покажем, каким образом можно построить динамическую модель радиолокатора, который обеспечивает слежение за наблюдаемым объектом по углу. Канал слежения по дальности здесь рассматривать не будем, т.к. он является более высоко динамичным.

§ 1. Передаточная функция радиолокатора.

Теперь покажем, каким образом можно получить передаточную функцию радиолокатора по угловому каналу.

Рассмотрим схему работы радиолокатора (рис. 24).

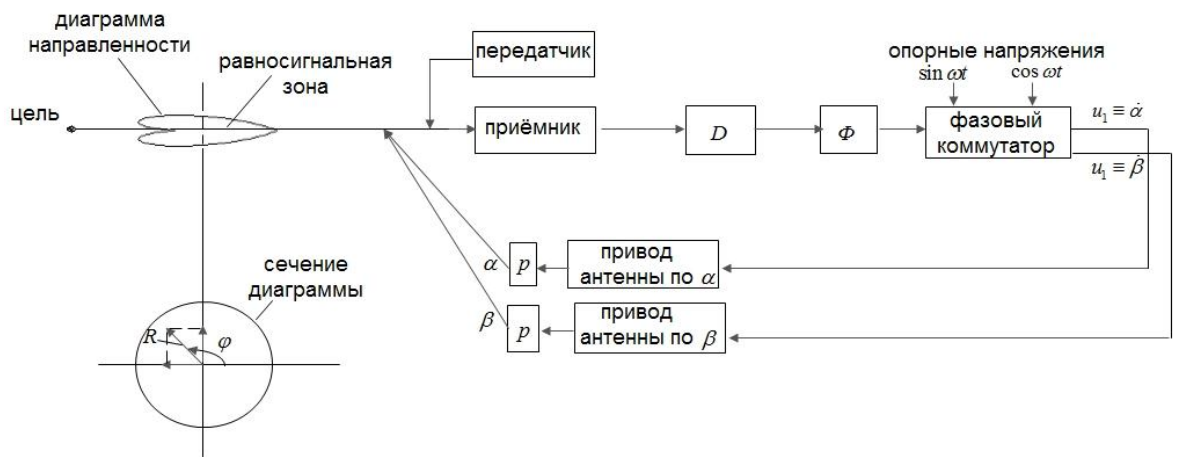


Рисунок 24 – Схема работы радиолокатора

На этом рисунке: α – угол места, β – угол азимута, Д – детектор, Φ – фильтр несущей частоты, ω - частота конического сканирования, R – вектор отклонения от равносигнальной зоны, φ - фаза, $u_1 \equiv \dot{\alpha}$ и $u_2 \equiv \dot{\beta}$ – напряжения на выходе коммутатора, пропорциональные угловым скоростям по углу места и азимута, соответственно.

Напряжения u_1 и u_2 определяются следующим образом:

$$u_1 \equiv \dot{\alpha} = 2R \sin \omega t + \sin[\omega t + \varphi(t)] = R \cos \varphi(t) - \cos[2\omega t + \varphi(t)]$$

и

$$u_2 \equiv \dot{\beta} = 2R \cos \omega t \sin[\omega t + \varphi(t)] = R \sin \varphi(t) + \sin[2\omega t + \varphi(t)]$$

Пренебрежем вторыми членами в разложении, так как они имеют удвоенную частоту и могут быть отфильтрованы. Тогда

$$u_1 \equiv \dot{\alpha} \cong R \cos \varphi(t)$$

$$u_2 \equiv \dot{\beta} \cong R \sin \varphi(t).$$

Эти сигналы поступают на приводы антенны соответственно по углу α и β , которые поворачивают антенну по этим углам так, чтобы цель оказалась в равносигнальной зоне.

Структурная схема этих следящих систем управления показана на рис. 25:

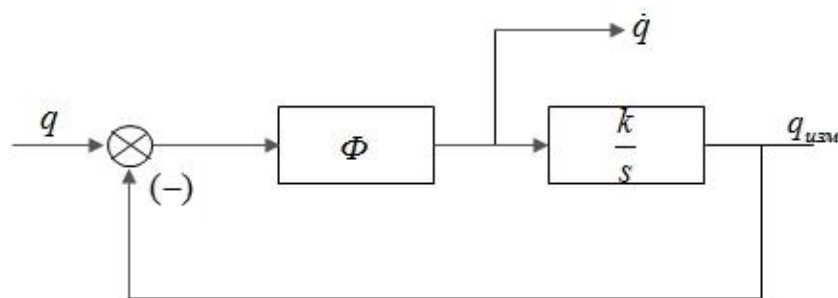


Рисунок 25 – Упрощенная структурная схема следящей системы по углу

На этой схеме q – действительный угол отклонения от равносигнальной зоны, $q_{изм}$ – измеренный.

В реальных задачах управления, например, при самонаведении часто используют сигнал пропорциональной угловой скорости \dot{q} , который пропорционален ошибке системы, как это показано также на этом рисунке.

Приближенно при моделировании можно принять следующие передаточные функции:

если принять передаточную функцию фильтра в виде

$$\frac{K_1}{Ts + 1}, \text{ то}$$

$$\frac{L[q_{изм}]}{L[q]} = \frac{1}{\frac{T}{KK_1}s^2 + \frac{1}{KK_1}s + 1} \quad \text{и}$$

$$\frac{L[\dot{q}]}{L[q]} = \frac{\frac{1}{K}s}{\frac{T}{KK_1}s^2 + \frac{1}{KK_1}s + 1}.$$

Таким образом, видно, что в передаточной функции для угловой скорости линии визирования (линия, соединяющая цель и объект управления) присутствует символ дифференцирования.

§ 2. Модели воздействий на систему управления.

Система управления функционирует в окружающей среде. Без среды нет системы. Естественно, среда оказывает воздействие на систему. Система

управления либо использует воздействия среды для достижения цели, либо компенсирует эти воздействия, чтобы они не могли отрицательно повлиять на достижение цели.

Модели воздействия могут быть следующего вида:

- детерминированные

а) полиномиальные

$$g(t) = g_0 + g_1 t + g_2 t^2 + \dots$$

б) периодические, например,

$$x(t) = \sum_{n=1}^n A_i \sin \omega_i t.$$

- Стохастические (случайные):

а) стационарные,

б) нестационарные.

В последнем случае для описания случайных воздействий используют их средние характеристики.

1. Модели атмосферных воздействий:

а) мелкомасштабная турбулентность – ветровые порывы;

б) крупномасштабная турбулентность – ветры.

Далее проведем графики изменения С.К.О. ветровых порывов по высоте H и спектральной плотности этих порывов (рисунки 26, 27).

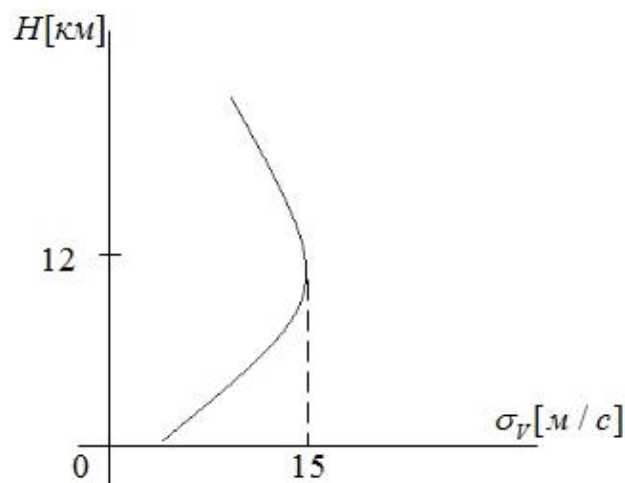


Рисунок 26 – С.К.О. ветровых порывов по высоте Н

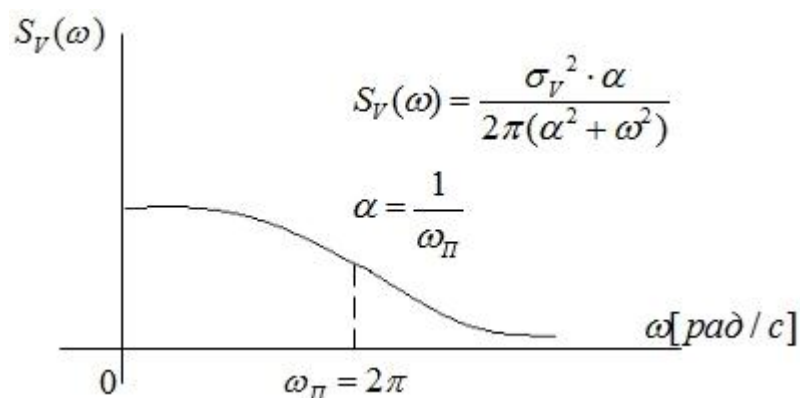


Рисунок 27 – Спектральная плотность

§ 3. Модели флуктуаций радиолокационных сигналов.

Поскольку реальные наблюдательные объекты имеют отражающие поверхности, размещенные на нем под разными углами, и собственно объект еще совершает колебания в пространстве, энергетический центр отражения сигнала как бы перемещается случайным образом по поверхности. Этот эффект обычно называют беганием «блестящей» точки. Радиолокатор, по сути, отслеживает это бегание, что, естественно, влияет на точность работы системы управления. Изучить этот эффект можно лишь на основе использования экспериментальных данных. Результатом такого опыта является некоторая реализация (или совокупность реализаций) случайного процесса, показанная на рис. 28.

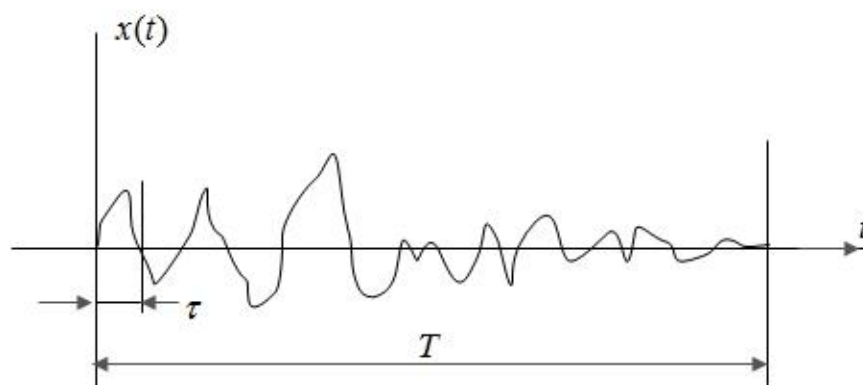


Рисунок 28 – Реализация случайного процесса $x(t)$

Обычно по экспериментальным данным определяют корреляционную функцию

$$R_x(\tau) = \frac{1}{T} \int_0^T x(t)x(t + \tau)dt$$

и спектральную плотность

$$S_x(\omega) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} R_x(\tau)\ell^{-j\omega\tau} d\tau$$

В качестве примера приведем спектральную плотность бегания блестящей точки по самолету (рис. 29):

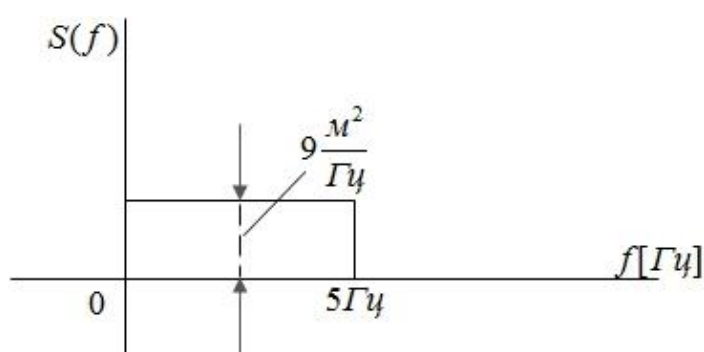


Рисунок 29 – Спектральная плотность бегания «блестящей» точки

Из рисунка нетрудно видеть, что дисперсия бегания будет равна

$$\sigma^2 = 5 \times 9 = 45\text{м}^2, \quad \text{С. К. О.} - \sigma \cong 7\text{м} \text{ и}$$

максимальный размах $3\sigma \approx 21\text{м}$.

Покажем, каким образом надо использовать эти данные при моделировании.

Пусть корреляционная функция, полученная по экспериментальным данным, имеет вид:

$$R_x(\tau) = \sigma_x^2 \ell^{-\alpha(\tau)},$$

спектральная плотность определяется следующим образом:

$$\begin{aligned}
S_x(\omega) &= \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} R_x(\tau) \ell^{-j\omega\tau} d\tau = \frac{\sigma_x^2}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \ell^{-\alpha(\tau)} \ell^{-j\omega\tau} d\tau = \\
&= \frac{\sigma_x^2}{2\pi} \int_{-\infty}^0 \ell^{(\alpha-j\omega)\tau} d\tau + \frac{\sigma_x^2}{2\pi} \int_0^{\infty} \ell^{-(\alpha+j\omega)\tau} d\tau = \\
&= \frac{\sigma_x^2}{2\pi} \frac{\ell}{\alpha - j\omega} \int_{-\infty}^0 + \frac{\sigma_x^2}{2\pi} \frac{\ell^{-(\alpha+j\omega)\tau}}{-(\alpha + j\omega)} \int_0^{\infty} = \\
&= \frac{\sigma_x^2}{2\pi} \left[\frac{1}{\alpha - j\omega} + \frac{1}{\alpha + j\omega} \right] = \frac{\sigma_x^2}{2\pi} \frac{\alpha}{\alpha^2 + \omega^2}.
\end{aligned}$$

Для того, чтобы генерировать случайный процесс при моделировании, необходим формирующий фильтр, который позволяет из «белого» шума получить реализацию с желаемой спектральной плотностью.

В нашем случае:

$$W_{\Phi}(j\omega) = \frac{\sigma_x}{\sqrt{\pi\alpha}} \frac{1}{1 + \frac{1}{\alpha}j\omega} = K \frac{1}{1 + Tj\omega}, \quad \text{где } K = \frac{\sigma_x}{\sqrt{\pi\alpha}}, \quad \text{и } T = \frac{1}{\alpha}.$$

Для нестационарных случайных процессов $X(t)$ надо иметь совокупность реализаций $x_1(t), x_2(t) \dots x_n(t)$ и корреляционная функция этого процесса $R_x(t_1, t_2)$ является функцией моментов времени t_1 и t_2 , а именно:

$$R_x(t_1, t_2) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} x_1 x_2 p_2(x_1, x_2; t_1, t_2) dx, dx_2,$$

где $p_2(x_1, x_2; t_1, t_2)$ – двумерная плотность вероятности, равная для гауссова процесса:

$$\begin{aligned}
p_2(x_1, x_2; t_1, t_2) &= \frac{1}{2\pi\sigma_1\sigma_2\sqrt{1 - \rho_x^2}} \left[\frac{x_1^2}{\sigma_1^2} - \frac{2\rho_x x_1 x_2}{\sigma_1\sigma_2} + \frac{x_2^2}{\sigma_2^2} \right] \times \\
&\quad \times \frac{1}{2(1 - \rho_x^2)},
\end{aligned}$$

где σ_1 и σ_2 – среднеквадратичные значения в моменты t_1 и t_2 , соответственно, ρ_x – нормированный коэффициент корреляции.

Теперь покажем, каким образом можно оценивать влияние воздействий на работу. Рассмотрим структурную схему системы, показанную на рис. 30.

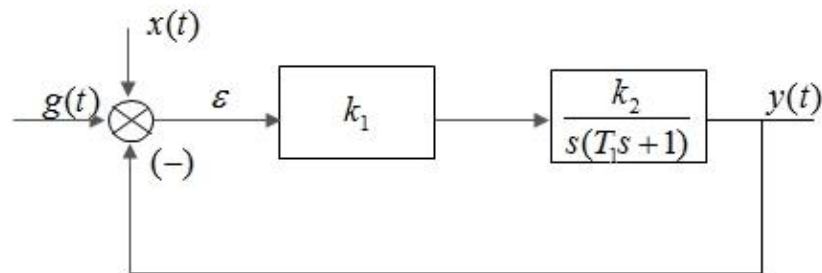


Рисунок 30 – Структурная схема системы

На рисунке

$$K_1 K_2 = 100 \frac{1}{c}, \quad T_1 = 0,2c.$$

Пусть на входе системы действует сигнал $g(t) = g_0 + g_1 t$. Требуется найти ошибку ε системы в установившемся состоянии. Передаточная функция системы по ошибке будет

$$\Phi_\varepsilon(s) = \frac{E(s)}{G(s)} = \frac{s(T_1 s + 1)}{s(T_1 s + 1) + K_1 K_2},$$

где преобразование Лапласа $g(t)$ будет

$$G(s) = \frac{g_0}{s} + \frac{g_1}{s^2}.$$

Воспользуемся теоремой Лапласа о конечном значении, запишем

$$\begin{aligned} \lim_{t \rightarrow \infty} \varepsilon(t) &= \lim_{s \rightarrow 0} s \Phi_\varepsilon(s) G(s) = \lim_{s \rightarrow 0} s \frac{s(T_1 s + 1)}{s(T_1 s + 1) + K_1 K_2} \frac{g_0}{s} + \\ &+ \lim_{s \rightarrow 0} s \frac{s(T_1 s + 1)}{s(T_1 s + 1) + K_1 K_2} \frac{g_1}{s^2} = \frac{g_1}{K_1 K_2}, \end{aligned}$$

так как при стремлении $s \rightarrow 0$ первый член равняется нулю. Конкретно при $g_1 = 10 \frac{\text{град}}{c}$, $\varepsilon(\infty) = 0,1$ град.

Если на входе действует случайный сигнал $x(t)$ с заданной спектральной плотностью

$$s_x(\omega) = \frac{\sigma_x^2}{\pi} \frac{\alpha}{\alpha^2 + \omega^2},$$

то можно определить дисперсию σ_y^2 регулируемой величины $y(t)$ следующим образом.

Передаточная функция замкнутой системы будет

$$\Phi(s) = \frac{1}{\frac{T_1}{K_1 K_2} s^2 + \frac{1}{K_1 K_2} s + 1}.$$

Тогда спектральная плотность $y(t)$ будет

$$s_y(\omega) = \left| \frac{1}{\frac{T_1}{K_1 K_2} (j\omega)^2 + \frac{1}{K_1 K_2} j\omega + 1} \right|^2 \cdot \frac{\sigma_x^2}{\pi} \frac{\alpha}{\alpha^2 + \omega^2}.$$

Искомая дисперсия σ_y^2 будет

$$\sigma_y^2 = \int_{-\infty}^{\infty} s_y(\omega) d\omega.$$

Этот интеграл – табличный.

Заметим, что в современных информационных системах требуется не только обнаружить, селективировать и сопровождать наблюдаемый объект, но и распознать его т.е. отнести по информационным признакам сигнал к тому или иному классу. Эта задача решается путем целенаправленного сбора информации об объектах. Такая информация используется при «обучении» систем распознавания, т.е. речь должна идти об интеллектуальных системах.

Заметим также, что необходимость математического моделирования определяется еще и тем, что реальные системы – нелинейные.

§ 4. Математическая модель кинематического звена системы управления

Естественным требованием к системе управления является обеспечение «встречи» с наблюдаемым объектом с желаемой точностью. При этом реализуются некоторые параметры относительного движения объекта управления и цели. Это определяется тем или иным методом наведения и, по сути, является решением баллистической задачи.

или

$$\dot{r}\dot{q} + r\ddot{q} = \dot{V}\sin\eta - \dot{V}_{\text{ц}}\sin\eta_{\text{ц}} + V\dot{q}\cos\eta - V_{\text{ц}}\dot{q}\cos\eta_{\text{ц}} - V\dot{\theta}\cos\eta + V_{\text{ц}}\dot{\theta}_{\text{ц}}\cos\eta_{\text{ц}}.$$

С учетом уравнения (16) получим

$$\dot{r}\dot{q} + r\ddot{q} = F(t) - \dot{r}\dot{q} + V_{\text{ц}}\dot{\theta}_{\text{ц}}\cos\eta_{\text{ц}}V\dot{\theta}\cos\eta$$

$$\text{или } r\ddot{q} + 2\dot{r}\dot{q} = V_{\text{ц}}\dot{\theta}_{\text{ц}}\cos\eta_{\text{ц}} - V\dot{\theta}\cos\eta_{\text{ц}} + F(t), \quad (18)$$

где $F(t) = \dot{V}\sin\eta - \dot{V}_{\text{ц}}\sin\eta_{\text{ц}}$ – проекции касательных ускорений на нормаль к линии визирования.

Уравнение (18) представим в виде:

$$r\ddot{q} + 2\dot{r}\dot{q} = g(n_{\text{ц}}\cos\eta_{\text{ц}} - n\cos\eta) + F(t), \quad (19)$$

где

$n_{\text{ц}} = \frac{V_{\text{ц}}\dot{\theta}_{\text{ц}}}{g}$ и $n = \frac{v\dot{\theta}}{g}$ – нормальные перегрузки цели и объекта, а $n_{\text{ц}}\cos\eta_{\text{ц}}$ и $n\cos\eta$ – их проекции на нормаль к линии визирования, соответственно.

Уравнение (19) – линейное, неоднородное и нестационарное.

Дифференцируя уравнение (16) и учитывая $r\dot{q}$ из (17), получим уравнение следующего вида:

$$\ddot{r} - r\tilde{g}^2 = -V\dot{\theta}\sin\eta + V_{\text{ц}}\dot{\theta}_{\text{ц}}\sin\eta_{\text{ц}} - \dot{V}\cos\eta + \dot{V}_{\text{ц}}\cos\eta_{\text{ц}}, \quad (20)$$

которое является также кинематическим.

Уравнение (19) вместе с уравнением (20) используются для построения полной модели процесса наведения на цель.

Уравнения (19) и (20) можно упростить, если считать, что $\cos\eta_{\text{ц}} = \cos\eta = 1$, т.е. объект осуществляет догонный курс.

Тогда уравнение (19) примет вид:

$$r\ddot{q} + 2\dot{r}\dot{q} = g(n_{\text{ц}} - n)$$

или

$$r\ddot{q} + 2\dot{r}\dot{q} = g\Delta n,$$

$$\Delta n = n_{\text{ц}} - n. \quad (21)$$

Возьмем преобразование Лапласа для обеих частей уравнения (21), можем получить передаточную функцию кинематического звена в виде:

$$W_{кз}(s) = \frac{q(S)}{\Delta n(s)} = \frac{g}{S(rs + 2r')} \quad (22)$$

Теперь можно перейти к построению полной модели системы управления. Обратимся к рис. 7 и покажем конкретное наполнение блоков системы, показанное на рис. 32.

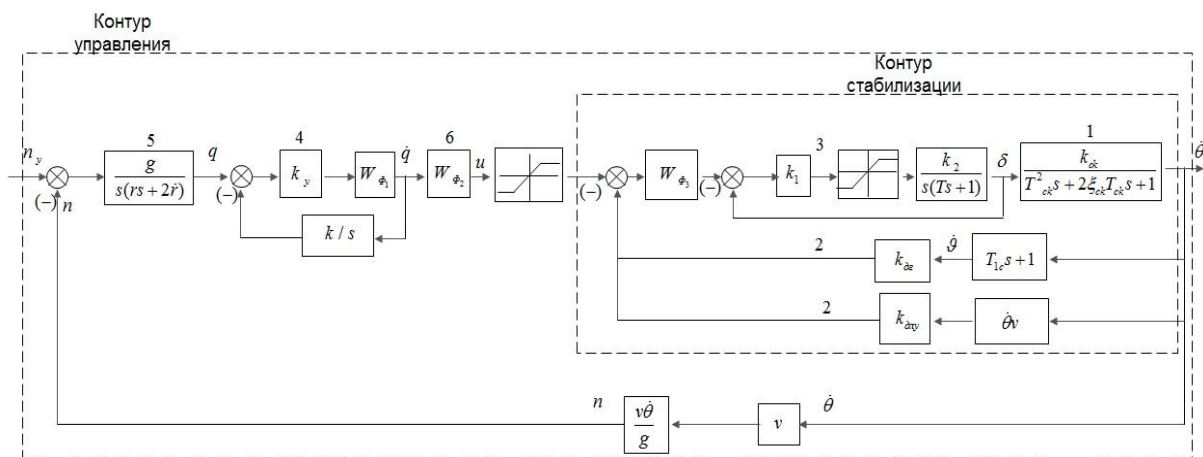


Рисунок 32 – Полная модель системы управления

На данном рисунке W_{Φ_1} , W_{Φ_2} , W_{Φ_3} – передаточные функции, построенные на основе синтеза алгоритмов, оптимизирующих работу системы с учетом динамики всех ее компонентов, и, как правило, реализованных на цифровых вычислительных устройствах.

Таким образом, построена математическая модель системы, позволяющая анализировать процессы в ней и осуществлять оптимизацию системы.