УДК 681.5.017: 621.646.6: 622.691.4

СИНТЕЗ ЗАКОНА УПРАВЛЕНИЯ УЗЛОМ РЕДУЦИРОВАНИЯ ГАЗА

Жилкин О.В., магистрант; Иванов Б.А., доцент, к.т.н.
(Ухтинский государственный технический университет, г. Ухта, Россия)

Для синтеза закона управления узлом редуцирования газа (УРГ) осуществим линеаризацию математической модели (ММ), описанной в [1].

Уравнение, описывающее движение шарового затвора (ШЗ), имеет вид:

$$J \cdot \dot{\omega}_{\text{шз}} = M_{\text{упр}} + M^{\Sigma}_{\text{в.тр}} + M^{\Sigma}_{\text{с.тр}} + M_{\text{гд}} . \qquad (1)$$

Все входящие в (1) величины (равно как и другие величины, фигурирующие ниже) расшифрованы в [2].

Это уравнение может быть представлено как

$$J \cdot \ddot{\varphi} = M_{\text{упр}} + M^{\Sigma}_{\text{в.тр}} - f^{\text{к}}_{\text{АФМ}}\, \beta(\varphi)\, H\, \gamma \frac{\pi D^2}{4} - M^{\text{в}}_{\text{с.тр}} + m(\varphi)\, \gamma\, D^3\, H , \qquad (2)$$

где зависимости $\beta(\varphi)$ и $m(\varphi)$ определяют нелинейность уравнения (рисунок 1).

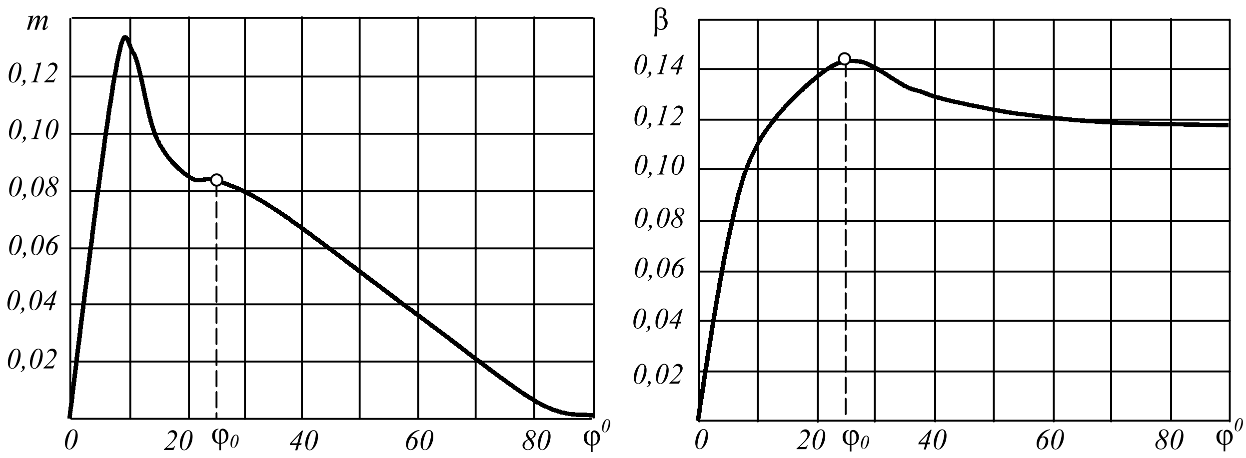

Рисунок 1 – Графики зависимостей $\beta(\varphi)$ и $m(\varphi)$

Линеаризацию (2) произведем вблизи рабочей точки $\varphi_0 = 25^0$.

Линеаризация зависимости $m(\varphi)$ вблизи φ_0 дает $k_m = (dm/d\varphi)_0 \approx 0$. Соответственно $\Delta M_{\text{гд}} = 0$ в точке φ_0.

Линеаризация зависимости $\beta(\varphi)$ вблизи φ_0 дает $k_\beta = (d\beta/d\varphi)_0 \approx 0$ и, следовательно, $\Delta M^{\Sigma}_{\text{с.тр}} = 0$ в точке φ_0.

Тогда линеаризованное уравнение движения ШЗ в операторной форме запишется следующим образом:

$$J\, \Delta\varphi\, p^2 + k^{\Sigma}_{\text{в.тр}}\, \Delta\varphi\, p = \Delta M_{\text{упр}} . \qquad (3)$$

Перейдем к относительным единицам. Для этого умножим левую и правую части (3) на $1/(\varphi_0\, M_{\text{упр0}})$ и получим:

$$T_1^2\,\Delta\varphi^*\,p^2 + T_2\,\Delta\varphi^*\,p = \Delta M^*_{\text{упр}}, \qquad (4)$$

где $\Delta\varphi^* = \Delta\varphi/\varphi_0$, $\Delta M^*_{\text{упр}} = \Delta M_{\text{упр}}/M_{\text{упр}0}$ – относительные приращения угла закрытия и управляющего момента соответственно; $T_1 = \sqrt{J\,\varphi_0/M_{\text{упр}0}}$, $T_2 = k^{\Sigma}_{\text{в.тр}}\,\varphi_0/M_{\text{упр}0}$ – постоянные времени.

Таким образом, передаточная функция (ПФ) по каналу $\Delta M^*_{\text{упр}} \Rightarrow \Delta\varphi^*$ для малых приращений вблизи рабочей точки φ_0 запишется следующим образом:

$$W_{\text{мех}}(p) = \frac{\Delta\varphi^*}{\Delta M^*_{\text{упр}}} = \frac{1/T_2}{p\left(T_1^2/T_2\,p+1\right)} = \frac{k_{\text{мех}}}{p\left(T_{\text{мех}}\,p+1\right)}, \qquad (5)$$

где $k_{\text{мех}}$, – коэффициент передачи механической части ШЗ; $T_{\text{мех}}$ – постоянная времени механических процессов.

Газовые процессы в УРГ описываются следующей системой нелинейных уравнений [1]:

$$\left.\begin{aligned} Q_2 &= \frac{S}{\rho}\sqrt{\frac{\left(p_2^2 - p_3^2\right)D}{\lambda\,Z\,R\,T\,L_2}} \\ Q_2 &= \mu(\varphi)\,S\sqrt{2\,g\left(\frac{p_3 - p_4}{\rho\,g} + \frac{Q_2^2}{2\,g\,S^2}\right)} \\ Q_2 &= \frac{S}{\rho}\sqrt{\frac{\left(p_4^2 - p_5^2\right)D}{\lambda\,Z\,R\,T\,L_3}} \end{aligned}\right\} \qquad (6)$$

Решение системы (6) $P_{\text{вых}}(\varphi)$, при заданных рабочих параметрах УРГ, графически представлено на рисунке 2.

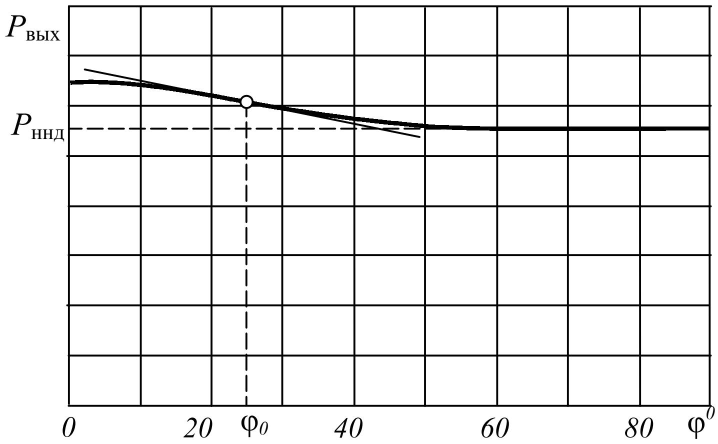

Рисунок 2 – Зависимость $P_{\text{вых}}(\varphi)$: $P_{\text{ннд}}$ – давление в нитке низкого давления

Линеаризуем зависимость $P_{\text{вых}}(\varphi)$ вблизи φ_0:

$$\Delta P_{\text{вых}} = \left(\frac{dP_{\text{вых}}}{d\varphi}\right)_0 \Delta\varphi, \qquad (7)$$

где $\left(dP_{\text{вых}}/d\varphi\right)_0$ – значение производной $P_{\text{вых}}(\varphi)$ в точке φ_0.

В относительных единицах:

$$\Delta P^*_{\text{вых}} = k_p\, \Delta\varphi^*, \tag{8}$$

где $k_p = \left(dP_{\text{вых}}/d\varphi\right)_0 \cdot \varphi_0 / P_{\text{вых}0} < 0$ – коэффициент изменения давления за КР.

Таким образом, ПФ по каналу $\Delta\varphi^* \Rightarrow \Delta P^*_{\text{вых}}$ для малых приращений вблизи рабочей точки φ_0 запишется следующим образом:

$$W_{\text{газ}}(p) = \frac{\Delta P^*_{\text{вых}}}{\Delta\varphi^*} = k_p\,. \tag{9}$$

Выражения (5) и (9) позволяют синтезировать САУ УРГ с подчиненным регулированием координат и структурой, показанной на рисунке 3.

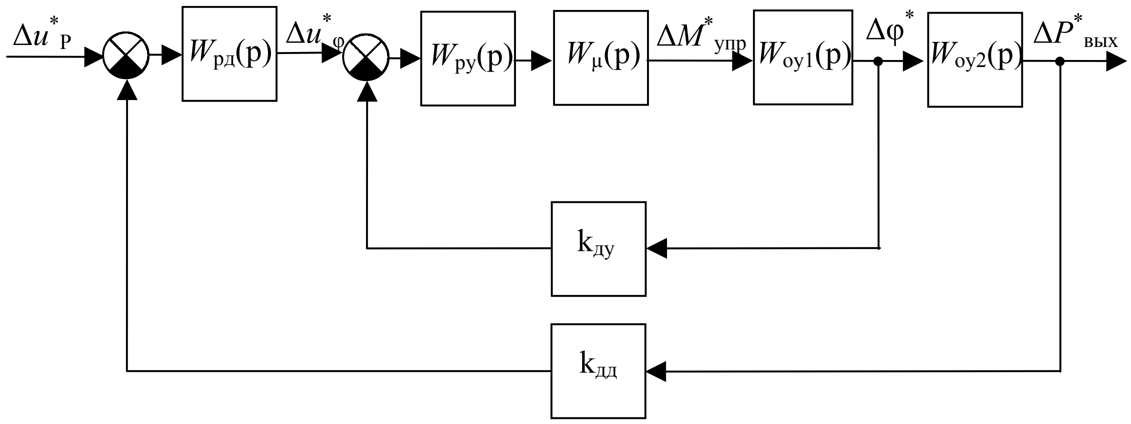

Рисунок 3 – Структурная схема САУ УРГ

В схеме САУ: $W_\mu(p) = k_\mu / \left(T_\mu\, p + 1\right)$ – ПФ звена с некомпенсируемой малой постоянной привода крана-регулятора с ШЗ, $W_{\text{оу}1}(p) = k_{\text{мех}} / \left(p\left(T_{\text{мех}}\, p + 1\right)\right)$, $W_{\text{оу}2}(p) = k_p$, $W_{\text{ру}}(p)$, $W_{\text{рд}}(p)$ – ПФ регуляторов угла и давления соответственно; $k_{\text{ду}}$, $k_{\text{дд}}$ – коэффициенты передачи датчиков угла и давления соответственно.

Одним из способов настройки САУ с подчиненным регулированием координат является настройка на технический оптимум. Зададим ПФ внутреннего контура как ПФ колебательного звена с коэффициентом демпфирования $\xi = \sqrt{2}/2$ [3]:

$$W_{\kappa 1}(p) = \frac{1/k_{\text{ду}}}{T_{k1}^2\, p^2 + \sqrt{2}\, T_{k1}\, p + 1} = \frac{1/k_{\text{ду}}}{2T_\mu^2\, p^2 + 2T_\mu\, p + 1}, \tag{10}$$

где $T_{k1} = \sqrt{2}\, T_\mu$ – постоянная времени внутреннего контура.

С другой стороны:

$$W_{\kappa 1}(p) = \frac{W_{\text{ру}}(p) W_\mu(p) W_{\text{оу}1}(p)}{1 + W_{\text{ру}}(p) W_\mu(p) W_{\text{оу}1}(p) k_{\text{ду}}}.$$

Выражая отсюда ПФ регулятора углового положения и подставляя соответствующие ПФ звеньев внутреннего контура, получаем:

$$W_{\text{ру}}(p) = \frac{T_{\text{мех}}}{2T_\mu\, k_\mu\, k_{\text{ду}}\, k_{\text{мех}}}\, p + \frac{1}{2T_\mu\, k_\mu\, k_{\text{ду}}\, k_{\text{мех}}}. \tag{11}$$

Данная ПФ соответствует пропорционально-дифференциальному регулятору углового положения ШЗ.

Будем считать, что внешний контур также настраивается на технический оптимум. Понижая порядок (10) и считая контур угла звеном с малой некомпенсируемой постоянной $2T_\mu$ в составе внешнего контура давления, для регулятора давления получаем ПФ:

$$W_{\text{рд}}(p) = \frac{k_{\text{ду}} / (k_{\text{дд}}\, k_p)}{2T_\mu\, p}. \tag{12}$$

Полученная ПФ соответствует интегральному регулятору.

На практике целесообразно использовать в качестве регулятора давления типовой ПИД-регулятор. При этом настройка интегрального канала должна осуществляться согласно (12), а коэффициенты в П- и Д-каналах должны подбираться экспериментально по наименьшей длительности процессов и минимальному перерегулированию. Введение П- и Д-каналов позволяет практически избавиться от негативного влияния немоделируемой динамики объекта управления на вид переходных процессов в САУ УРГ.

Моделирование САУ УРГ с законом управления, определяемым выражениями (11) и (12), позволило установить, что достигаемое перерегулирование не превышает 5%, а время установления составляет приблизительно $10\sqrt{2}\,T_\mu$.

Перечень ссылок

1. Жилкин О.В. Математическое моделирование узлов редуцирования газа как объектов управления (на примере межсистемной перемычки). В настоящем сборнике.

2. Жилкин О.В. Учет сил трения в математической модели управляемого крана-регулятора. В настоящем сборнике.

3. Иванов Б.А. Системы управления электроприводами (теория и курсовое проектирование): Учебное пособие. Ухта: УИИ, 1997. – 107 с.