

681.533.56

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ УЗЛА РЕДУЦИРОВАНИЯ ГАЗА С ЭЛЕКТРОПРИВОДНЫМИ КРАНАМИ-РЕГУЛЯТОРАМИ

Киршин А.И., магистрант; Мартиросян А.Э., магистрант
(Ухтинский государственный технический университет, г. Ухта, Россия)

Для регулирования давления газа в магистральном газопроводе широко используются краны-регуляторы (КР) с шаровыми затворами. Они, как правило, управляются пневматическими или гидравлическими системами управления. Эти системы имеют множество недостатков. Часто происходит разгерметизация в приводе, качество управления не соответствует требованиям технологии производства транспортировки газа. В отличие от перечисленных выше приводов, электрический привод на основе асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором (АДКЗ) (далее асинхронный электропривод АЭ) не имеет таких недостатков.

На рисунке 1 приведена структурная схема двухкранового узла редуцирования газа (УРГ) с электроприводным (ЭП) управлением.

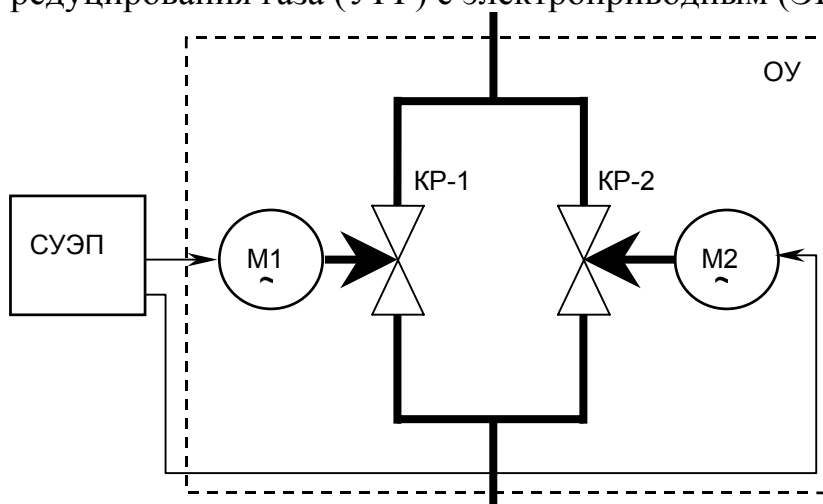


Рисунок 1 - Структурная схема УРГ с электроприводным управлением

В данном случае объект управления (ОУ) включает в себя КР-1, КР-2 и электродвигатели М1 и М2.

Необходимо получить математическую модель (ММ) УРГ с АЭ, совмещающую в себе уравнения описывающие движение газа и уравнения асинхронного электродвигателя.

Уравнение, механической части крана имеет вид:

$$M_{упрj} + M_{гдj} - M_{втj} - M_{стj} = J_{крj} \cdot \frac{d\omega_j}{dt}, \quad (1)$$

где j - порядковый номер крана (КР-1 или КР-2); $J_{крj}$ - момент инерции запорного механизма крана, $кг \cdot м^2$; ω_j - скорость вращения механизма, $1/с^{-1}$;

$M_{упрj}$ - управляющий момент, развиваемый электродвигателем j -го механизма, Н·м; $M_{втj}$ - момент вязкого трения, Н·м, $M_{стj}$ - момент сухого трения, Н·м; $M_{гдj} = m(\varphi_j) \cdot H_j \cdot D_j^3 \cdot \gamma_j$ - гидродинамический момент, Н·м; $m(\varphi_j)$ - коэффициент момента [1]; H_j - напор газа на КР, м; D_j^3 - диаметр трубы, м; $\gamma_j = \rho \cdot g$; ρ - плотность газа; $g = 9,81 \text{ м/с}^2$.

По уравнению 1 можно составить ММ механической части КР. Структурная динамическая схема механической части КР представлена на рисунке 2.

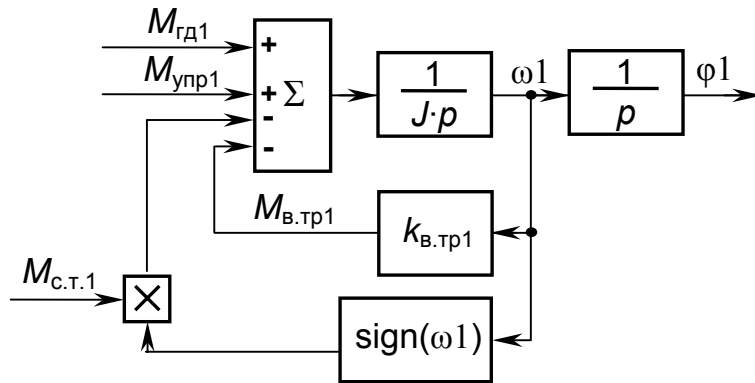


Рисунок 2 - Структурная динамическая схема механической части КР

Уравнения, описывающие газовую часть крана:

$$\left. \begin{aligned} H_j &= H_{крj} + \frac{V_j^2}{2g} \\ H_{крj} &= \xi(\varphi_j) \frac{Q_j^2}{S_j^2 \cdot 2g} \\ Q &= \sum_{j=1}^N Q_j \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

где: $H_{крj}$ - падение напора на КР, м; H_j - напор газа на КР, м; Q_j - расход газа на КР, м³; Q - расход газа через УРГ, м³; $\xi(\varphi_j)$ - коэффициент сопротивления на КР, закрытом на угол φ_j ; V_j - скорость потока через первый кран, м/с; S_j - площадь сечения трубы, м². Краны открыты на разные углы ($\varphi_1 \neq \varphi_2$), но должно соблюдаться уравнение $Q = Q_1 + Q_2$ (Q известно).

Уравнения АДКЗ имеют вид [2]:

$$\frac{d\Psi_2}{dt} = -\frac{R_2\Psi_2}{L_2} + \frac{R_2i_{1x}L_m}{L_2}, \quad (3)$$

$$u_{1x} = i_{1x}R_\Theta + L_\Theta \frac{di_{1x}}{dt} - \frac{\Psi_2 R_2 L_m}{L_2^2} - \omega_0 i_{1y} L_\Theta \quad (4)$$

$$u_{1y} = i_{1y}R_\Theta + L_\Theta \frac{di_{1y}}{dt} + \omega_0 i_{1x} L_\Theta + \omega \frac{\Psi_2 L_m}{L_2} \quad (5)$$

$$\omega_0 = \omega_2 + \frac{i_{1y} L_m R_2}{L_2 \Psi_2}, \quad (6)$$

$$M = \frac{3}{2} p_{\Pi} \frac{L_m}{L_2} i_{1y} \Psi_2 = k_m i_{1y} \Psi_2, \quad (7)$$

$$J_{\text{АДКЗ}j} \frac{d\omega}{dt} = M - M_c. \quad (8)$$

Здесь u_{1x}, u_{1y} – проекции на оси (x,y) подвижной системы координат напряжения АДКЗ; i_{1x}, i_{1y} – проекции на оси (x,y) тока протекающего в цепи статора; R_1, R_2 – сопротивления обмоток фаз статора и ротора соответственно; $\Psi_{2x} = \Psi_2$ – потокосцепление цепи ротора; ω_0 – частота напряжения статора; $\omega_2 = \omega p_{\Pi}$; ω – угловая скорость ротора; p_{Π} – число пар полюсов; $L_1 = L_{\sigma 1} + L_{12}, L_2 = L_{\sigma 2} + L_{12}, L_{\sigma 1}, L_{\sigma 2}$ – индуктивности рассеяния обмоток статора и ротора; L_{12} – взаимная индуктивность фазных обмоток статора и ротора; $L_m = 3L_{12}/2$ – индуктивность от главного потока; $L_1 - L_m^2/L_2 = L_{\sigma}$; $R_1 + R_2 L_m^2/L_2 = R_{\sigma}$; M – электромагнитный момент; $k_m = 3 p_{\Pi} L_m / 2 L_2$; $J_{\text{АДКЗ}}$ – момент инерции электродвигателя.

По уравнениям 3 - 8 можно составить ММ АДКЗ. Структурная динамическая схема АДКЗ представлена на рисунке 3:

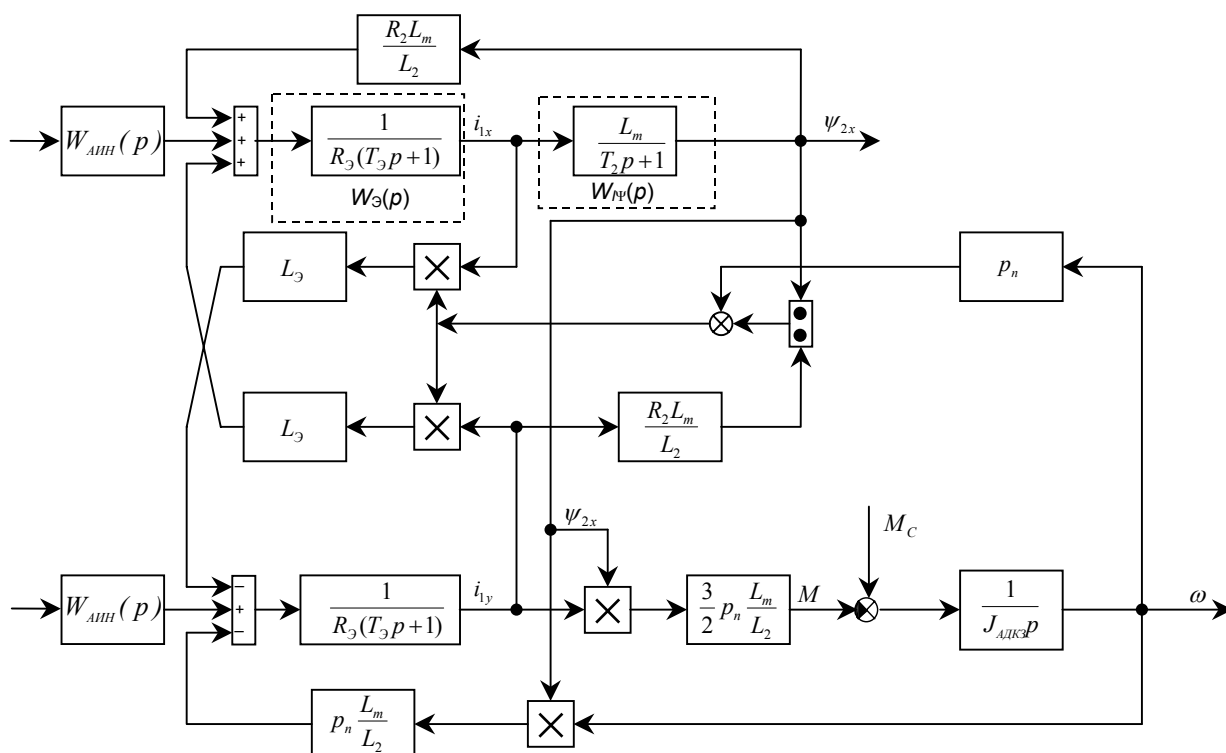


Рисунок 3 - Структурная динамическая схема АДКЗ

В итоге по системе уравнений 9, описывающей УРГ, можно составить структурную динамическую схему УРГ с ЭП управлением, которая представлена на рисунке 4.

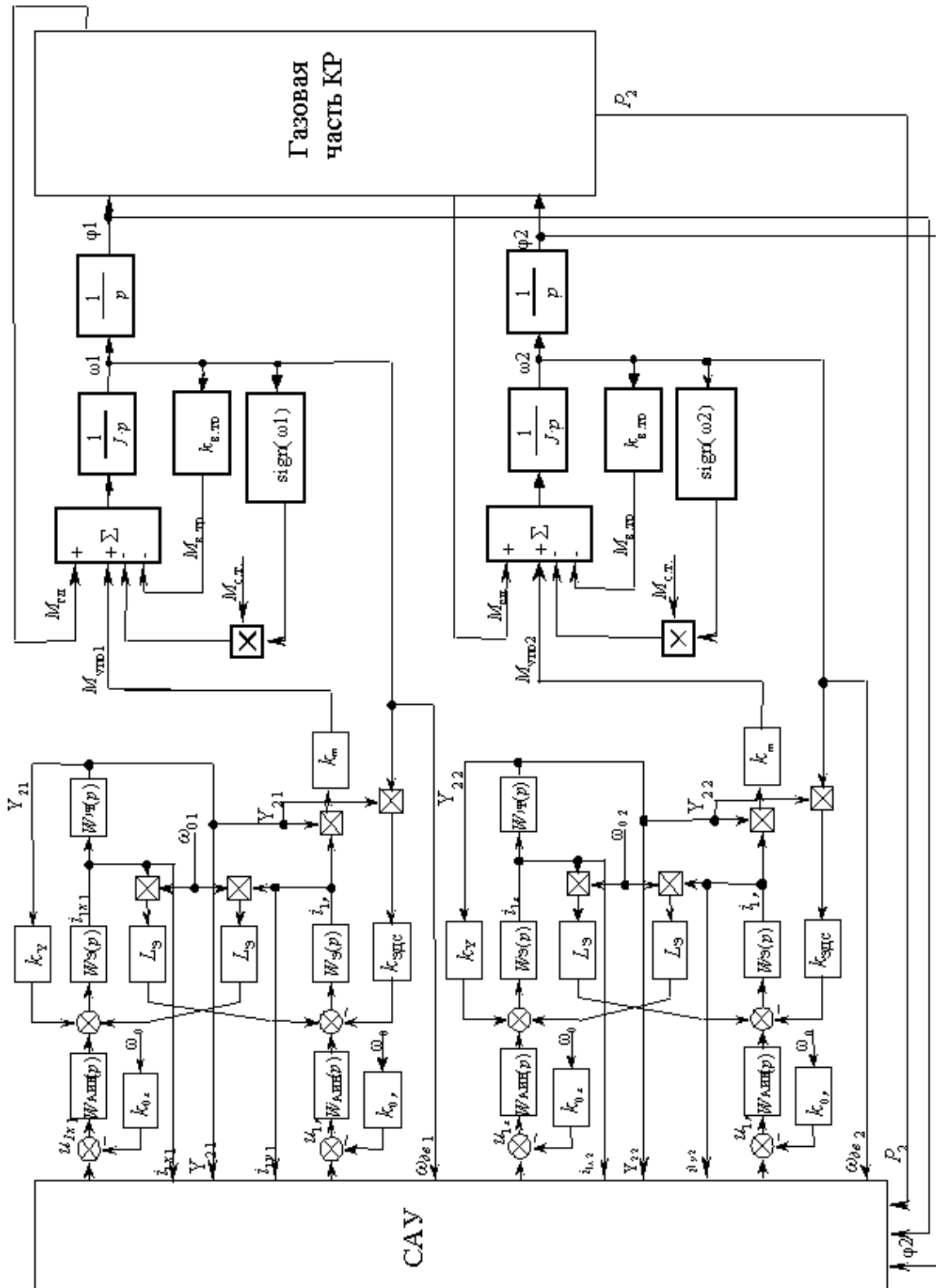


Рисунок 4 - Математическая модель УРГ с электроприводным управлением

$$\left. \begin{aligned}
 \frac{d\Psi_{2j}}{dt} &= -\frac{R_{2j}\Psi_{2j}}{L_{2j}} + \frac{R_{2j}i_{1xj}L_{mj}}{L_{2j}} \\
 u_{1xj} &= i_{1xj}R_{\Theta j} + L_{\Theta j}\frac{di_{1xj}}{dt} - \frac{\Psi_{2j}R_{2j}L_{mj}}{L_{2j}^2} - \omega_{0j}i_{1yj}L_{\Theta j} \\
 u_{1yj} &= i_{1yj}R_{\Theta j} + L_{\Theta j}\frac{di_{1yj}}{dt} + \omega_{0j}i_{1xj}L_{\Theta j} + \omega_j\frac{\Psi_{2j}L_{mj}}{L_{2j}} \\
 \omega_{0j} &= \omega_{2j} + \frac{i_{1yj}L_{mj}R_{2j}}{L_{2j}\Psi_{2j}} \\
 M_j &= \frac{3}{2} \cdot p_{\Pi j} \cdot \frac{L_{mj}}{L_{2j}} \cdot i_{1yj} \cdot \Psi_{2j} = k_{mj}i_{1yj}\Psi_{2j} \\
 (J_{\text{АДКЗ}j} + J_{\text{КР}j}) \cdot \frac{d\omega}{dt} &= M_j + M_{\text{гд}j} - (M_{\text{вт}j} + M_{\text{ст}j}) \\
 H_j &= H_{\text{кр}j} + \frac{V_j^2}{2g} \\
 H_{\text{кр}j} &= \xi(\varphi_j) \frac{Q_j^2}{S_j^2 \cdot 2g} \\
 Q &= \sum_{j=1}^N Q_j
 \end{aligned} \right\}$$

9

Полученная ММ использована для разработки структуры и методики настройки регуляторов системы автоматического управления УРГ.

Перечень ссылок.

1. Б. И. Яньшин. Затворы и переходы трубопроводов. Исследования, расчетные характеристики, рациональные формы. – М.: МАШГИЗ, 1962.
2. С. Г. Герман-Галкин. Компьютерное моделирование полупроводниковых систем в MATLAB 6.0: Учебное пособие. – СПб.: КОРОНА Принт, 2001. – 320 с.: ил.