

УДК 681.533.5.001.57

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ УПРАВЛЯЕМОГО УЗЛА РЕДУЦИРОВАНИЯ ГАЗА НА ОТВЕТВЛЕНИИ МАГИСТРАЛЬНОГО ГАЗОПРОВОДА

Колотов А.А., магистрант

(Ухтинский государственный технический университет, г.Ухта, Россия)

Широкое применение в трубопроводном транспорте газа наряду с кранами-регуляторами (КР) нашли узлы редуцирования газа (УРГ), включающие в себя два и более регулирующих или запорных органа, построенные на основе шаровых затворов различных производителей. Для рассмотрения был выбран один из УРГ, эксплуатируемых на магистральных газопроводах ООО «Севергазпром». На данном участке применены неспециализированные регуляторы типа МИНИТЕРМ, которые предназначены для управления одним краном и не позволяют создания системы автоматического управления (САУ) с подчиненным регулированием координат. Таким образом, существует необходимость создания адекватной САУ УРГ, разработка которой строится на основе математической модели УРГ.

Схема моделируемого двухкранового УРГ приведена на рисунке 1.

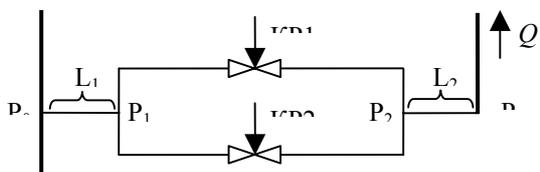


Рисунок 1 – Упрощенная схема УРГ

Процессы в газовом потоке моделировались упрощенно, с использованием уравнений стационарного режима. Это допустимо, если свободное движение в газовом потоке, возмущенное изменением координат шаровых вентилей УРГ, затухает быстро и практически не наблюдается на фоне вынужденного движения. Основными допущениями в данном случае являются условие постоянства расхода газа потребителем и равенство потерь потоков через оба кран-регулятора.

$$\left. \begin{aligned} H_{\text{КР}} &= \frac{Q_1^2}{2 \cdot F^2 \cdot g} \cdot \zeta(\varphi_1) \\ H_{\text{КР}} &= \frac{Q_2^2}{2 \cdot F^2 \cdot g} \cdot \zeta(\varphi_2) \\ Q &= Q_1 + Q_2 \end{aligned} \right\} , \quad (1)$$

где $H_{\text{КР}}$ – потеря потока газа через КР, м; Q_1 и Q_2 – объемные расходы газа в первой и второй ветвях (через КР1 и КР2 соответственно), $\frac{\text{м}^3}{\text{с}}$; Q – объемный расход газа до разделения и после слияния труб, считая его постоянной вели-

чиной, $\frac{M^3}{c}$; F – площадь сечения отверстия кранов-регуляторов, m^2 ; $\zeta(\varphi_1)$ и $\zeta(\varphi_2)$ – коэффициенты сопротивления КР, определены по [1].

Данная система решается относительно $H_{кр}$, Q_1 и Q_2 и имеет решение для каждого значения углов поворота кранов-регуляторов φ_1 и φ_2 . Для формирования сигналов улов поворота предназначена механическая часть модели.

Механическая часть каждой из двух параллельных ветвей модели может быть описана на основании второго закона Ньютона для вращательного движения в операторной форме:

$$M_{упр.i}(p) - sign(\Omega_i(p)) \cdot |M_{сух.тр.i}(p)| - M_{вяз.тр.i}(p) + M_{гд.i}(p) = J_i(p) \frac{d\Omega_i(p)}{dt}, \quad (2)$$

где $i = 1, 2$ – номер крана-регулятора; $M_{упр}$ – момент управления, $H \cdot m$; $M_{сух.тр.}$ – момент сухого трения, $H \cdot m$; $M_{вяз.тр.}$ – момент вязкого трения, $H \cdot m$; $M_{гд}$ – гидродинамический момент, $H \cdot m$; J – приведенный момент шара крана-регулятора, $kg \cdot m^2$; Ω – скорость вращения крана-регулятора, c^{-1} .

Так как оба крана идентичны, то их параметры принимаются одинаковыми. В дальнейшем равные параметры будут обозначаться без индекса принадлежности к одному из кранов.

С учетом вышеизложенного момент вязкого трения и гидродинамический момент определяются как

$$M_{вяз.тр.i}(p) = k_{вяз.тр} \cdot \Omega_i(p); \quad (3)$$

$$M_{гд.i}(p) = m(\vartheta_i(p)) \cdot \gamma \cdot D^3 \cdot H_i(p). \quad (4)$$

где $k_{вяз.тр}$ – коэффициент вязкого трения $H \cdot m \cdot c$; $m(\vartheta)$ – коэффициент гидродинамического момента, выбран согласно [1]; γ – удельный вес газа, $kg/(m^2 \cdot c^2)$; D – диаметр отверстия крана-регулятора, m ; H – полный напор, приходящийся на КР, m .

Математическая модель УРГ реализована в ППП «MATLAB» [2]. Необходимо отметить, что уравнения в данном ППП представляются в операторной форме. Реализация механической части модели представлена на рисунке 2.

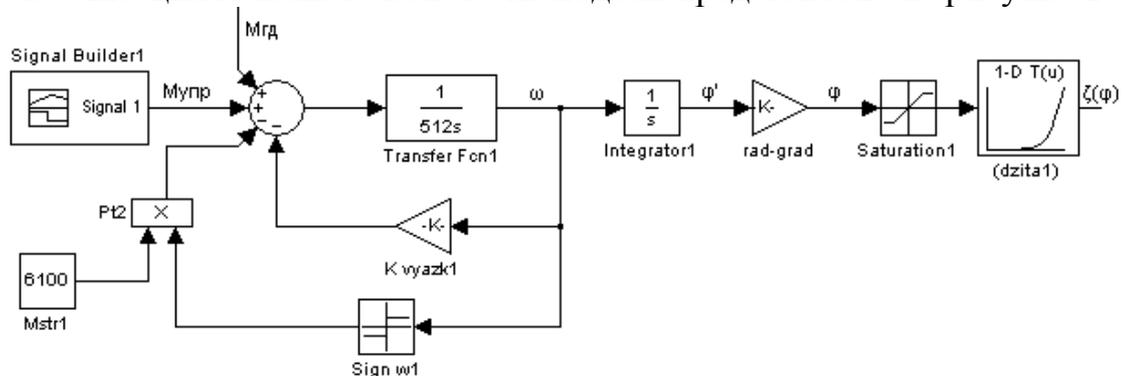


Рисунок 2 – Подмодель механической части УРГ

Первый «механический» интегратор соответствует представлению (2) в изображениях по Лапласу:

$$\Omega_i(p) = \frac{1}{J \cdot p} M_{\Sigma i}(p). \quad (5)$$

Для получения координаты угла закрытия КР использован второй «механический» интегратор

$$\vartheta_i(p) = \frac{1}{p} \cdot \Omega_i(p). \quad (6)$$

Поскольку в [1] коэффициенты сопротивления соотнесены с градусами углов поворота, то необходим масштабирующий коэффициент $180^\circ/\pi \approx 57,29578^\circ$. В блоке Saturation1 выставляется значение крайнего положения угла поворота крана, т.е. согласно [1] 85° .

Выражая объемные расходы из уравнений системы (1) получим:

$$Q_i(p) = \sqrt{\frac{2 \cdot H_{\text{КР}}(p) \cdot F^2 \cdot g}{\zeta(\vartheta_i(p))}}. \quad (7)$$

Подставив уравнения для каждого крана в третье, возведя его в квадрат и выразив $H_{\text{КР}}$, получим:

$$H_{\text{КР}}(p) = \frac{Q^2(p)}{2 \cdot F^2 \cdot g} \div \left[\frac{1}{\zeta(\vartheta_1(p))} + \frac{1}{\zeta(\vartheta_2(p))} + \frac{2}{\sqrt{\zeta(\vartheta_1(p)) \cdot \zeta(\vartheta_2(p))}} \right]. \quad (8)$$

Уравнения (7) и (8) реализуется в виде, показанном на рисунке 3.

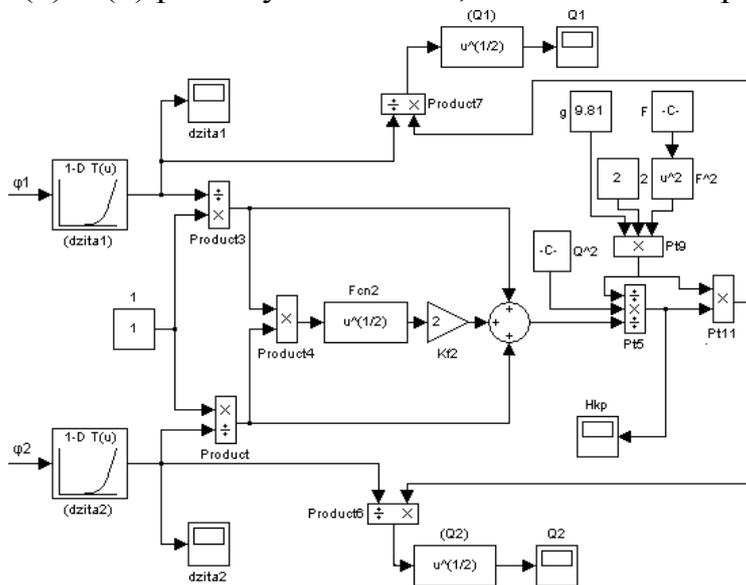


Рисунок 3 – Подмодель уравнений (7) и (8)

Кроме того, можно получить значения потоков газа через каждый кран. Эти значения необходимы для создания обратной связи по $M_{\text{ГД}}$ каждого крана:

$$H_i(p) = H_{\text{КР}}(p) + \frac{Q_i^2(p)}{2 \cdot F^2 \cdot g}. \quad (9)$$

Уравнения (4) и (9) добавлены в виде совокупности блоков к модели. Безразмерный коэффициент момента каждого крана формируется в блоках m1

