

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ УЗЛОВ РЕДУЦИРОВАНИЯ ГАЗА КАК ОБЪЕКТОВ УПРАВЛЕНИЯ (НА ПРИМЕРЕ МЕЖСИСТЕМНОЙ ПЕРЕМЫЧКИ)

Жилкин О.В., магистрант

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

В газовой промышленности в качестве рабочих органов, регулирующих параметры транспортируемой среды (расход, давление), широко применяются краны-регуляторы (КР) с шаровым затвором (ШЗ). Регулирование расхода и давления необходимо, например, в узлах редуцирования газа (УРГ), представляющих собой либо отвод газа к потребителю, имеющему переменное газопотребление, либо межсистемную переключку (МСП) для перепуска газа из нитки с высоким рабочим давлением (НВД) в нитку с низким рабочим давлением (ННД). На рисунке 1 представлена упрощенная схема МСП.

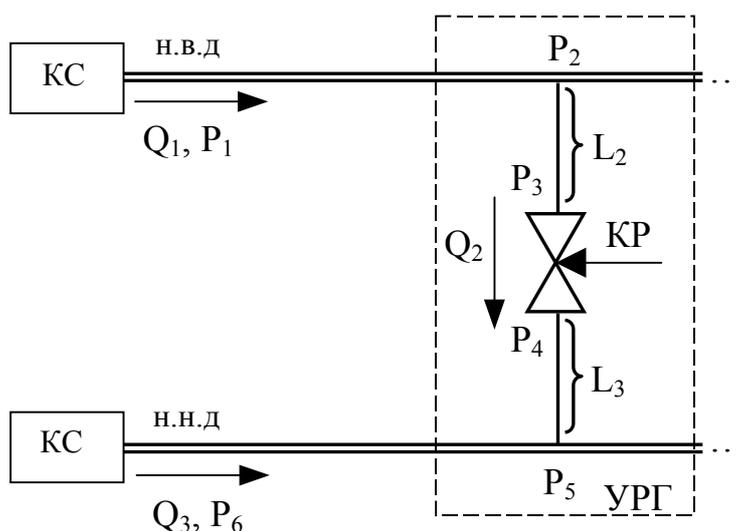


Рисунок 1 – Упрощенная схема УРГ типа МСП: Q_i – объемный расход в i -ой трубе; P_i – давление в начале (конце) трубы; L_i – длина i -го участка трубы

Несмотря на высокую механическую прочность, КР с ШЗ обладают рядом существенных недостатков: отказы из-за некорректной работы неспециализированных систем автоматического управления (САУ), сложность в наладке автоматического режима поддержания параметров газа и т.п. Все это приводит к невозможности качественного управления параметрами рабочей среды и необходимости разработки математической модели (ММ) УРГ для построения эффективной САУ и настройки ее регуляторов.

При построения ММ вводились следующие допущения: течение газа считалось стационарным и с термодинамической точки зрения – изотермическим. Возможность таких допущения в ММ УРГ, ориентированной исключительно на синтез САУ УРГ, обоснована в [1].

Модель характеризується наступними координатами та параметрами: P_2, P_5 – известные давления в НВД и ННД соответственно; P_3, P_4 – давления на входе и выходе КР с ШЗ соответственно; Q_2 – объемный расход через УРГ; L_2, L_3 – известные расстояния.

Узел редуцирования представляет собой сложную газо-механическую систему, основным элементом которой является КР с ШЗ. Движение ШЗ в корпусе КР описывается следующим уравнением:

$$J \dot{\omega}_{шз} = M_{упр} + M_{в.тр}^{\Sigma} + M_{с.тр}^{\Sigma} + M_{гд}, \quad (1)$$

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

Суммарный момент вязкого трения $M_{в.тр}^{\Sigma} = k_{в.тр} \omega_{шз}$, где $k_{в.тр}$ – коэффициент вязкого трения, а суммарный момент сухого трения [2]:

$$M_{с.тр}^{\Sigma} = (-\text{sign}\omega_{шз}) \cdot \left(f_{\Lambda\Phi\text{М}}^{\text{К}} \beta(\varphi) H \gamma \frac{\pi D^2}{4} + f_{\text{Ме}}^{\text{Ск}} m_{\text{кр}} g R_{\text{шт}} \right),$$

Гидродинамический момент:

$$M_{гд} = m(\varphi) \gamma D^3 H,$$

где $m(\varphi)$ – безразмерный коэффициент, определяемый экспериментально [3].

Прямолинейные участки газопровода описываются следующим выражением [4]:

$$Q = \frac{S}{\rho} \sqrt{\frac{(p_n^2 - p_k^2) D}{\lambda Z R T L}},$$

где Q – объемный расход; S – площадь сечения трубы; ρ – плотность газа; p_n, p_k – давление в начале и в конце участка; R – газовая постоянная; λ – коэффициент гидравлического сопротивления труб; Z – коэффициент отклонения реального газа от идеального; T – температура газа; L – длина участка газопровода.

Объемный расход газа Q через КР с ШЗ определяется по следующей формуле [3]:

$$Q = \mu(\varphi) S \sqrt{2 g H},$$

где $\mu(\varphi)$ – безразмерный коэффициент объемного расхода; φ – угол закрытия ШЗ; H – полный напор на ШЗ.

Таким образом, газовые процессы в УРГ будут описываться следующей системой уравнений:

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

Полный напор определим как сумму потерь напора на КР (гидростатический напор) и скоростного напора [3]:

$$H = (p_3 - p_4) / (\rho g) + v^2 / (2g), \quad (3)$$

где $v = Q/S$ – скорость движения газа.

Подставляя (3) в (2), получим:

$$\left. \begin{aligned} Q_2 &= \frac{S}{\rho} \sqrt{\frac{(p_2^2 - p_3^2) D}{\lambda Z R T L_2}} \\ Q_2 &= \mu(\varphi) S \sqrt{2g \left(\frac{p_3 - p_4}{\rho g} + \frac{Q_2^2}{2g S^2} \right)} \\ Q_2 &= \frac{S}{\rho} \sqrt{\frac{(p_4^2 - p_5^2) D}{\lambda Z R T L_3}} \end{aligned} \right\}. \quad (4)$$

Для нахождения решения (4) использован итерационный метод последовательного приближения. Для обеспечения быстрого схождения алгоритма поиска решения и уменьшения затрат машинного времени, система уравнений (4) приведена к безразмерному виду путем нормирования входящих в нее величин:

$$\left. \begin{aligned} (Q^*)^2 - F_1^* (p_2^*)^2 + F_1^* (p_3^*)^2 &= 0 \\ (Q^*)^2 - C_2^*(\varphi) p_3^* + C_2^*(\varphi) p_4^* &= 0 \\ (Q^*)^2 - F_3^* (p_4^*)^2 + F_3^* (p_5^*)^2 &= 0 \end{aligned} \right\}, \quad (5)$$

где Q_2^* – относительный объемный расход; p_i^* – относительное давление в i -ой точке; F_1^*, F_3^* – безразмерные коэффициенты, постоянные для данного участка МСП; $C_2^*(\varphi)$ – безразмерный коэффициент, зависящий от угла закрытия КР.

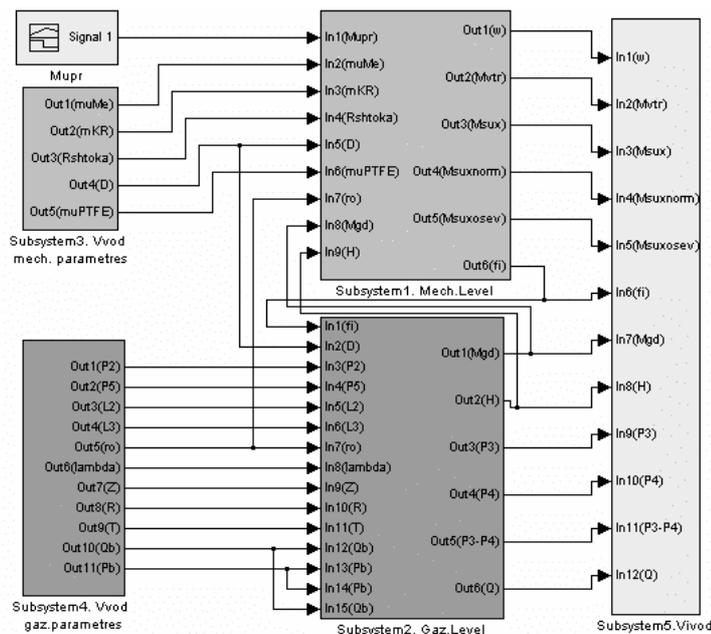


Рисунок 2 – ММ УРГ типа МСП, реализованная в ППП MATLAB

Система (5) в совокупности с уравнением движения КР с ШЗ (1) составила основу ММ УРГ типа МСП, реализованной в ППП MATLAB (рисунок 2). Математическая модель содержит подмодели механических (рисунок 3) и газовых процессов УРГ (рисунок 4), а также блок формирования управляющего момента и подсистему вывода координат УРГ.

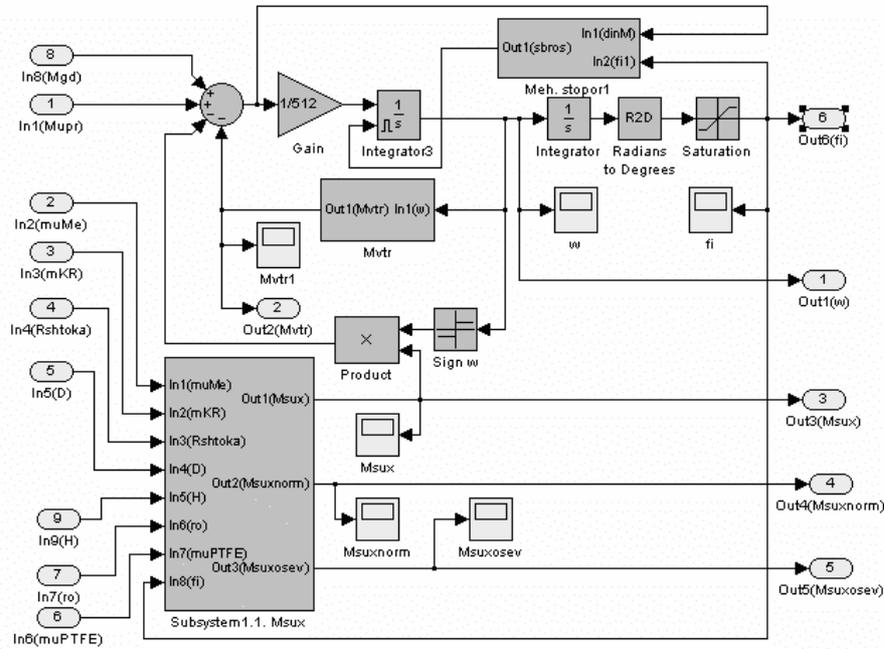


Рисунок 3 – Подмодель механических процессов УРГ типа МСП

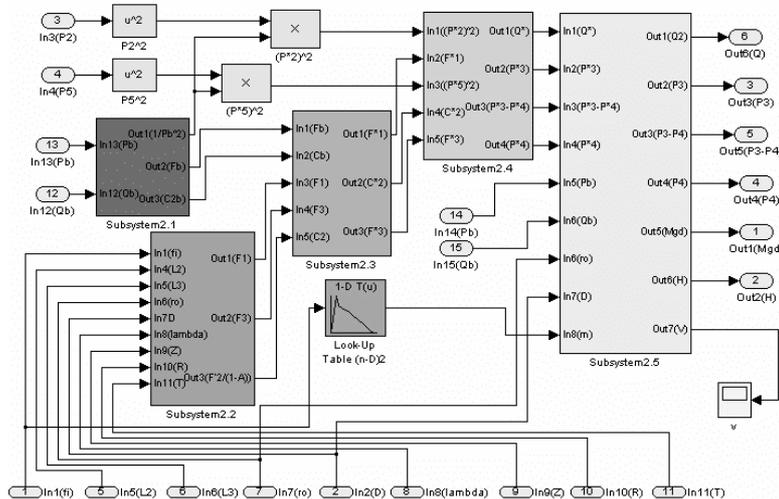


Рисунок 4 – Подмодель газовых процессов УРГ типа МСП

Для оценки адекватности полученной ММ реальному технологическому объекту, было произведено имитационное моделирование с применением параметрической идентификации модели на действующем УРГ, эксплуатируемом ООО «Севергазпром». Экспериментальные данные, полученные непосредственно в ходе исследования УРГ, и результаты имитационного моделирования аналогичных режимов представлены на рисунке 5.

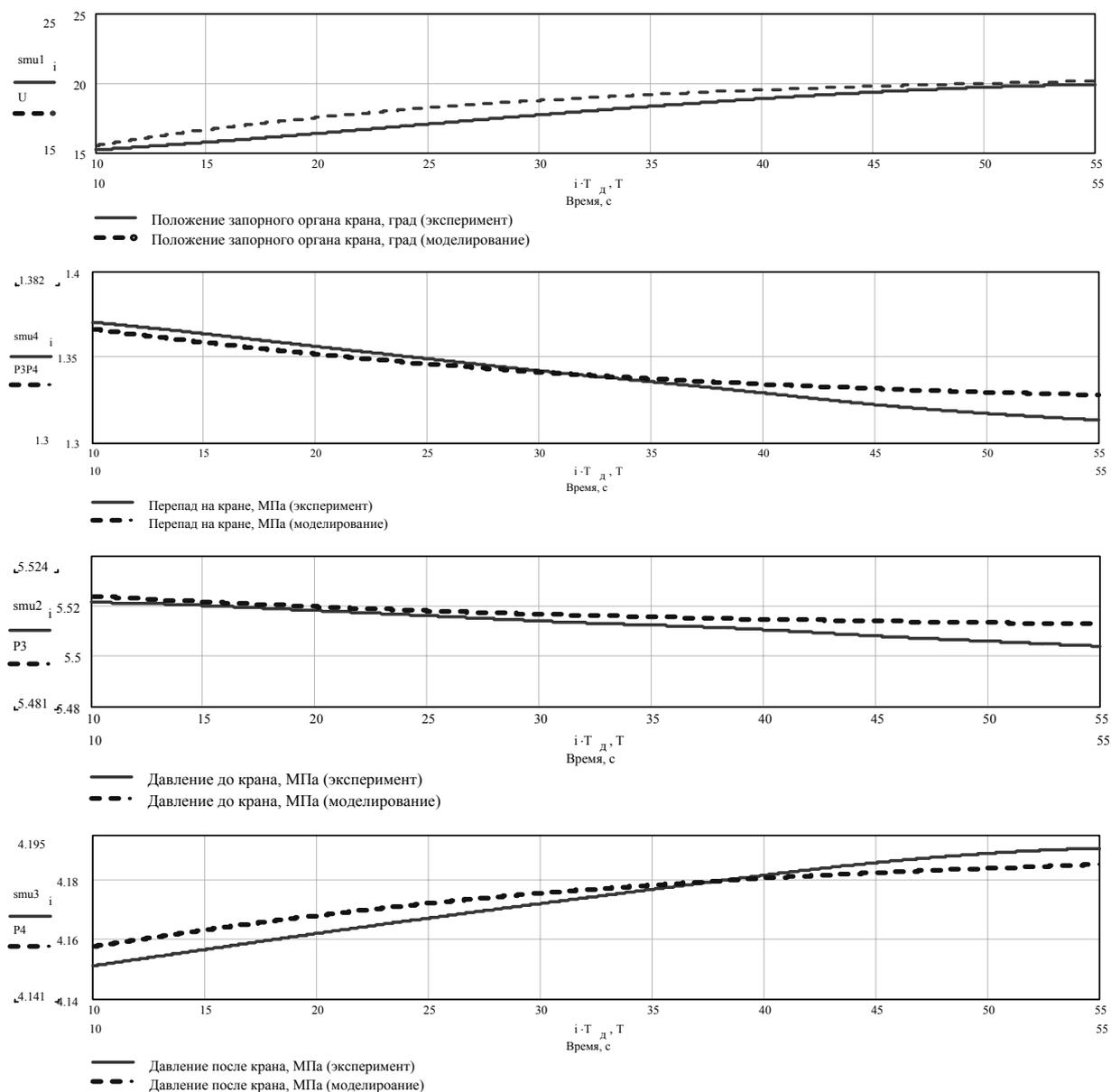


Рисунок 5 – К анализу адекватности ММ

Полученные при моделировании результаты позволяют сделать следующие выводы: модель показала достаточную адекватность и может быть использована для синтеза САУ УРГ.

Перечень ссылок

1. Исследование и разработка алгоритмов функционирования программно-аппаратных средств управления узлами редуцирования газа. Отчет по НИР. Науч. рук. Иванов Б. А. – Ухта, 2003.
2. Жилкин О. В. Учет сил трения в математической модели управляемого крана-регулятора. В настоящем сборнике.
3. Яньшин Б. И. Гидромеханические характеристики затворов и элементов трубопроводов. – М.: Машиностроение, 1965. – 218 с.
4. Бобровский С. А., Щербаков С. Г., Гусейн-заде М. А. Движение газа в газопроводах с путевым отбором. М.: Наука, 1972. – 192 с.