

МЕТОД ДИНАМИЧЕСКОГО БАЛАНСА В ГАЗОТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМАХ

Набатова С.Н., Мамедова А.А.

Харьковский национальный университет радиоэлектроники
61166, Харьков, пр. Ленина 14, каф. ПМ, тел. (057) 702-14-36,
E-mail: svet_nik@ukr.net

In the given work the method of dynamic balance which allows not only to diagnose a condition of a mode of transport of natural gas on a gas pipeline is considered, and to define infringement of balance of natural gas in GTS. It is received possibilities of the control of dynamic balance of natural gas in real time, that allows to diagnose a condition of a mode of system and also to reveal and estimate size of non-productive losses and criminal selections of natural gas on fragments GTS.

Введение

В настоящее время в Украине происходит процесс модернизация газотранспортных систем (ГТС), направленный на повышение качества и эффективности ее функционирования, что привело к широкому использованию SCADA-систем, систем автоматического управления САУ КС, САУ КЦ, САУ ГПА и систем оперативно-диспетчерского управления, как на нижних уровнях, так и на верхних уровнях управления ОДУ, ЛПУ, УМГ.

Увеличение объема оперативных данных результатов измерений параметров газовых потоков в различных узлах ГТС, полученных от первичных датчиков, позволило существенно повысить качество мониторинга фактического состояния режимов транспорта и распределения природного газа в ГТС, но породило новые проблемы, связанные с обеспечением достоверности и непротиворечивости поступающих данных. Основными причинами снижения достоверности оперативных данных и возникновения противоречивости являются частичные отказы первичных датчиков, ошибки в каналах связи, неконтролируемые внутренние и внешние возмущения.

В настоящей работе рассмотрен метод динамического баланса, позволяющий повысить достоверность и снизить противоречивость получаемых оперативных данных.

1. Метод динамического баланса

Теоретической основой метода динамического баланса является интегральная форма закона сохранения массы обобщенная на произвольный, но фиксированный фрагмент ГТС.

Газотранспортная система представляет собой взаимосвязанную систему многониточных МГ с многоцеховыми КС, связанных между собой многониточными перемычками. Тогда с формальной точки зрения, если линейный участок МГ и расположенную перед ним (за ним) КС представить в виде локальной подсистемы (ЛП), то ГТС можно представить в виде последовательно соединенных ЛП.

Не нарушая общности, представим уравнение динамического баланса массы природного газа в ЛП ГТС на интервале времени $T = [t_1, t_2]$.

Пусть ЛП ГТС представлена структурой приведенной на рис. 1. и ограничена на входе и выходе газоизмерительными станциями (ГИС) соответственно.

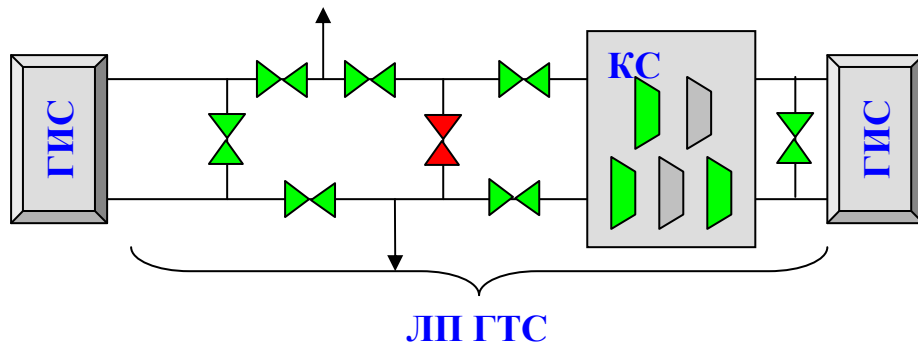


Рис.1. Структура ЛП ГТС

Предположим, что многониточная многосвязная трубопроводная система состоит из l УТ, имеющих n входов, через которые природный газ поступает в ЛП ГТС и r выходов, через которые осуществляется отбор природного газа. Предполагается также, что на всех входах ЛП ГТС для каждого момента времени $t \in [t_1, t_2]$ известны результаты измерений: молярный состав природного газа $\tilde{\tilde{X}}_i(t) = (x_1, x_2, \dots, x_N)$, $i = \overline{1, n}$; коммерческий расход $\tilde{q}_i(\tilde{\tilde{X}}, t)$, $i = \overline{1, n}$ (млн. м³/сут.), давление $\tilde{P}_i(t)$, $i = \overline{1, n}$ (МПа) и температура $\tilde{T}_i(t)$, $i = \overline{1, n}$ (К) природного газа. На всех выходах ЛП ГТС измерены: коммерческий расход $\tilde{q}_j(\tilde{\tilde{X}}, t)$, $j = \overline{1, r}$ (млн. м³/сут.), давление $\tilde{P}_j(t)$, $j = \overline{1, r}$ (МПа) и температура $\tilde{T}_j(t)$, $j = \overline{1, r}$ (К) природного газа. Для КС известен расход топливного газа на работу ГПА $\tilde{q}_{\text{ТГ}}$ (тыс. м³/сут.) и количество газа затрачиваемого на собственные нужды КС $\tilde{q}_{\text{СН}}$ (тыс. м³/сут.).

Тогда уравнение динамического баланса массы природного газа в ЛП ГТС на интервале времени $T = [t_1, t_2]$ представим в виде:

$$\sum_{i=1}^n \int_{t_1}^{t_2} m_i(t) dt - \sum_{j=1}^r \int_{t_1}^{t_2} m_j(t) dt + \sum_{k=1}^l \int_{t_1}^{L_l} m_k(x, t_1) dx - \quad (1)$$

$$- \sum_{k=1}^l \int_{t_1}^{L_l} m_k(x, t_2) dx - m_{\text{КС}} - \Delta m = 0$$

$$m_{\text{КС}} = \int_{t_1}^{t_2} (m_{\text{ТГ}}(t) + m_{\text{СН}}(t)) dt + \Delta m_{\text{КС}}, \quad (2)$$

где $m_i(t)$ – масса ПГ прошедшего через i -й вход ЛП ГТС за интервал времени $T = [t_1, t_2]$, (кг); $m_j(t)$ – масса ПГ прошедшего через j -й выход ЛП ГТС за интервал времени $T = [t_1, t_2]$, (кг); $m_k(x, t_1)$ – масса ПГ аккумулированного в k -м УТ в момент времени t_1 , (кг); $m_k(x, t_2)$ – масса ПГ аккумулированного в k -м УТ в момент времени t_2 , (кг); $m_{\text{ТГ}}(t)$ – масса топливного газа, (кг); $m_{\text{СН}}(t)$ – масса ПГ потраченного на собственные нужды КС, (кг); $\Delta m_{\text{КС}}$ – запас природного газа в трубах на КС, (кг) (учитывая, запас ПГ на КС на много меньше, чем запас на участках трубопровода, то далее будем считать $\Delta m_{\text{КС}} = 0$); Δm – величина массы дисбаланса природного газа на интервал времени $T = [t_1, t_2]$, (кг).

Для расчета масс ПГ на основе полученных оперативных данных о коммерческом расходе, давлении, температуре и компонентном составе воспользуемся взаимосвязью форм представления расходов природного газа в ГТС.

Известно [1], что при стационарном режиме течения природного газа по УТ между массовым расход m (кг/с) и объемным расходом Q_v (м³/с) природного газа, приведенным к стандартных условиях, $P_c = 0.101325$ (МПа) и $T_c = 293.15$ (К), существует функциональная зависимость вида:

$$q = \frac{m}{\rho_c} = \frac{\rho}{\rho_c} \cdot v \cdot S = \frac{\rho}{\rho_c} \cdot Q_v, \quad (3)$$

где q – коммерческий расход природного газа, (м³/с); ρ – плотность природного газа при рабочих условиях, (кг/ м³); ρ_c – плотность природного газа при стандартных условиях, (кг/ м³); v – скорость природного газа, (м/с); S – площадь поперечного сечения трубопровода, (м²).

То есть, коммерческий расход природного газа – это массовый расход, выраженный в объемных единицах при стандартных условиях, иначе, массовый расход природного газа в объемном исчислении.

Используя зависимость (3) представим:

$$m_1^T = \sum_{i=1}^n \int_{t_1}^{t_2} m_i(t) dt = \sum_{i=1}^n \int_{t_1}^{t_2} \tilde{q}_i(t) \hat{\rho}_{ic}(t) dt, \quad (4)$$

$$m_2^T = \sum_{j=1}^r \int_{t_1}^{t_2} m_j(t) dt = \sum_{j=1}^r \int_{t_1}^{t_2} \tilde{q}_j(t) \hat{\rho}_{jc}(t) dt, \quad (5)$$

$$m^{(t_1)} = \sum_{k=1}^l \int_0^{L_l} m_k(x, t_1) dx = \sum_{k=1}^l \int_0^{L_l} \tilde{q}_k(x, t_1) \hat{\rho}_{kc}(x, t_1) dx, \quad (6)$$

$$m^{(t_2)} = \sum_{k=1}^l \int_0^{L_l} m_k(x, t_2) dx = \sum_{k=1}^l \int_0^{L_l} \tilde{q}_k(x, t_2) \hat{\rho}_{kc}(x, t_2) dx, \quad (7)$$

$$\begin{aligned} m_{KC} &= \int_{t_1}^{t_2} (m_{тг}(t) + m_{сн}(t)) dt = \\ &= \int_{t_1}^{t_2} (\tilde{q}_{тг}(t) \hat{\rho}_{KCc}(t) + \tilde{q}_{сн}(t) \hat{\rho}_{KCc}(t)) dt \end{aligned} \quad (8)$$

В выражениях (4-8) $\hat{\rho}_{ic}, \hat{\rho}_{jc}, \hat{\rho}_{kc}, \hat{\rho}_{KCc}$ – оценки плотности ПГ при стандартных условиях на i -м входе, j -м выходе, в точке x k -го УТ и плотности природного газа на КС соответственно.

Согласно [2] плотность при стандартных условиях рассчитывается по формулам:

$$\rho_c(\tilde{X}) = \frac{10^3 \cdot M(\tilde{X}) \cdot P_c}{R \cdot T_c \cdot z_c(\tilde{X})} = \frac{\rho_{с.н}(\tilde{X})}{z_c(\tilde{X})}, \quad (9)$$

где $M(\tilde{X})$ – молярная масса природного газа, (кг/кмоль); (за молярную массу принимают массу одного киломоля вещества в килограммах); $R = 8.31451$ – универсальная газовая

постоянная, (кДж/кмоль К); $\rho_{с.и}(\bar{X}) = \sum_{i=1}^N x_i \rho_{с.и.i}$ – плотность природного газа при стандартных условиях в идеальном газовом состоянии, (кг/м³), $\rho_{с.и.i}$ – плотность компонентов природного газа в идеализированном газовом состоянии (кг/м³), согласно [2].

С учетом рассмотренных зависимостей запишем уравнение динамического баланса масс природного газа на ЛП ГТС на интервале времени $T = [t_1, t_2]$ в виде:

$$m_1^T - m_2^T + m^{(t_1)} - m^{(t_2)} - m_{КС} - \Delta m = 0, \quad (10)$$

где m_1^T, m_2^T – масса природного газа, соответственно прошедшего через все входы и выходы ЛП ГТС на интервал времени $T = [t_1, t_2]$, (кг/с); $m^{(t_1)}, m^{(t_2)}$ – запас природного газа на ЛП ГТС, соответственно в моменты времени t_1 и t_2 , (кг).

Вывод

Рассмотренный метод динамического баланса позволяет не только диагностировать состояние режима транспорта природного газа по газопроводу, а и определять дисбаланс природного газа в ГТС. *Практическая значимость* полученных результатов состоит в возможности контроля динамического баланса природного газа в реальном масштабе времени, что позволяет диагностировать состояние режима транспорта природного газа по газопроводу, а также выявлять и оценивать величину производственных потерь и криминальных отборов природного газа на фрагментах ГТС.

Литература

1. Лурье М.В. Математическое моделирование процессов трубопроводного транспорта нефти, нефтепродуктов и газа: Учебное пособие. – М: ФГУП Изд-во «Нефть и газ» РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2003. – 336 с.
2. ГОСТ 30319.1(2)-96 Газ природный. Методы расчета физических свойств. Определение физических свойств природного газа, его компонентов и продуктов его переработки, 1996 – 25 с.