

ИНЖЕНЕРНЫЕ СЕТИ

УДК 004.023

БАЛАНС ГАЗА В СИСТЕМЕ ВЗАИМОСВЯЗАННЫХ МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ В РАМКАХ НЕИЗОТЕРМИЧЕСКОЙ СТАЦИОНАРНОЙ МОДЕЛИ ТРАНСПОРТИРОВКИ ГАЗА

канд. техн. наук, доц. Д.О. ГЛУХОВ;
Т.М. ГЛУХОВА; А.П. АНДРИЕВСКИЙ; А.Н. ЯНУШОНОК
(Полоцкий государственный университет)

В рамках разработанных авторами методов и алгоритмов оценки запаса газа по неизотермической стационарной модели транспортировки газа решается задача расчета его баланса. Поскольку мы имеем независимую оценку запаса газа, полученную с учетом реального распределения давлений и температур в газотранспортной системе и определяемую решением системы нелинейных уравнений неизотермической стационарной модели транспортировки газа с заданным значением нормы вектора невязки, то расчет запаса газа выступает инструментом верификации результата расчета баланса газа. Представлен анализ причин возможного появления разбалансов в системе и возможных способов корректировки баланса.

Ключевые слова: *транспортировка газа, баланс газа, алгоритм оценки его запаса, вектор невязки.*

В рамках расчета товарно-транспортной работы систем взаимосвязанных магистральных газопроводов, являющейся одной из составляющих, которые существенно влияют на формирование тарифа за газ, возникает проблема расчета баланса природного газа. Традиционно под балансом газа понимают систему показателей, характеризующих движение газа в пределах газотранспортного предприятия. В общем случае под балансом понимается равенство прихода и расхода газа [1; 2]. Важнейший показатель плана поставок природного газа – объем товарного газа $Q_{тов}$. Этот показатель означает количество газа, выбранное потребителями.

Объем товарного газа, выраженный из уравнения баланса газа согласно [2], представлен следующим выражением:

$$Q_{тов} = Q_{пост} + Q_{отб.пхг} - Q_{пни} - Q_n - Q_{зак.пхг} - Q_{зан},$$

где $Q_{пост}$ – поступление газа в газопровод с газовых промыслов и из других газотранспортных систем; $Q_{отб.пхг}$ – отбор газа из подземных хранилищ; $Q_{пни}$ – расход газа на производственно-технические нужды; Q_n – потери газа; $Q_{зак.пхг}$ – закачка газа в подземные хранилища; $Q_{зан}$ – расход газа на заполнение новых газопроводов.

Однако в более поздних работах обыгрывается ситуация, что в этом выражении, во-первых, не достаёт слагаемого, отражающего изменение запаса газа, во-вторых, в нем всегда будут присутствовать дисбалансы, связанные с нестационарными переходными процессами, в частности переходами с режима на режим [3]. В работах [3; 4] предложен алгоритм обнаружения признаков корректируемого измерения расхода газа путем статистического анализа случайных временных рядов суточного измерения прихода и распределения. Суточный дисбаланс D_i между приходом X_i и распределением Y_i в i -тые сутки измерений представлен в следующем виде:

$$D_i = X_i - Y_i; (i = 1, 2, \dots, n),$$

где n – число суток измерений временного ряда прихода и распределения.

Поскольку в газотранспортной системе существует изменение запаса газа

$$\alpha_i = Z_i - Z_{i-1},$$

где Z_i, Z_{i-1} – запас газа в газопроводе в i -тые и $(i-1)$ сутки измерений, связанный с колебаниями давления и температуры, то значение дисбаланса β_i между приходом и распределением имеет вид:

$$\beta_i = D_i - \alpha_i; (i = 1, 2, \dots, n).$$

Однако в [3] делается вывод, что среднее изменение запаса газа α равно

$$\bar{\alpha} = [Z_n - Z_1] / n \approx 0$$

и что для вычисления среднего значения дисбаланса при достаточно длинных временных рядах $n \rightarrow \infty$ необходимо учитывать среднюю разность

$$\bar{D} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n D_i.$$

Такое допущение является искусственным и не может быть принятым, но сам подход к рассмотрению временного изменения дисбаланса как случайной величины представляется интересным. Данный подход используется в целом ряде современных методов прогнозирования дисбаланса, в частности в работах Ф.Г. Тухбатуллина и Д.С. Семейченкова из РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина [7–9].

С учетом высокой информационной загруженности диспетчерской службы, а также ограниченности времени для принятия управленческих решений имеется острая необходимость внедрения специальных программных комплексов системы поддержки принятия диспетчерских решений. В дочерних обществах ПАО «Газпром» уже внедрены такие программные комплексы, как «Астра», «ГазЭксперт», «ИУС-транспорт», «ИУС-ГАЗ», «Веста», «NormPro» и другие. Данные программные комплексы позволяют решить широкий спектр задач: прогнозирование поставок и потребления природного газа; расчет оптимальных режимов работы магистральных и распределительных газопроводов; расчет режимов работы газоперекачивающих агрегатов; сведения баланса газа по субъектам Российской Федерации; расчет запаса газа и т.д. Однако ни один из данных программных комплексов не позволяет на сегодняшний день провести анализ величины разбаланса природного газа [7].

Поскольку при формировании тарифов на газ ОАО «Газпром» применяет понятие средней стоимости транспортировки газа и, соответственно, средней товарно-транспортной работы (ТТР) по доставке газа потребителю для региона, то оценки средних и должны уточняться с учетом статистической оценки неизбежно возникающих дисбалансов.

В работе [5] нами выделены следующие особенности расчетной модели системы взаимосвязанных магистральных газопроводов:

- 1) топология сети меняется в реальном времени;
- 2) меняются множества входных и выходных узлов;
- 3) присутствуют пограничные узлы, характер которых определяется расчетным путем.

С учетом топологической изменчивости расчетной схемы, связанной с переходными процессами при изменении режимов, даже в пределах суток могут меняться маршруты доставки газа к конкретному потребителю.

Учитывая вышесказанное, можно дополнить перечень возможных причин возникновения в системе дисбалансов:

- 1) изменение топологии сети;
- 2) переходные нестационарные процессы (увеличение/уменьшение запасов газа на отдельных участках);
- 3) присутствие неустраняемых невязок, возникающих из-за ошибок в данных телеметрии;
- 4) *неучитываемые потери газа;*
- 5) *аварийные ситуации;*
- 6) *несанкционированный отбор газа;*
- 7) *технологические потери;*
- 8) *погрешность измерительных приборов.*

Поэтому статистическая оценка дисбаланса β в системе именно с учетом изменения запаса газа является корректным способом оценки допустимой погрешности при расчете баланса (откорректированного дисбаланса). Кроме этого, применяя расчет запаса газа, по результатам решения системы нелинейных уравнений неизотермической стационарной модели транспортировки газа устраняем зависимость величины разбаланса от среднемесячной температуры, фокусируясь на статистически значимых структурных особенностях газотранспортной системы. Необходимо также отметить, что часть величины разбаланса определяется погрешностью приборов учета расхода, датчиков давления и температуры. Данная погрешность оценки дисбаланса может быть определена в соответствии с формулами математической статистики, как

$$\Delta\beta = \sqrt{\left(\frac{\partial F}{\partial x_1} \Delta x_1\right)^2 + \left(\frac{\partial F}{\partial x_2} \Delta x_2\right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial F}{\partial x_i} \Delta x_i\right)^2}, \text{ или}$$

$$\Delta\beta = \sqrt{(\Delta\beta)_{x_1}^2 + (\Delta\beta)_{x_2}^2 + \dots + (\Delta\beta)_{x_i}^2},$$

где $\Delta\beta$ – абсолютная погрешность оценки баланса, определяемая погрешностями измерительной аппаратуры; Δx_i – абсолютная погрешность измерения расхода газа i -того потребителя.

Оценка погрешности вычисления дисбаланса, определяемая погрешностями измерительной аппаратуры, может быть определена методом математического моделирования и определения влияния отдельных параметров на функцию дисбаланса в целом. Данная составляющая является неустраняемой частью дисбаланса, которую при переходе к откорректированному дисбалансу также целесообразно исключить. Еще один, на наш взгляд, проблемный вопрос разработанного алгоритма расчета ТТР (принятой ОАО «Газпром» методики расчета [6]) – выбор единственного источника по принципу кратчайшего пути. Смешивание газа от разных источников при его транспортировке, которое вычисляем в разработанном нами программном комплексе расчета запаса газа, позволяет рассчитать ТТР как сумму ТТР от разных источников с учетом процента влияния каждого.

Таким образом, можно сформулировать следующие задачи для дальнейшего исследования:

- 1) изучение свойств случайной величины откорректированного дисбаланса, оценка непараметрических критериев согласия с наиболее подходящими для его описания теоретическими распределениями (смесями распределений);
- 2) формулировка допустимой погрешности откорректированного дисбаланса для конкретного газотранспортного предприятия;
- 3) оценка влияния погрешности средств измерения расходов, давлений, температур и иных параметров расчетной модели на величину оценки откорректированного дисбаланса;
- 4) сравнение методов расчета товарно-транспортной работы газотранспортного предприятия в контексте вопроса повышения точности расчета баланса газа при использовании метода откорректированного дисбаланса.

Заключение. В результате проведенного исследования *предложен метод оценки откорректированного дисбаланса газа* на основе независимой оценки изменения запаса газа в системе взаимосвязанных магистральных газопроводов по результатам решения системы нелинейных уравнений неизоэнтальной стационарной модели транспортировки газа; *систематизированы возможные причины возникновения дисбалансов в системе; сделан вывод о возможности статистической оценки величины дисбалансов* с целью определения допустимых пределов величины дисбаланса при условии учета расчетного значения изменения баланса газа, определяемого на основании реальной гидравлической и температурной обстановки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Перчик, А.И. Краткий словарь-справочник по экономике нефтегазодобывающей промышленности / А.И. Перчик. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М. : Недра, 1976. – 208 с.
2. Организация, планирование и управление на предприятиях транспорта и хранения нефти и газа : учебник для вузов / А.Д. Бренц [и др.]. – М. : Недра, 1980. – 360 с.
3. Андришин, М.П. Динамика показателей статистической отчетности дисбаланса газа [Электронный ресурс] / М.П. Андришин, Е.А. Игуменцев // Метрология. – 2014. – С. 427–430. – Режим доступа: http://metrology.kharkov.ua/fileadmin/user_upload/data_gc/conference/M2014/pages/08/4.pdf.
4. Андришин, М.П. Моделирование и расчет дисбаланса газа между приходом и распределением / М.П. Андришин, Е.А. Игуменцев, Е.А. Прокопенко // Машиностроение и техносфера XXI века : сб. тр. XVII Междунар. науч.-техн. конф. Т. 1. – Донецк, 2010. – С. 10–14.
5. Алгоритм расчета товарно-транспортной работы магистрального газопровода в рамках неизоэнтальной стационарной модели транспортировки газа / Д.О. Глухов [и др.] / Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F, Строительство. Прикладные науки. – 2018. – № 8. – С. 147–151.
6. Методика оценки энергоэффективности газотранспортных объектов и систем : СТО Газпром 2-3.5-113-2007.
7. Тухбатуллин, Ф.Г. О причинах разбаланса природного газа в системе газораспределения и методах прогнозирования его величины / Ф.Г. Тухбатуллин, Д.С. Семейченков // Территория «НЕФТЕГАЗ». – 2017. – № 6. – С. 14–20.
8. Тухбатуллин, Ф.Г. Прогнозирование величины разбаланса природного газа / Ф.Г. Тухбатуллин, Д.С. Семейченков, Т.Ф. Тухбатуллин // Строительство и эксплуатация нефтегазопроводов, баз и хранилищ. – 2017. – № 3 (288). – С. 63–69.
9. Тухбатуллин, Ф.Г. Статистические методы анализа причин разбаланса природного газа и прогнозирования его величины в системе газораспределения [Электронный ресурс] / Ф.Г. Тухбатуллин, Д.С. Семейченков // Трубопроводный транспорт: теория и практика. – 2017. – № 2. – С. 10–15.

Поступила 17.12.2018

THE GAS BALANCE IN THE SYSTEM OF INTERCONNECTED GAS PIPELINES UNDER NON-ISOTHERMAL STEADY STATE MODEL OF GAS TRANSPORTATION

D. GLUKHOV, T. GLUKHOVA, A. ANDRIEVSKY, A. YANUSHONOK

Within the framework of the methods and algorithms for estimating gas reserves developed by the authors according to the non-isothermal stationary model of gas transportation, the problem of calculating the balance is solved. Since we have an independent estimate of the gas reserve obtained taking into account the real distribution of pressures and temperatures in the gas transportation system and determined by solving a system of nonlinear equations of a non-isothermal stationary model of gas transportation with a given value of the residual vector norm, the gas margin calculation serves as a tool for verifying the gas balance calculation result. The paper analyzes the reasons for the possible occurrence of unbalances in the system and possible ways to adjust the balance.

Keywords: *gas transportation, gas balancing, the algorithm for estimating its reserve, the vector of residuals.*