

УДК 519.00.00

Ю.В. Пономарев, Ю.В. Назаренко, В.П. Борисенко

Институт транспорта газа ДК «Укртрансгаз» НАК «Нафтогаз України», Харьков

## НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЬ ИЗМЕРЕНИЯ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ НЕСТАЦИОНАРНОГО ГАЗОВОГО ПОТОКА В ИЗМЕРИТЕЛЬНОМ ТРУБОПРОВОДЕ ГАЗОИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СТАНЦИИ

*Рассмотрены источники неопределенностей при вычислении расхода и количества газа. Обоснована необходимость проведения детальных инструментальных исследований дополнительной составляющей неопределенности измерения расхода газа. Результаты предлагаемых исследований позволят повысить достоверность расчетов расхода на газоизмерительных станциях (ГИС) и будут способствовать уменьшению дисбалансов количества газа в газотранспортной системе Украины.*

**Ключевые слова:** неопределенность, газовый поток, учет расхода и количества газа.

### Введение

Потоки природного газа в трубопроводе в ряде случаев имеют непостоянные характеристики: давление, плотность, температуру, химический состав. Это связано со смешиванием или разветвлением потоков, работой расположенных поблизости компрессорных агрегатов, влиянием местных сопротивлений и т.д. Практика построения и эксплуатации расходомерных узлов часто приводит к необходимости отслеживать характер подобных изменений и оценивать их влияние на процесс измерений расхода и количества газа, проходящего в трубопроводе.

При учете расхода и количества газа проектировщики всегда стремятся избежать нестационарностей потока, оказывающих существенное влияние на процессы измерений, однако это не всегда удается, поэтому представляет интерес рассмотрение вопросов влияния различных видов нестационарностей потока на измерение расхода и количества газа.

### Основной материал

Важнейшим из методов измерения расхода газа является метод переменного перепада давлений на стандартных сужающих устройствах (чаще всего – на диафрагмах), а главным фактором нестационарностей потока являются пульсации перепада давлений на СУ.

Причиной их возникновения в трубопроводах в большинстве случаев является близкое расположение измерительных узлов к источникам возникновения колебаний и недостаточное внимание, уделяемое их демпфированию. В известных нормативных источниках [1] выделяют следующие виды режимов газовых потоков, характеристики которых изменяются во времени:

– стационарный режим – может содержать низкочастотные (до 0,5 Гц) и среднечастотные (до 30 Гц) составляющие колебаний, которые, одна-

ко, оказывают пренебрежимо малое влияние на точность расчета расхода газа. Пульсациями с частотой свыше 30 Гц пренебрегают практически во всех случаях;

– пульсирующий режим – характеризуется наличием явно выраженных среднечастотных пульсаций, низкочастотные составляющие при этом пренебрежимо малы;

– переменный режим – основное влияние оказывают низкочастотные пульсации, связанные чаще всего с переходными процессами в трубопроводах, при этом среднечастотными составляющими можно пренебречь;

– и, собственно, нестационарный поток с явно выраженными и низко- и среднечастотными составляющими колебаний.

Характер изменений потока газа может быть определен при проведении испытаний по определению режима течения газа, при котором выявляется амплитудно-частотный спектр (АЧС) колебаний перепада давлений. Для этого необходимо замерять перепад давлений на диафрагме быстродействующим преобразователем (малоинерционным датчиком) с рабочей частотой, которая превосходит возможную частоту пульсаций потока, и обрабатывать результаты замеров с помощью вычислительного устройства.

А для экспериментально-расчетных исследований неопределенностей, вносимых пульсациями в расчет расхода, и определения составляющих неопределенности для конкретного измерительного трубопровода требуется схема, включающая в себя как рабочее средство измерений (датчик перепада давлений), с участием которого формируются отчеты о расходе газа, так и малоинерционный датчик со своим вторичным прибором. Оба канала измерений перепада давлений подключаются к общему вычислительному устройству для сравнения результатов замеров. Опрос рабочего датчика в составе измери-

тельного комплекса обычно происходит один раз в две секунды, т.е. он не способен отслеживать среднечастотные и даже часть низкочастотных пульсаций, а малоинерционный датчик измеряет значения перепада давлений во всем спектре частот пульсаций.

По результатам испытаний могут быть рассчитана среднеквадратическая (средневзвешенная) амплитуда пульсаций перепада давлений:

$$\Delta p_s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [\Delta p(\tau)_i - \bar{\Delta p}]^2}{n}}, \quad (1)$$

а также относительная среднеквадратическая амплитуда пульсаций (ОСАП) перепада давлений:

$$\tilde{\Delta p}_s = \frac{\Delta p_s}{\bar{\Delta p}}. \quad (2)$$

Эти значения (и, соответственно, их достоверность) зависят от количества измерений за определенный интервал времени  $\tau$ , т.е. от частоты и времени опроса датчика.

Важную роль играет также значение относительного отклонения перепада давлений от среднего значения, которое определяется как

$$\tilde{\Delta}_{\Delta p} = \pm \frac{\Delta p}{\bar{p}}. \quad (3)$$

Критерии несущественности изменений и пульсаций потока (иначе говоря, критерии стационарности потока) определяются по значению относительной среднеквадратической амплитуды пульсаций перепада давлений (для среднечастотных составляющих) и значению относительного отклонения низкочастотных пульсаций перепада давлений. Критерии стационарности имеют вид:

$$\tilde{\Delta}_{\Delta p} \leq 0,14 \quad \text{и} \quad \tilde{\Delta p}_s \leq 0,1.$$

В пульсирующем потоке преобладают среднечастотные составляющие:

$$0,1 \leq \tilde{\Delta p}_s < 0,5; \quad \tilde{\Delta}_{\Delta p} \leq 0,14.$$

При этом добавлено разумное ограничение, что ОСАП перепада давлений не должна превосходить половины среднего значения перепада давлений.

При переменном режиме поток, при этом максимальные значения  $\tilde{\Delta}_{\Delta p} \geq 0,14$  амплитуды низкочастотной составляющей изменения перепада давлений должны находиться в рабочем диапазоне преобразователя.

Источниками неопределенностей при вычислении расхода и количества газа являются следующие физические свойства и особенности процесса:

– нелинейность зависимости значения расхода от перепада давлений на сужающем устройстве ( $U'_1$ ). Значение неопределенности, вносимой данным фактором, можно рассчитать по формуле:

$$U'_1 = \frac{\sqrt{\Delta p} - \sqrt{\Delta p_{и}}}{\sqrt{\Delta p}} 100, \quad (4)$$

где  $\sqrt{\Delta p}, \sqrt{\Delta p_{и}}$  – усредненные значения массивов квадратных корней по результатам измерений перепада давлений соответственно малоинерционным и рабочим датчиками;

– отсутствие инерционного члена в выражении квазистационарного уравнения расхода ( $U'_2$ ). Значение дополнительной неопределенности от влияния данного фактора можно рассчитать с учетом гармонического состава спектра пульсаций, средней скорости потока в отверстии диафрагмы, коэффициента гармонических искажений, инерции и др.;

– неидеальные динамические свойства канала измерения перепада давления ( $U'_3$ ). Для автоматического измерительного комплекса с вычислителем эту составляющую неопределенности отдельно не рассчитывают, т.к. она учитывается в составляющей  $U'_1$ ;

– дискретность опроса датчиков вычислительным устройством и особенностями обработки записей параметров потока ( $U'_4$ ). Дополнительная неопределенность может быть рассчитана в соответствии с [1] по формуле:

$$U'_4 = \frac{100}{\bar{\Delta p}} \left( \frac{\Delta \tau}{\tau_k - \tau_n} \right)^{0,5} \left[ \left( \frac{\Delta \tau}{\tau_k - \tau_n} \right)^{0,5} \sum_{i=1}^n (\Delta p_i - \bar{\Delta p})^2 - \left( \frac{\Delta \tau}{\tau_k - \tau_n - \Delta \tau} \right)^{n-1} \sum_{n=1}^{n-1} (\Delta p_i - \bar{\Delta p})(\Delta p_{i+1} - \bar{\Delta p}) \right]^{0,5},$$

где  $\bar{\Delta p}, \Delta p_i, \Delta p_{i+1}$  – значения перепада давлений соответственно: среднее за период, текущее и последующее;  $\Delta \tau, \tau_k, \tau_n$  – соответственно: интервал времени опроса рабочего датчика перепада давлений, время начала и конца периода измерений.

Для научных и производственных целей в Украине представляет значительный интерес экспериментальное обследование имеющихся газоизмерительных станций (ГИС), а, возможно, и некоторых других газоизмерительных узлов на предмет определения существенности пульсаций в газовом потоке, которые могут оказать влияние на расчет расхода и количества газа, транспортируемого через территорию Украины, поскольку в прежние годы при сооружении ГИС фактору влияния пульсаций на неопределенность расхода не придавали должного значения. Поэтому в ряде случаев в настоящее время расстояние от компрессорной станции до ГИС составляет не более 0,5 км, то есть в потоке газа в измерительных трубопроводах возможны заметные пульсации.

Насколько они существенны? – Этот вопрос можно выяснить только с помощью детальных инструментальных исследований, которые могут и, по нашему мнению, должны быть проведены как можно быстрее. При этом в исследованиях должен обязательно ставиться вопрос о величине дополнительной составляющей неопределенности измерения расхода, что, естественно, не повысит точность измерения расхода, поскольку неопределенность рассчитывается косвенным методом и знаки ее составляющих неизвестны, однако даст возможность повысить достоверность расчета расхода и будет способствовать уменьшению дисбалансов количества газа в газотранспортной системе.

В периодической печати в России была опубликована статья [2], в которой рассмотрен способ устранения погрешности из-за пульсаций параметров потока при измерении расхода природного газа методом переменного перепада давлений. Приведены примеры определения коэффициента коррекции для прямоугольной и синусоидальной форм пульсаций давления и перепада давлений. Однако о практической эксплуатации подобного устройства информация отсутствует. Тем более, что устанавливать малоинерционные датчики для постоянной работы на трубопроводах ГИС не представляется целесообразным.

### **Выводы**

Считаем, что наиболее рациональным путем решения проблемы дополнительных неопределенностей, порожденных влиянием сверхнормативных

пульсаций потока газа, является единоразовое исследование характера потока, выработка и внедрение мероприятий по устранению недопустимых пульсаций на тех ГИС и других важных газоизмерительных узлах, на которых возникновение таких пульсаций возможно в силу сложившихся обстоятельств: размещения вблизи компрессорных станций, частых смен и смешений потоков газа, других источников нестационарности. Для осуществления поставленной цели предполагается разработка и изготовление мобильной исследовательской установки, с помощью которой будут проведены исследования на действующих крупных газоизмерительных объектах, прежде всего, на приграничных ГИС.

### **Список литературы**

1. ГОСТ 8.586.5-2005 ГСИ. Измерение расхода и количества жидкостей и газов с помощью стандартных сужающих устройств. Ч. 5. Методика выполнения измерений.
2. Браго Е.Н. Измерение расхода пульсирующих потоков газа с коррекцией по перепаду давления / Е.Н. Браго, А.В. Кротов // Датчики и системы. – 2003. – № 7. – С. 10-12.

*Поступила в редколлегию 20.07.2009*

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. И.В. Руженцев, Харьковский национальный университет радиоэлектроники. Харьков.

### **НЕВИЗНАЧЕНІСТЬ ВИМІРЮВАННЯ ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ НЕСТАЦІОНАРНОГО ГАЗОВОГО ПОТОКУ В ВИМІРЮВАЛЬНОМУ ТРУБОПРОВОДІ ГАЗОВИМІРЮВАЛЬНОЇ СТАНЦІЇ**

Ю.В. Пономарьов, Ю.В. Назаренко, В.П. Борисенко

*Розглянуті джерела невизначеностей при обчисленні витрат і кількості газу. Обґрунтована необхідність проведення детальних інструментальних досліджень додаткової складової невизначеності виміру витрат газу. Результати запропонованих досліджень дозволять підвищити вірогідність розрахунків витрат газу в газовимірювальних станціях (ГВС) і будуть сприяти зменшенню дисбалансів кількості газу в газотранспортній системі України.*

**Ключові слова:** невизначеність, газовий потік, облік витрат і кількості газу.

### **UNCERTAINTY OF MEASUREMENT OF KEY PARAMETERS OF THE NON-STATIONARY GAS STREAM IN THE MEASURING PIPELINE FOR GAS-MEASURING SYSTEM**

Yu.V. Ponomarjov, Yu.V. Nazarenko, V.P. Borisenko

*Sources of uncertainties at calculation of gas flow rate and gas quantity are considered. Necessity of carrying out of detailed instrumental researches for additional component by uncertainty of measurement of gas-flow rate. The results of suggested researches will allow to raise the reliability of gas-flow rate calculation at gas-measuring stations (GMS) and will promote reduction of gas quantity unbalances in the gas-transport system of Ukraine.*

**Keywords:** uncertainty, a gas stream, the account of the expense and quantity of gas,