

## ДИНАМИКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ СТАТИСТИЧЕСКОЙ ОТЧЕТНОСТИ ДИСБАЛАНСА ГАЗА

**М.П. Андришин, Е.А. Игуменцев**

Метрологический центр Национальной акционерной компании «Нефтегаз Украины»  
08151, Боярка, Киево-Святошинский р-н, Киевская обл., ул. Маяковского, 49 А,  
тел. (044) 586-30-00, e-mail: [MAndriishin@naftogaz.com](mailto:MAndriishin@naftogaz.com)

*A universal algorithm was developed for detecting signs of the adjusted gas flow measurement at the custody transfer points. The algorithm is implemented by a statistical analysis of stochastic time series of daily measurement of inlet gas and its distribution. Permanent monitoring of statistic parameters and correlation coefficient between inlet gas and its distribution was organized. Implemented the ability of gas imbalance true values restoration instead of adjustable values through the pipeline. Presented changes dependence of statistic parameters and correlation coefficients for eleven years within gas transmission operator, divided into two parts: export system and domestic system.*

Общая постановка проблемы и ее связь с научно-практическими задачами. Газотранспортные предприятия допускают погрешности отчетности вследствие коррекции измерения расхода газа, что приводит к изменению статистических параметров дисбаланса газа между его приходом и распределением. Причиной неточностей могут служить систематические погрешности вследствие не приведения измерений к стандартным условиям, неисправность приборов, в некоторых случаях халатность персонала, а также наличие утечек в отдельных нитках газопровода [1]. В настоящее время сбор и обработка статистической информации прихода и распределения газа по газотранспортной системе Украины ведется с помощью централизованной базы данных «АРМ диспетчера Трансгаза», работа которой основана на измерениях расхода современными расходомерами и вычислении физических характеристик газа [2]. Идея применения новых технологий (в частности статистических методов) для решения указанных проблем уже представлена в научной литературе [3].

Обзор публикаций и анализ нерешенных проблем. Известны методы, основанные на применении факторного анализа [4]. Однако каких-либо определенных результатов в данном направлении получено не было и для выявления дисбалансов расхода газа в газопроводе применяются известные своей простотой методы [2], что не позволяет распознать корректируемые неточные измерения. Разработан алгоритм обнаружения признаков корректируемого измерения расхода газа путем статистического анализа случайных временных рядов суточного измерения прихода и распределения [5]. Здесь разность суточного расхода  $D_i$  между приходом  $X_i$  и распределением  $Y_i$  в  $i$ -тые сутки измерений представлена в следующем виде:

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

где  $n$  — число суток измерений временного ряда прихода и распределения;

$t_i$  — время.

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, связанное с колебаниями давления и температуры, то значение дисбаланса  $\beta_i$  между приходом и распределением имеет вид;  $\beta_i = D_i - \alpha_i; (i = 1, 2, \dots, n)$ . Несложно показать, что среднее изменение запаса газа  $\bar{\alpha}$  равно:  $\bar{\alpha} = [Z_n - Z_1]/n \approx 0$ , т.е. для вычисления среднего значения дисбаланса при достаточно длинных временных рядах

$n \rightarrow \infty$  необходимо посчитать лишь среднюю разность  $\bar{D} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n D_i$ . При этом дисперсия разности равна  $\sigma_D^2 = \sigma_\beta^2 + \sigma_\alpha^2$ , где  $\sigma_\beta^2$  и  $\sigma_\alpha^2$  — дисперсии дисбаланса и изме-

нения запаса газа. Установлено [2,3], что закон распределения  $D_i$  и  $\alpha_i$  без нарушения условий измерения является Гауссовым  $p(D_{n,i})$  со средним  $\bar{D}_n$  и дисперсией  $\sigma_n^2$ , а коэффициент корреляции между  $X_i$  и  $Y_i$  и между  $D_i$  и  $\sigma_i$  при измерении расхода вычисляется с помощью известных соотношений [5]:

$$\left. \begin{aligned} K(X_i, Y_i) &= \left[ 1 - \frac{\eta_X \eta_Y}{2} \right] > 0,96; & \eta_X &= \frac{\sigma_D}{\sigma_X}; & \eta_Y &= \frac{\sigma_D}{\sigma_Y}; \\ K(D_i, \alpha_i) &= \left[ 1 - \frac{\eta_D \eta_\alpha}{2} \right] > 0,87; & \eta_D &= \frac{\sigma_\beta}{\sigma_D}; & \eta_\alpha &= \frac{\sigma_\beta}{\sigma_\alpha}. \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Соотношения (2) являются условиями некорректируемости измерений  $X_i$ ,  $Y_i$ ,  $\alpha_i$ , однако они не позволяют восстановить фактический баланс газа  $\beta_i$ . В работе [5] приведена методика восстановления фактических статистических характеристик дисбаланса: среднего  $\beta$  и дисперсии  $\sigma_\beta^2$  для случая, когда условие (2) нарушается. Тогда закон фактической плотности вероятности  $p(D_i)$  значительно отличается от нормального, по виду напоминает распределение Райса [3] и является композицией Гауссового распределения и распределения арккосинуса  $p(D_{n,i})$  со средним  $\bar{D}_n$  и дисперсией  $\sigma_n^2$ . Отличие от распределения Райса заключается в том, что правый и левый максимумы плотности вероятности  $p(D_i)$  несимметричны.

Разработан алгоритм восстановления корректируемых измерений [5]. Однако, восстановление фактических статистических характеристик по УМГ «Киевтрансгаз» выполнено за один год и не отображает динамику процесса за более длительный период времени.

Цель исследований данной работы заключается в анализе статистических критериев отчетности за период времени в одиннадцать лет.

Результаты исследований: Статистические показатели отчетности обрабатывались по данным диспетчерской службы газотранспортной системы, состоящей из двух независимых систем (Экспортного газопровода (ЭГ) и Внутренней системы (ВС)). Все результаты приведены в относительных единицах, что не позволяет выяснить фактические характеристики, однако дает возможность проследить их динамику. Замеры расхода газа проводились отдельно по ЭГ и ВС в течение одиннадцати лет. Данные статистической отчетности обладают сезонной неравномерностью и представлены отдельно в зимний и летний периоды. Значения коэффициентов корреляции, средних и дисперсий для одного зимнего периода ВС приведены в таблице. Из табл. следует, что условие (2) по  $K(X_i, Y_i)$  нарушено, и необходимо откорректировать дисбалансы.

Таблица - Коэффициенты корреляции статистических параметров отчетности расхода газа по ВС

| Параметр   | Среднее, % | Ст. откл., % | $X_i$ | $Y_i$ | $D_i$ | $\alpha_i$ | $\beta_i$ |
|------------|------------|--------------|-------|-------|-------|------------|-----------|
| $X_i$      | 100,00     | 11,10        | 1,00  | 0,93  | 0,20  |            |           |
| $Y_i$      | 99,20      | 10,90        | 0,93  | 1,00  | -0,07 |            |           |
| $D_i$      | 0,79       | 3,08         | 0,20  | -0,07 | 1,00  | 0,95       | 0,35      |
| $\alpha_i$ | 0,16       | 2,89         |       |       | 0,95  | 1,00       | 0,03      |
| $\beta_i$  | 0,63       | 0,99         |       |       | 0,35  | 0,03       | 1,00      |

Восстановление первоначальных значений производилось по методике [5]. Из которой следует, что  $\sigma_D = \sigma_n = 1,38\%$ ;  $K(X_i, Y_i) = 0,98$  и  $\bar{D}_0 = 0,79 + 1,16 = 1,95\%$ .

Среднее значение изменения запаса газа для  $n = 128$  из-за конечности ряда не равняется нулю. Кроме того, по данным статистической отчетности (см. табл.) условие (2) по  $K(\alpha_i, D_i)$  также нарушено.

Поэтому необходимо восстановить ряд  $\alpha_i$  аналогично восстановлению  $X_i, Y_i$ . В результате решения системы уравнений [5] относительно  $\alpha_i$  получим  $\bar{\alpha}_X = 0,74\%$  и  $\sigma_n = 1,61\%$ . Восстановленные значения равны:  $\bar{\alpha} = 0,07\%$ ;  $\sigma_a = \sigma_n = 1,6\%$ . Плотность распределения запаса  $\alpha_i$  не искривляет плотность распределения ряда  $D_i$ , однако увеличивает среднее и дисперсию, составляющие  $\bar{\alpha} = 0,16\%$ ;  $\sigma_a = 2,89\%$  (см. табл. 1). С учетом последнего, восстановленное значение среднего дисбаланса равно  $\bar{\beta} = \bar{D}_0 - \bar{\alpha} = 1,88\%$ , что значительно больше декларируемого показателя  $\bar{\beta} = 0,63\%$ .

Сравнительная динамика коэффициентов корреляции по ВС и ЭГ в течение одиннадцати лет показывает (рис. 1.), что по ЭГ в течение рассматриваемого периода корректировка не проводилась. Средние значения прихода и распределения по ЭГ практически не отличаются между собой.

По ВС коэффициенты корреляции (см. рис. 1.б) и среднее значение до 2007 подверглись корректировке.

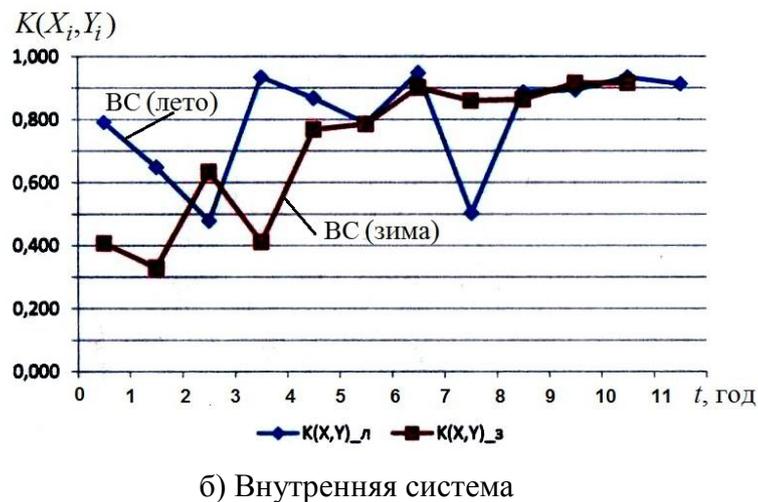
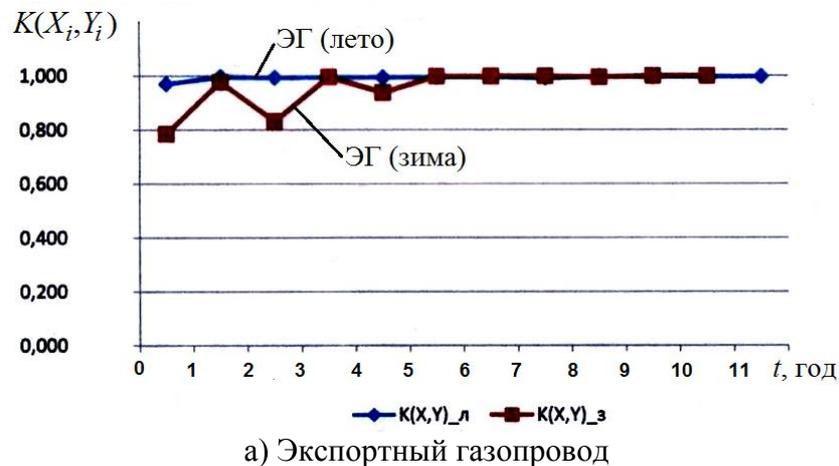


Рис. 1. Коэффициенты корреляции между приходом и распределением по ЭГ и ВС

В анализируемой системе (ВС) потребление природного газа областной государственной администрацией составляет 67%. Если принять, что 34% счетчиков установлены вне помещений [1] то появляется не учитываемый средний объем газа, образованный за счет систематической погрешности измерительных приборов равной зимой  $\delta = -6,87\%$  при средней зимней температуре  $t_{cp} = +0,26$  °C и летом  $\delta \approx 0\%$  при средней лет-

ней температуре  $t_{cp}=+20\text{ }^{\circ}\text{C}$  (рис. 2.). Годовое колебание температуры в рассматриваемом регионе составляет  $-30^{\circ}\text{C} \dots +35^{\circ}\text{C}$ . Суммарная погрешность средних значений  $\bar{D}_{0,u}$  дисбаланса зимой составляет  $\bar{D}_{0,u} = 1,56\%$  и увеличивает дисбаланс. Таким образом фактический дисбаланс связанный с потерями по ВС зимой равен  $1,88-1,56=0,32\%$ . В летнее время средние потери связанные с погрешностями измерительных приборов (ВС) практически отсутствуют. По ЭГ где систематическая погрешность измерительных приборов отсутствует дисбаланс равен  $\bar{D}_0 = 0,21\%$  [4].

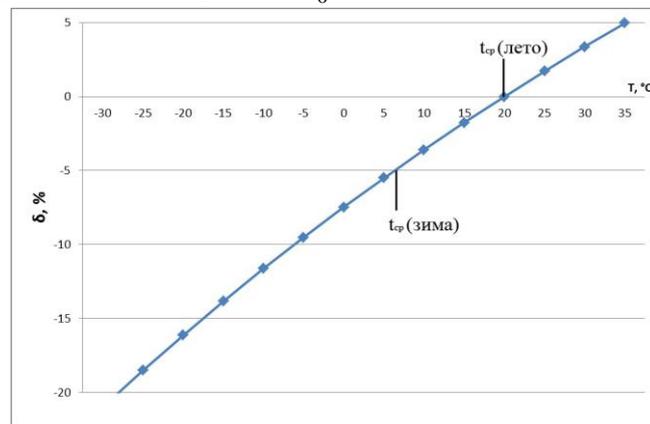


Рис. 1. Систематическая погрешность  $\delta$  образованная без приведения измеренного объема газа к стандартным условиям

**Выводы.** Приведенные значения дисбалансов газа по ВС в зимнее время не превышают погрешности измерительных приборов [1], однако дают дополнительные средние значения дисбаланса и увеличивают дисперсию. Гауссовский закон распределения временных рядов  $D_i$ ,  $\alpha_i$  нарушен. Корректируемые измерения расхода обусловлены занижением прихода и распределения в пределах систематической погрешности измерительных приборов, а статистические данные отчетности искажены. По ЭГ и ВС в летнее время корректировка отсутствует. Учет погрешности измерительных приборов по ВС приравнивает дисбалансы по ЭГ и ВС.

**Перспективы дальнейших исследований.** Разработанную модель восстановления дисбаланса для повышения точности необходимо модифицировать путем исключения трендов прихода и распределения, связанных с сезонной неравномерностью. Кроме того, дополнительно провести оценку влияния изменения запаса газа  $\alpha_i$  на дисбаланс с целью исключения из расчета в дальнейшем средних  $\bar{\alpha}$ .

#### Список литературы

1. Ф. Матіко, Є. Пістун Визначення балансу об'єму природного газу в системах його транспортування та розподілу. Метрологія та прилади. – №1. – 2014. – С.10-16
2. Андріішин М.П. і др. Вимірювання витрати та кількості газу: Довідник. – Івано-Франківськ: ПП. "Сімик", 2004. – 160с.: іл.
3. Андришин М.П., Игуменцев Е.А., Добров В.Л., Прокопенко Е.А. Корреляционный критерий дисбаланса прихода и распределения газа магистрального газопровода. – Український метрологічний журнал. – №2. – 2008. – С.37-42.
4. Марчук Я.С., Андріішин М.П., Ігуменцев Є.О., Прокопенко О.О., Добров В.Л. Спосіб Київтрансгазу. – Патент на корисну модель № 41417. Держ. Реєстр патентів України на корисні моделі 25.05.2009.
5. Андришин М.П., Игуменцев Е.А., Прокопенко Е.А. Моделирование и расчет дисбаланса газа между приходом и распределением. // Сборник трудов XVII Международной научно-технической конференции «Машиностроение и техносфера XXI века» Т.1. – Донецк, 2010. С.10-14.