

УДК 658.272.004.18

**Б. С. Ильченко**<sup>\*</sup>, д-р техн. наук  
**А. А. Прищепо**<sup>\*\*</sup>, канд. техн. наук  
**И. С. Ивасютяк**<sup>\*\*\*</sup>  
**И. А. Прищепо**<sup>\*\*</sup>  
**В. В. Инкулис**<sup>\*\*\*\*</sup>

\* Харьковская национальная академия городского хозяйства

\*\* ДК «Укртрансгаз» (г. Киев, )

\*\*\* НПЦ «Техдиагаз» ДК «Укртрансгаз»  
(г. Харьков, ivas@itransgaz.com)

\*\*\*\* Институт проблем машиностроения им. А.Н Подгорного НАН Украины  
(г. Харьков)

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПОГРЕШНОСТИ СВЕДЕНИЯ БАЛАНСА ГАЗА В СИСТЕМЕ МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ

*Рассматривается задача построения адекватного математического описания погрешности баланса природного газа в системе магистральных газопроводов, пригодного для исследования погрешности с выработкой решений по ее сокращению. Сформулированы постановка задачи и требования к ее решению в условиях неполноты и разнородности информации об источниках погрешности и неточности исходных данных. Предложено решение в виде комбинированной математической модели погрешности баланса газа как синтеза аналитической и численной статистической моделей.*

*Розглядається завдання побудови адекватного математичного опису похибки балансу природного газу в системі магістральних газопроводів, придатного для дослідження похибки з напрацюванням розв'язків щодо її зменшення. Сформульовано постановку задачі й вимоги до її розв'язання в умовах неповноти й різномірності інформації про джерела похибки й неточності вихідних даних. Запропоновано розв'язання у вигляді комбінованої математичної моделі похибки балансу газу як синтезу аналітичної й числової статистичної моделей.*

### Введение

В настоящее время постоянно возрастают требования к экономичности и эффективности транспортирования газа магистральными газопроводами. Одним из основных направлений улучшения этих показателей является уменьшение неучтенных расходов (потерь) газа. Повышение качества учета расхода газа также необходимо для оптимизации управления перекачиванием газа, планирования ремонтов и модернизации оборудования, внедрения современных энергосберегающих технологий. Это делает актуальным исследование погрешности сведения баланса (разбаланс) газа в газотранспортной системе (ГТС) с целью оценки объемов неучтенных расходов, их локализации и определения источников потерь.

### Постановка задачи

Разбаланс газа в ГТС определяется как разница поступления учтенного газа из соседних ГТС, в том числе транзитного, из месторождений, подземных хранилищ и учтенного ухода газа, в том числе транзитного и отобранного потребителями, газа для закачки в хранилища, расход газа на собственные нужды объектов ГТС, учтенный технологический расход и учтенные потери газа.

Информация о составляющих баланса характеризуется неточностью замены реальных расходов нормативными показателями, погрешностями измерений поступлений и рас-

ходов газа. Таким образом, источники разбаланса можно разделить на прямые неучтенные потери, а также инструментальные и методические погрешности определения расхода газа. Общий объем разбаланса  $q$  представляет собой сумму составляющих по объектам ГТС и по видам источников разбаланса

$$q = \sum_i q_i = \sum_i \sum_j q_{ij} = \sum_j q_j, \quad (1)$$

где  $q_i$  – объем составляющей разбаланса, создаваемой на  $i$ -м объекте ГТС;  $q_{ij}$  – объем составляющей разбаланса  $j$ -го вида, создаваемой на  $i$ -м объекте ГТС;  $q_j$  – объем составляющей разбаланса  $j$ -го вида.

Поскольку для ГТС, как большой и сложной системы, невозможен анализ разбаланса путем полного точного учета всех составляющих баланса, был предложен метод исследования, основанный на применении численной модели погрешности сведения баланса газа как зависимости разбаланса от доступных режимно-технологических параметров ГТС [1–3].

Модель разбаланса газа должна отвечать ряду требований:

- допускать неполноту данных как по количеству замеров, так и по перечню параметров, необходимых для полного описания поведения системы;
- работать при ошибках разной природы в данных;
- допускать неодинаковую достоверность в разных областях изменения параметров;
- включать механизм оценки точности результата в зависимости от полноты и точности данных.

Первые численные модели разбаланса – регрессионная и на искусственных нейронных сетях – были построены на основе суточных и месячных данных разбаланса газа и восьми сопутствующих режимно-технологических параметров [1–3] в ГТС управлений магистральных газопроводов (УМГ). За время апробации обе модели подтвердили свою состоятельность при прогнозировании и анализе разбаланса [2], средняя точность на данных за двухлетний период составила 4,8 и 5,3% соответственно [4]. На практике, ввиду простоты применения, использовалась множественная регрессионная модель разбаланса по режимно-технологическим и календарным факторам

$$q = c + \sum c_i x_i = c + c_1 q_{\text{потр}} + c_2 q_{\text{тр}} + c_3 p_{\text{КС}} + c_4 n_{\text{пуск16}} + c_5 n_{\text{пуск25}} + c_6 n_{\text{ост16}} + c_7 n_{\text{ост25}} + c_8 \Delta q + c_9 z + c_{10} m;$$

где  $q$  – величина разбаланса, тыс. м<sup>3</sup>;  $c$ ,  $c_i$  – параметры множественной регрессии;  $x_i$  – режимно-технологические факторы ГТС:  $q_{\text{потр}}$  – объем газа, направляемого потребителям, тыс. м<sup>3</sup>;  $q_{\text{тр}}$  – объем транспортированного газа, тыс. м<sup>3</sup>;  $p_{\text{КС}}$  – обобщенный показатель входного давления по КС, атм;  $n_{\text{пуск16}}$  – количество пусков ГПА мощностью до 16 МВт;  $n_{\text{пуск25}}$  – количество пусков ГПА мощностью свыше 16 МВт;  $n_{\text{ост16}}$  – количество остановов ГПА мощностью до 16 МВт;  $n_{\text{ост25}}$  – количество остановов ГПА мощностью свыше 16 МВт;  $\Delta q$  – изменение запаса газа в трубе, тыс. м<sup>3</sup>;  $z$  – тип периода (1 – период замены диафрагм в измерительных устройствах);  $m$  – номер месяца.

### Результаты исследований. Развитие математической модели

На протяжении двух лет модель применялась для прогнозирования и анализа разбаланса. Степень различия между фактическими и расчетными значениями разбаланса рассматривалась как мера достоверности сведения баланса. Значительное расхождение [3] может свидетельствовать об ошибке в данных, авариях, влиянии неучтенных обстоятельств.

Результаты применения регрессионной модели с 2007 по 2009 год подтверждают пригодность разработанного метода анализа и прогнозирования погрешности расчета баланса газа. Средняя ошибка за этот период составила 7%. Регрессионный анализ, который позволяет рассчитать точечную оценку ожидаемого значения погрешности баланса и интервальную оценку в виде граничных допустимых значений на основе значений доступных показателей транспортирования газа в ГТС [3], отвечает требованиям к построению математической модели разбаланса газа. Однако математическая регрессия не приспособлена для ра-

боты с нечисловыми факторами, такими, как календарный сезон, который существенно влияет на соотношение источников разбаланса. Для компенсации этого модели разбаланса газа в ГТС УМГ ДК «Укртрансгаз» включают три регрессионные зависимости для разных сезонов – зимы, лета и переходного сезона (весна – осень). Основным же недостатком такой численной модели является отсутствие связи со структурой объекта, воспроизводится лишь его внешнее функционирование, что ограничивает достоверность модели. Определен путь развития модели, отражающей природу разбаланса, в направлении расширения перечня учитываемых факторов:

- локальные показатели работы объектов ГТС – объемы перекачанного газа по компрессорным станциям, отобранного газа по газораспределительным станциям;
- информация о систематической погрешности оборудования для измерения расхода газа;
- неучтенные затраты в виде утечек из оборудования ГТС, в первую очередь, через запорную арматуру (краны).

Важное требование к доработке модели – ее совместимость с существующими численными моделями при использовании в методиках для определения допустимых граничных значений разбаланса, анализа и прогнозирования объема разбаланса. В связи со значительном объеме работ принято решение о поэтапном развитии модели. На первом этапе применяется подход, основанный на замещении части первичной численной модели  $G(\mathbf{x})$  математическим описанием  $F(\mathbf{y})$ , утечек газа через запорную трубопроводную арматуру (краны) как зависимости от характеристик  $\mathbf{y}$ , (при этом остальная часть разбаланса описывается численной моделью  $G'(\mathbf{x})$ , аналогичной  $G(\mathbf{x})$ )

$$q = G(\mathbf{x}) = F(\mathbf{y}) + G'(\mathbf{x}) .$$

Основанием такого подхода является предположение об аддитивном характере разбаланса. Общий объем разбаланса  $q$  представляет собой сумму практически независимых составляющих разной природы  $q_j$ , созданных на разных объектах (1), в том числе и утечек газа через запорную трубопроводную арматуру  $q_{кр}$

$$q = \sum_{j=1} q_j = q_{кр} + \sum_{j=2} q_j = F(\mathbf{y}) + G'(\mathbf{x}) .$$

В полученной комбинированной модели использовано математическое описание доли разбаланса как суммы нормативных утечек [5] газа для парка кранов ГТС

$$q_{кр} = F(\mathbf{y}) = \sum_k \sum_{l=1}^{n_k} \Delta q_{k,j}(d_l, p_i) ,$$

где  $k$  – класс крана,  $d$  – диаметр,  $p$  – давление газа.

Соответственно

$$q = \sum_{j=1} q_j = q_{кр} + \sum_{j=2} q_j = F(\mathbf{y}) + G'(\mathbf{x}) = \sum_k \sum_{l=1}^{n_k} \Delta q_{k,j}(d_l, p_i) + \sum_{i=1}^{10} c_i x_i ,$$

где  $\Delta q$  определяется стандартом [5] в зависимости от класса, диаметра и давления.

Комбинированная модель была использована для анализа данных по методике, утвержденной для регрессионной модели. Кроме того, полезным результатом также является отработка процедуры развития модели разбаланса от численной модели к комбинированной, с поддержкой совместимости применения.

### Выводы

По результатам представленной работы разработан нормативный документ, регламентирующий допустимые граничные объемы разбаланса газа с учетом режима работы ГТС УМГ и программные средства мониторинга отклонения разбаланса от норматива. Полученные данные используются для проведения энергосберегающих мероприятий, планирования модернизации, оптимизации технического обслуживания и ремонта оборудования в ГТС ДК «Укртрансгаз».

Актуальность уменьшения потерь и повышения точности учета расходов газа определяет необходимость продолжения исследований разбаланса газа, дальнейшего развития модели в направлении расширения перечня учитываемых факторов, в том числе погрешности устройств измерения расхода газа. Особенно важен учет локальных показателей работы ГТС, с конечной целью установить факт и оценить объем потерь газа на конкретном объекте ГТС.

### Литература

1. *Беккер М. В.* Метод и его применение для прогнозирования объемов разбаланса при транспортировке и распределении газа / М. В. Беккер, В. В. Колодяжный, А. А. Прищепо, Б. С. Ильченко // Ресурсозбереження у ринкових відносинах: Тези доп. XII Міжнар. конф.– Київ: НДЦ «Нафтохім», 2005. – С. 3–5.
2. *Ильченко Б. С.* Аналіз та прогнозування похибки розрахунку балансу газу в системі магістральних газопроводів / Б. С. Ильченко, О. О. Прищепо, І. О. Прищепо // Ресурсоенергозбереження у ринкових відносинах: Матеріали XIII Міжнар. конф., 12–16 червня 2006 р.– Київ: ПВП «Задруга», 2006.– С. 135–146.
3. *Ивасютяк И. С.* Определение предельных допустимых объемов погрешности сведения баланса газа в системе магистральных газопроводов ДК «Укртрансгаз» / И. С. Ивасютяк, А. В. Свечников, И. А. Прищепо, В. В. Инкулис // Совершенствование турбоустановок методами математического и физического моделирования: Харьков: Сб. докл. междунар. науч.-техн. конф. 19–22 сент. 2006 г., [Электронный ресурс].– Электрон. дан.– Харьков: Ин-т пробл. машиностроения НАН Украины, 10.06.09.– 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).– Систем. требования: ПК от 486 DX 66 МГц; Windows 95, MS Word 6.0.
4. *Ильченко Б. С.* Анализ и прогнозирование погрешности расчета баланса газа в системе магистральных газопроводов / Б. С. Ильченко, И. С. Ивасютяк, К. С. Чернышев // Там же.
5. *ГОСТ 9544-75.* Арматура трубопроводная запорная. Нормы герметичности затворов.– Введ. 01.01.79.– М.: Изд-во стандартов, 1989.– С. 2–6.

Поступила в редакцию  
25.09.09