

УДК 656.5:658.5

**Б. С. Ильченко**<sup>\*</sup>, д-р техн. наук**И. А. Прищепо**<sup>\*\*</sup>**И. С. Ивасютяк**<sup>\*\*\*</sup>**В. В. Инкулис**<sup>\*\*\*\*</sup><sup>\*</sup> Харьковская национальная академия городского хозяйства<sup>\*\*</sup> ДК «Укртрансгаз» (г. Киев)<sup>\*\*\*</sup> НПЦ «Техдиагаз» ДК «Укртрансгаз» (г. Харьков, e-mail: [ivas@itransgaz.com](mailto:_ivas@itransgaz.com))<sup>\*\*\*\*</sup> Институт проблем машиностроения им. А. Н Подгорного НАН Украины (г. Харьков, e-mail: [inkulis@yandex.ru](mailto:inkulis@yandex.ru))

## НОРМИРОВАНИЕ ПОГРЕШНОСТИ РАСЧЕТА БАЛАНСА ГАЗА В ТРУБОПРОВОДНОЙ ГАЗОТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЕ

*Рассматривается понятие нормирования погрешности расчета баланса природного газа в трубопроводной газотранспортной системе. Анализируется возможность нормирования погрешности расчета баланса газа в условиях неполноты и разнородности информации об источниках погрешности и неточности исходных данных. Предложен подход к нормированию с применением статистической модели погрешности расчета баланса газа.*

*Розглядається поняття нормування похибки розрахунку балансу природного газу у трубопроводній газотранспортній системі. Аналізується можливість нормування похибки розрахунку балансу газу в умовах неповноти та різнородності інформації про джерела похибки і неточності вхідних даних. Запропоновано підхід до нормування з застосуванням статистичної моделі похибки розрахунку балансу газу.*

### Введение

На протяжении последнего десятилетия в газотранспортной системе (ГТС) Украины проводится последовательная политика повышения экономичности и эффективности транспортировки газа – внедряются новые энергосберегающие технологии, повышается точность измерения и учета расхода и отбора газа потребителями. Одним из показателей экономичности ГТС является погрешность расчета баланса (разбаланс) газа в газотранспортной системе. Дальнейшее уменьшение разбаланса путем внедрения новых энергосберегающих технологий требует все больших экономических затрат, соотношение которых со стоимостью газа, полученного уменьшением разбаланса, определяет целесообразность энергосберегающих мероприятий. Это делает актуальным исследование погрешности расчета баланса газа в газотранспортной системе. В данной статье рассматривается подход к нормированию объема разбаланса, т.е. определению нормативного значения погрешности расчета баланса, соответствующего нормальным для технического состояния и режима работы газопровода потерям газа.

### Определение разбаланса

Погрешность расчета баланса (разбаланс) газа в ГТС представляет собой разницу между учтенными поступлениями газа из соседних ГТС, месторождений, подземных хранилищ и учтенным расходом газа, переданного соседним ГТС, отобранного потребителями, газа для закачки в хранилища, на собственные нужды объектов ГТС и учтенными потерями газа.

Учетные показатели, применяемые при расчете баланса газа, представляют собой нормативные, расчетные и измеренные значения, которые отличаются от фактических по-

грешностями нормирования, расчетов и измерений расходов газа. Совокупность этих погрешностей формирует общий объем разбаланса  $q$ , т.е. разбаланс 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. Общий разбаланс по ГТС представляет собой сумму элементов  $q_{ij}$  матрицы погрешностей.

Источники разбаланса можно разделить на прямые неучтенные потери, а также инструментальные и методические погрешности определения расхода газа. Учитывая количество возможных источников утечек в газотранспортной системе, можно сделать вывод, что наличие разбаланса газа является нормальным свойством большой ГТС.

### Понятие нормирования погрешности расчета баланса газа

Нормирование объема разбаланса газа можно определить как расчет нормативного значения, соответствующего нормальным для технического состояния и режима работы газопровода потерям газа.

Нормативное значение разбаланса можно использовать для решения нескольких задач:

- проверка фактических значений разбаланса на нормативное соответствие с целью определения недостоверных значений разбаланса и/или установления факта дополнительных несистемных потерь газа;
- прогнозирование: задав планируемые на будущий период параметры режима работы ГТС расчетом нормативного значения, можно решить задачу прогнозирования разбаланса;
- сравнительный анализ нормативного и расчетного объемов разбаланса, который позволит оценить степень эффективности планируемых мероприятий оптимизации управления перекачиванием газа, ремонтов и модернизации оборудования, внедрения современных энергосберегающих технологий;
- сравнительный анализ нормативного (по состоянию до проведения мероприятий) и фактического объемов разбаланса, позволяющего оценить степень эффективности уже реализованных мероприятий.

Особенностью нормирования потерь является различие средних, ожидаемых потерь и граничных, максимально допустимых. Для первой из приведенных задач в качестве нормативного естественно применение максимально допустимого значения потерь, для остальных – средних потерь. Таким образом, для практического применения нормирование разбаланса должно обеспечить получение двух нормативных значений – среднего и максимально допустимого.

Традиционные методы нормирования расходов газа в оборудовании ГТС в упрощенной формулировке сводятся к замерам и расчетам расхода для единицы оборудования и корректируются для разных режимов работы и технического состояния оборудования. Как было показано выше, стандартный подход с применением полного точного учета всех рассчитанных или измеренных составляющих невозможен. Необходимо было разработать метод нормирования разбаланса в условиях неполноты и неопределенности информации по составляющим разбаланса.

### Математические модели разбаланса

Ранее в ходе исследования разбаланса были разработаны и применялись математические модели [1–3], которые оказались полезны для нормирования объема разбаланса.

Подход к построению математических моделей разбаланса газа в газотранспортной системе был определен сложностью объекта моделирования, неполнотой и неточностью информации о составляющих разбаланса. ГТС Украины состоит из тысяч единиц объектов

различных типов. При расчете баланса газа в сети учитываются все поступления, отборы газа потребителям и расход газа на собственные нужды во время эксплуатации газопроводов. С одной стороны, информация о составляющих баланса характеризуется неполнотой и неточностью. Сложность системы делает невозможным исследование погрешности сведения баланса (разбаланса), которое основывается на прямом анализе точности всех составляющих. С другой стороны – в базах данных ДК «Укртрансгаз» были накоплены суточные и месячные данные по разбалансу и ряду режимно-технологических параметров за десятилетний период.

Ввиду вышеизложенного был избран метод исследования, основанный на построении численной модели погрешности расчета баланса газа как зависимости разбаланса от доступных режимно-технологических параметров ГТС [1, 2].

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 [2]. За время апробации обе модели подтвердили свою состоятельность при прогнозировании и анализе разбаланса, средняя точность на данных за двухлетний период составила 4,8 и 5,3 % соответственно [2]. На практике ввиду простоты применения использовалась множественная регрессионная модель разбаланса по режимно-технологическим и календарным факторам

$$q = c + \sum c_i x_i = c + c_1 q_{\text{потр}} + c_2 q_{\text{тр}} + c_3 p_{\text{КС}} + c_4 n_{\text{пуск16}} + c_5 n_{\text{пуск25}} + c_6 n_{\text{ост16}} + c_7 n_{\text{ост25}} + c_8 \Delta q + c_9 z + c_{10} m; \quad (2)$$

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.

Позже был предложен подход к моделированию разбаланса в виде комбинированной математической модели погрешности баланса газа как синтеза аналитической и численной статистической моделей [3].

Регрессионная и комбинированная модели разбаланса газа:

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

### Пример нормирования разбаланса газа в ГТС

Для нормирования разбаланса газа в ГТС была применена регрессионная модель разбаланса (2). Коэффициенты модели были рассчитаны в соответствии с ранее разработанной методикой [2]. Расчет производился на данных по ГТС ДК «Укртрансгаз» за календарный период в 20 месяцев.

Расчет включал такие шаги:

- вычисление нормативного расчетного разбаланса как ожидаемой величины погрешности расчета баланса  $q$ ;
- определение оценки среднеквадратичного отклонения  $\sigma$  как показателя степени разброса значений разбаланса;
- расчет нормативного граничного, максимально допустимого значения погрешности как  $q + 2\sigma$ .

Расчет среднеквадратичного отклонения разбаланса выполнялся по стандартной формуле [4]

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (q_j - m_q)^2}{n-1}}, \quad (3)$$

где  $m_q$  – среднее значение разбаланса;  $n$  – количество значений разбаланса.

Нормативное максимально допустимое граничное значение разбаланса  $q_{гр}$  вычислялось как верхняя граница доверительной полосы  $z$  размахом  $2\sigma$

$$q_{гр} = q + 2\sigma. \quad (4)$$

В доверительный интервал размахом  $2\sigma$  попадают 95% значений случайной величины [4]. Если отклонение фактического значения разбаланса от математического ожидания превышает  $2\sigma$ , такое значение либо ошибочное, либо разбаланс обусловлен существенными дополнительными обстоятельствами, которые необходимо выяснить.

Результаты расчета представлены в таблице. Фактические значения соответствуют расчетным нормативным. Результаты расчета подтверждают пригодность представленного метода нормирования объема погрешности расчета баланса газа в ГТС.

**Результаты расчета нормативного объема разбаланса газа в ГТС ДК «Укртрансгаз»**

Номер месяца с начала года	Объем разбаланса, абсолютные значения, тыс. м <sup>3</sup>				Объем разбаланса, относительные значения, %		
	фактический	нормативный расчетный	разница расчетного и фактического	граничный расчетный	фактический	нормативный расчетный	граничный расчетный
1	150889	148609	1,92	172301	0,84%	0,83%	0,96%
2	124478	115181	7,85	138873	0,74%	0,69%	0,83%
3	124051	109209	12,52	137339	0,68%	0,60%	0,76%
4	73313	67621	4,80	95751	0,46%	0,42%	0,60%
5	58394	43834	12,29	71964	0,34%	0,25%	0,42%
6	34975	34419	0,47	50440	0,21%	0,21%	0,30%
7	41714	40036	1,42	56057	0,25%	0,24%	0,33%
8	33770	39449	4,79	55470	0,20%	0,23%	0,32%
9	36283	41155	4,11	69285	0,21%	0,23%	0,39%
10	47345	61402	11,86	89531	0,31%	0,40%	0,58%
11	44800	82362	31,70	110492	0,30%	0,54%	0,73%
12	61886	88972	22,86	112664	0,37%	0,53%	0,67%
1	76167	92113	13,46	115804	0,47%	0,56%	0,71%
2	89256	84414	4,09	108106	0,60%	0,56%	0,72%
3	76606	60573	13,53	88703	0,55%	0,43%	0,63%
4	64430	37560	22,67	65690	0,45%	0,26%	0,46%
5	50710	28529	18,72	56659	0,32%	0,18%	0,36%
6	50006	22559	23,16	38580	0,32%	0,14%	0,25%
7	32389	29907	2,09	45928	0,21%	0,20%	0,30%

**Выводы**

По результатам применения представленного метода нормирования разбаланса газа в ГТС ДК «Укртрансгаз» были разработаны нормативный документ ДК «Укртрансгаз», регламентирующий нормативные ожидаемые и граничные объемы разбаланса газа с учетом режима работы ГТС, и программные средства мониторинга отклонения разбаланса от норматива. Для проведения энергосберегающих мероприятий, планирования модернизации, оптимизации технического обслуживания и ремонта оборудования в ГТС ДК «Укртрансгаз»

применяется расчет нормативных значений разбаланса в задачах прогнозирования. Актуальность уменьшения потерь и повышения точности учета расходов газа определяет необходимость продолжения исследований причин разбаланса газа, дальнейшего развития моделей с повышением точности нормирования погрешности расчета баланса газа.

### Литература

1. *Льченко Б. С.* Аналіз та прогнозування похибки розрахунку балансу газу в системі магістральних газопроводів / Б. С. Льченко, О. О. Прищепо, І. О. Прищепо // Ресурсоенергозбереження у ринкових відносинах: Матеріали XIII міжнарод. конф., 12–16 червня 2006 р. – Київ: ПВП «Задруга», 2006 – С. 135–146.
2. *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]: Сб. докл. – 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.
3. *Исследование* погрешности сведения баланса газа в системе магистральных газопроводов / Б. С. Ильченко, А. А. Прищепо, И. С. Ивасютяк и др. // Пробл. машиностроения. – 2010. – Т. 13, № 1. – С. 76–79.
4. *Афифи А.* Статистический анализ / А. Афифи, С. Эйзен. – М.: Мир, 1982. – 488 с.

Поступила в редакцию  
06.01.13

УДК 519.6

**О. О. Литвин**<sup>\*</sup>, канд. фіз.-мат. наук  
**Н. І. Штепа**<sup>\*</sup>, канд. фіз.-мат. наук  
**С. І. Кулик**<sup>\*\*</sup>, канд. фіз.-мат. наук  
**О. С. Чорна**<sup>\*</sup>

<sup>\*</sup> Українська інженерно-педагогічна академія  
(м. Харків, e-mail: loo71@bk.ru)

<sup>\*\*</sup> Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»  
(e-mail: academ\_mail@ukr.net)

## МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РОЗПОДІЛУ КОРИСНИХ КОПАЛИН МІЖ СИСТЕМОЮ НЕРЕГУЛЯРНО РОЗМІЩЕНИХ ПОХИЛИХ СВЕРДЛОВИН МЕТОДАМИ СПЛАЙН-ІНТЕРЛІНАЦІЇ ФУНКЦІЙ

*Запропонований метод моделювання просторового розподілу корисних копалин за допомогою сплайн-інтерлінації на системі похилих свердловин, розміщених як в одній площині, так і довільним чином. Досліджуються властивості побудованих математичних моделей, а також перспективи їхнього використання для розвідки корисних копалин. Викладено метод побудови операторів інтерлінації функцій трьох змінних, що узагальнює відомий метод Зламала – наближення функцій двох змінних кусково-поліноміальними функціями на трикутниках розбиття.*

*Предложен метод моделирования пространственного распределения полезных ископаемых при помощи сплайн-интерликации функций на системе наклонных скважин, размещенных как в одной плоскости, так и произвольным образом. Исследуются свойства построенных математических моделей, а также перспективы их использования для разведки полезных ископаемых. Изложен метод построения операторов интерликации*