

На правах рукописи



ИГНАТЬЕВ Андрей Анатольевич

УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССОМ ГАЗОСНАБЖЕНИЯ В СИСТЕМЕ  
МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА ТЕРРИТОРИАЛЬНЫХ  
ОРГАНИЗАЦИЙ-ПОСТАВЩИКОВ

**Специальность:** 05.02.23 – Стандартизация и управление качеством  
продукции

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание учёной степени  
кандидата технических наук

Курск – 2013

Работа выполнена в ФГБОУ ВПО «Тульский государственный университет» на кафедре «Инструментальные и метрологические системы»

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор  
Протасьев Виктор Борисович

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор,  
ФГБОУ ВПО «Тульский  
государственный университет»,  
заведующий кафедрой  
«Автоматизированные станочные  
системы»  
Иноземцев Александр Николаевич

кандидат технических наук,  
ФГБОУ ВПО «Юго-Западный  
государственный университет»,  
доцент кафедры «Управление  
качеством, метрология и сертификация»  
Сторублев Максим Леонидович

Ведущая организация: ОАО «Тулаоблгаз»

Защита диссертации состоится 1 марта 2013 г. в 14-00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.105.09 при ФГБОУ ВПО «Юго-Западный государственный университет» по адресу: 305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, д. 94 (конференц-зал).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВПО «Юго-Западный государственный университет».

Автореферат разослан «\_\_\_» января 2013 г.

Учёный секретарь  
диссертационного совета  
Д 212.105.09



В.В. Куц

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** В настоящее время газоснабжение населения и промышленных потребителей газа находится в ведении коммерческих организаций. Сами субъекты газоснабжения являются государственными организациями, частными предприятиями различных форм собственности и физическими лицами, которые должны качественно обслуживаться в соответствии с принципами системы менеджмента качества (СМК) ИСО 9000.

Газоснабжение, как показывает анализ, является по своей сути производственным процессом, часть особенностей которого до настоящего времени подробно не раскрыта, а показатели оценки его качества не получили всестороннего научного обоснования.

Основной причиной исследований в этом направлении стали затруднения в определении объемов поставленного поставщиками и потребленного покупателями газа. На практике эти объемы практически никогда не совпадают. Такое несовпадение принято называть разбалансом, который носит безусловно отрицательный характер и является одним из важнейших показателей качества системы газоснабжения, поскольку приводит либо к неполному расчету потребителей с поставщиком, либо, наоборот, к переплате ими средств поставщику за поставленный газ.

Причинами возникновения разбаланса газа являются: технологические потери при транспортировке газа; несанкционированное вмешательство третьей стороны в систему газораспределения; аварийные ситуации; погрешности измерений объема отпущенного и потребленного газа, вызванные неточностью работы приборов его учета (погрешности случайного характера); нарушение условий измерений объема отпущенного и потребленного газа (погрешности неслучайного характера).

Первые три причины изучались ранее путем моделирования распределения потоков газа в трубопроводах с помощью Компьютерного Аналитического Инструментария (КАИ) «Alfargus», разработанного ЗАО «Физико-технический центр» (г. Саров) с участием ООО «Газпром межрегионгаз Москва», в системе газоснабжения г. Москвы.

Последние две причины до настоящего времени не анализировались, поэтому изучение и профилактика разбаланса потребовали проведения дополнительных специальных исследований и создания квалиметрической оценки качества процесса газоснабжения.

**Степень разработанности проблемы.** В части исследования погрешностей и характера разбаланса газа степень разработанности является начальной, поскольку данный подход к проблеме используется впервые. В части создания квалиметрической оценки качества процесса газоснабжения исследования являются продолжением работ, выполненных в рамках тематики, связанной с управлением качеством.

**Цель работы:** повышение качества процесса газоснабжения путем определения и управления разбалансом газа и введения в практику квалиметрической оценки качества работы газораспределительных станций (ГРС), что является основой создания СМК для территориальных организаций-поставщиков по другим объектам производственного процесса.

Для достижения поставленной цели сформулированы и решены следующие **задачи исследования:**

1. Разработка методов оценки погрешностей определения объемов поставки, потребления газа и их разбаланса, возникающих вследствие погрешностей измерительной техники.

2. Установление значимости разбаланса газа (случайности или неслучайности причин его возникновения) и разработка методики распределения разбаланса, имеющего случайный характер, между поставщиком и потребителями газа.

3. Оценка статистической управляемости процесса газоснабжения в части возникновения и значимости разбаланса с помощью контрольных карт Шухарта.

4. Выявление совокупности единичных показателей качества, необходимых для формирования комплексного показателя качества процесса газоснабжения и разработка методики их количественного выражения.

5. Определение комплексной оценки качества на уровне типичного объекта системы газоснабжения — ГРС.

**Методология и методы исследования.** При выполнении работы использовались: методология теории вероятностей и математической статистики, методы расчета размерных цепей, статистические критерии проверки правдивости гипотез, метод имитационного моделирования, методы обработки результатов косвенных измерений, методы построения и анализа контрольных карт Шухарта, принципы построения квалиметрических оценок качества.

**Область исследований.** Содержание диссертационного исследования соответствует п.2 «Стандартизация, метрологическое обеспечение, управление качеством и сертификация» и п.4 «Квалиметрические методы оценки качества объектов, стандартизации и процессов управления качеством» паспорта научной специальности 05.02.23 – «Стандартизация и управление качеством продукции» (технические науки).

**Положения, выносимые на защиту:**

- метод оценки значений погрешностей разбаланса объемов газа, основанный на расчете случайных погрешностей результатов измерений и теории расчета размерных цепей;

- метод анализа причин возникновения разбаланса газа в системе газоснабжения, основанный на статистическом анализе погрешностей учета объемов потребленного и поставленного газа;

- результаты анализа статистической управляемости процесса газоснабжения по разбалансу, основанные на контрольных картах Шухарта;

- система единичных показателей качества процесса газоснабжения и квалиметрическая оценка качества функционирования ГРС.

**Научная новизна результатов исследования** состоит из следующих элементов:

- разработки метода установления характера причин возникновения разбаланса объемов поставленного и потребленного газа и методики его распределения между участниками процесса газоснабжения;

- создании системы комплексной оценки качества функционирования ГРС, позволяющей вырабатывать корректирующие воздействия на единичные показатели качества, улучшающие состояние системы газоснабжения в целом.

**Теоретическое значение результатов работы** заключается в том, что:

- разработанный метод анализа значимости разбаланса газа позволил выявить причины его возникновения при управлении качеством процесса газоснабжения;
- предложенная комплексная квалиметрическая оценка качества функционирования ГРС повышает уровень возможности управления качеством процесса газоснабжения.

**Практическое значение результатов работы** заключается в:

- выявлении причин возникновения разбаланса газа, выработке наиболее эффективных методов его устранения и обоснования его допустимых значений;
- создании методики квалиметрической оценки качества, позволяющей объективно проанализировать состояние процесса газоснабжения на уровне ГРС и при необходимости выработать корректирующие воздействия, повышающие качество ее работы.

**Степень достоверности результатов.** Достоверность полученных результатов обеспечена использованием стандартных статистических методов проверки гипотез о природе возникновения разбаланса, корректным применением методов оценки статистической управляемости процесса газоснабжения в части возникновения и значимости разбаланса, а также проработанных теоретически и апробированных на практике методов квалиметрической оценки единичных показателей качества для определения комплексного показателя качества процесса газоснабжения.

**Рекомендации по использованию результатов работы.** Результаты работы могут использоваться для совершенствования управления процессом газоснабжения на уровне ГРС и далее до конечных потребителей, а также для улучшения системы взаиморасчетов между поставщиком и потребителями за соответствующие объемы газа. Предложенные в работе методы и методики могут служить основой для разработки документации по СМК территориальных организаций-поставщиков и использоваться при взаимных расчетах за другие ресурсы (электричество, воду, тепло и т.д.).

**Публикации и апробация работы.** По тематике исследований опубликовано 11 работ, из них 1 без соавторов и 8 в ведущих рецензируемых журналах, включенных в список ВАК.

Основные положения работы докладывались на Международных конференциях: «Компьютерные технологии поддержки принятия решений в диспетчерском управлении газотранспортными и газодобывающими системами» (г. Москва, 2009, 2012 гг.); на семинаре-совещании дочерних компаний ООО «Газпром межрегионгаз» (г. Казань, 2012 г.); на научной конференции профессорско-преподавательского состава ТулГУ( г. Тула, 2010, 2011, 2012 гг.).

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, четырех разделов, заключения и библиографического списка. Содержит 158 страниц машинописного текста, 31 таблицу, 24 рисунка, библиографический список из 106 наименований. Общий объем диссертации 171 страница.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Во введении** обоснована актуальность работы, изложена ее структура

и кратко раскрыто содержание разделов диссертации.

**В первом разделе** проведен анализ работ, связанных с изучением состояния системы газоснабжения с точки зрения наличия в ней разбаланса  $V_p$  между объемами потребленного  $V_{\text{потр}}$  и поставленного  $V_{\text{пост}}$  газа, определенными по приборам учета потребителей и поставщика соответственно:

$$V_p = V_{\text{потр}} - V_{\text{пост}} \quad (1)$$

Выполнен анализ предшествующих исследований, среди которых наиболее важным является моделирование работы системы газоснабжения с помощью КАИ «Alfargus», разработанного ЗАО «Физико-технический центр» (ФТЦ, г. Саров). Целью исследований являлся научно обоснованный поиск источников разбаланса природного газа, реализованного потребителям в течение суток, на базе численного решения идентификационной задачи в рамках согласованных режимов функционирования Московского кольцевого газопровода (МКГ). Такой подход позволил определить только сектор системы, на котором возможны несанкционированные вмешательства, приводящие к разбалансу. Однако, в ходе работ не проводился анализ погрешностей существующих средств измерений поставленного и потребленного газа и, как следствие, связанных с ними разбалансов, а также не определялись конкретные причины их появления.

Вопросам моделирования работы газораспределительных трубопроводов посвящены исследования отечественных ученых, результаты которых нашли свое отражение в работах Чарного И.А., Сухарева М.Г., Сарданашвили С.А., Хасилева В.Я., Меренкова А.П., Сенновой Е.В., Селезнева В.Е., Алешина В.В., Прялова С.Н., Киселева В.В. и многих других.

Установлено, что в настоящем виде система газоснабжения не адаптирована к системе менеджмента качества ИСО 9000.

На основании вышеизложенного определена цель работы и сформулированы задачи исследования.

**Во втором** разделе рассматривалась метрологическая оценка системы учета газа при поставках его потребителям. Для этого анализировалась схема газоснабжения между поставщиком и потребителями в соответствии рис. 1.

Схема с правой стороны по своей сути напоминает размерную цепь (рис. 2), в которой происходит суммирование объемов  $V_1, \dots, V_i, \dots, V_n$  с соответствующими

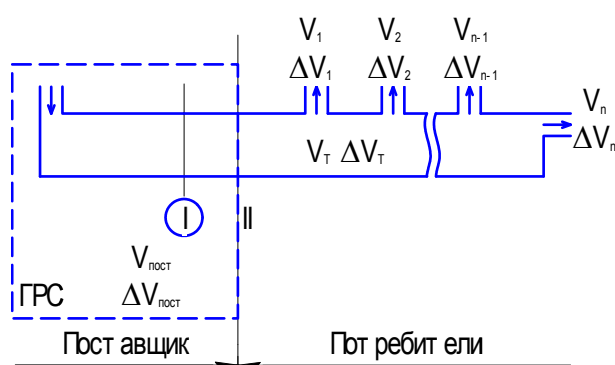


Рисунок 1 – Схема газораспределения: I – место измерения расхода газа у поставщика; II – условная линия разделения газопровода между потребителями и поставщиком.

погрешностями  $\Delta V_1, \dots, \Delta V_i, \dots, \Delta V_n$ , и в итоге объем газа  $V_{\text{потр}}$  определяется суммированием объемов  $V_i$  с некоторой суммарной погрешностью  $\Delta V_{\text{потр}}$ .

Объем  $V_{\text{потр}}$  с погрешностью  $\Delta V_{\text{потр}}$  можно определить с помощью линейной размерной цепи (рис. 3), имеющей составляющие звенья  $V_1, \dots, V_i, \dots, V_n$  и замыкающее звено  $V_{\text{потр}}$ .

Известно, что размерные цепи решаются на полную и неполную взаимозаменяемость. В работе был рассмотрен вариант теоретико-вероятностного (неполной взаимозаменяемости) расчета размерных цепей, поскольку именно он соответствует наиболее объективному учету погрешности замыкающего звена  $\Delta V_{\text{потр}}$ .

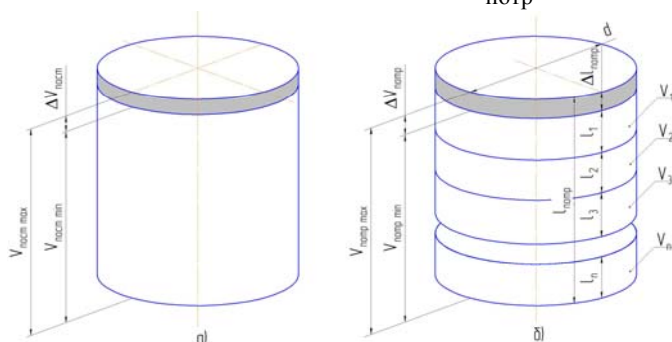


Рисунок 2 – Определение погрешностей объемов газа: а – на ГРС; б – у потребителей.

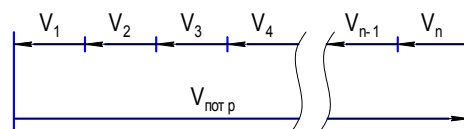


Рисунок 3 – Размерная цепь, определяющая суммарный объем  $V_{\text{потр}}$ .

Адаптация методики расчета линейных размерных цепей к цепям, в которых звеньями являются объемы газа, позволила перейти к формуле для определения погрешности измерения объема потребленного газа  $\Delta V_{\text{потр}}$ , сохранив при этом ее наглядную графическую иллюстрацию (рис. 2 и 3):

$$\Delta V_{\text{потр}} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \Delta V_i^2}, \quad (2)$$

где  $\Delta V_i$  – погрешность учета газа, зафиксированного прибором учета  $i$ -го потребителя соответственно.

Данная методика позволила оценить погрешность учета объема полученного газа потребителями  $V_{\text{потр}}$  и сопоставить ее с погрешностью объема поставленного газа  $V_{\text{пост}}$ . Сравнение показало, что при близком уровне точности используемых средств учета суммарная погрешность измерения полученного газа  $\Delta V_{\text{потр}}$  оказалась значительно меньше, чем погрешность объема поставленного газа  $\Delta V_{\text{пост}}$ . Для рассматриваемой в работе ГРС Литвиново указанные погрешности отличаются в 2,7 раза, а для ГРС Электрогорск — в 1,5 раза. Отсюда следует, что поставщик газа для обеспечения объективности и точности оценок поставленного газа должен использовать приборы учета, значительно превосходящие по точности аналогичные приборы потребителей, причем, чем больше потребителей и значительнее объемы потребляемого ими газа, тем выше требования к точности приборов учета поставщика.

Поскольку при штатных ситуациях разбаланс газа может быть только следствием наличия погрешностей измерений объемов  $V_{\text{потр}}$  и  $V_{\text{пост}}$ , то для установления значимости этой причины (доказательства того, что ситуация является штатной) был разработан метод статистического анализа погрешностей учета объемов газа  $V_{\text{потр}}$  и  $V_{\text{пост}}$ .

Причина признается значимой, если абсолютная величина разбаланса  $|V_p|$  меньше или равна случайной погрешности  $\Delta V_p$ , с которой разбаланс можно определить с помощью средств учета газа поставщика и потребителей:

$$|V_p| \leq \Delta V_p. \quad (3)$$

Это неравенство отражает свойство случайной величины быть значимой только в том случае, когда ее значение превосходит погрешность, с которой она может быть определена. Выполнение данного неравенства с принятой доверительной вероятностью позволяет сделать вывод о том, что разбаланс является следствием погрешностей измерений, а невыполнение — говорит о том, что разбаланс возник неслучайно, т.е. ситуация является нештатной.

Погрешность  $\Delta V_p$  определяется по следующей формуле:

$$\Delta V_p = \sqrt{(\Delta V_{\text{пост}})^2 + (\Delta V_{\text{потр}})^2}. \quad (4)$$

Если разбаланс газа вызван нештатными причинами, то свести его к допустимым значениям можно только устранив эти причины.

Если разбаланс возник при штатных ситуациях, то воздействовать на него можно, только повысив точность используемых средств учета объемов газа.

В существующей практике газоснабжения это является достаточно сложной организационно-технической задачей. Поэтому для уменьшения ущерба какой-либо стороне газоснабжения от возникшего разбаланса предлагается методика его распределения между всеми участниками процесса газоснабжения. Стороны (в случаях отрицательного разбаланса) или одна из сторон (поставщик — в случаях положительного разбаланса) компенсируют часть стоимости разбаланса пропорционально погрешности средств учета объема газа. С этой целью определяется доля  $D_i$  разбаланса, приходящаяся на каждого участника процесса газоснабжения:

$$D_i = (\Delta V_i / \Delta V_p)^2, \quad (5)$$

где  $\Delta V_i$  — абсолютная погрешность приборов учета каждого участника процесса газоснабжения.

Такое распределение долей участия в оплате разбаланса является научно обоснованным и справедливым, поскольку учитывает через абсолютную погрешность два источника разбаланса — относительную погрешность и объем потребляемого газа. Пропорциональность долей квадратам погрешностей измерения объема обусловлена способом их сложения при расчете общей погрешности разбаланса, т.е. вероятностным подходом.

Для определения значения объема газа  $V_i$ , который должны компенсировать стороны, необходимо долю  $D_i$  умножить на абсолютную величину разбаланса:

$$V_i = D_i \cdot |V_p|. \quad (6)$$

Однако задача взаимной компенсации разбаланса  $V_p$  с учетом ранее приведенных зависимостей может решаться только на добровольной основе или при наличии необходимых нормативных документов и с учетом ранее приведенных зависимостей.

Проверить неравенство (3) напрямую не всегда удастся, поскольку при значительном количестве потребителей не всегда возможно получить информацию о погрешностях их средств учета объемов газа. Для этого случая разработан метод проверки значимости разбаланса, базирующийся на



ГОСТ Р 50779.23-2005 и основанный на представлении разбаланса в виде случайной величины с нулевым математическим ожиданием. Поэтому, проверяя ежедневные значения разбаланса за установленный календарный период, можно установить степень его изменчивости (погрешность) и проверить гипотезу о значимости этого разбаланса. Для этого необходимо проверить условие:

$$|\bar{d}| < (t_{1-\alpha/2}(v) / \sqrt{n}) \cdot S_d, \quad (7)$$

где  $\bar{d}$  – среднее значение ежедневного разбаланса за рассматриваемый календарный период;  $S_d$  – оценка СКО разностей между текущим и средним значением разбаланса в  $i$ -й момент времени;  $t_{1-\alpha/2}(v)$  – квантиль распределения вероятности Стьюдента;  $\alpha$  – уровень значимости,  $\alpha = 1 - P$  ( $P$  – доверительная вероятность, с которой проверяется гипотеза);  $v = n - 1$  – число степеней свободы;  $n$  – число дней календарного периода.

Данный метод был применен для установления значимости разбаланса при газоснабжении потребителей г. Москвы в летние и зимние периоды. Проверка показала, что разбаланс за выбранные календарные периоды времени не является случайным и возникает не по причине погрешностей средств учета объемов газа. Это позволило поставщику сконцентрировать внимание на исследовании условий измерения объемов отпущенного газа и выявить причину возникновения разбаланса — нарушение этих условий.

Статистическая управляемость любого процесса является одним из важнейших признаков его качества. Для анализа статистической управляемости процесса газоснабжения использовались контрольные карты Шухарта, которые позволяют определить индекс возможностей процесса  $PCI$ :

$$PCI = \frac{\text{допуск процесса}}{\text{разброс процесса}} = \frac{UTL - LTL}{6\hat{\sigma}}, \quad (8)$$

где  $UTL$  – верхнее предельное допустимое значение контролируемого параметра;  $LTL$  – нижнее предельное допустимое значение контролируемого параметра;  $\hat{\sigma}$  – оценка средней изменчивости внутри исследуемых подгрупп.

Поскольку регламентированных значений  $UTL$  и  $LTL$  для разбаланса газа не существует, то будем считать приемлемым в день объем разбаланса 0,5% от среднесуточного объема  $\bar{V}_{\text{пост}}$  поставленного газа в месяц. Следовательно, рекомендуемый допуск процесса по разбалансу  $V_{\text{рек}}$  будет:

$$V_{\text{рек}} = 0,005 \cdot \bar{V}_{\text{пост}}. \quad (9)$$

где  $\bar{V}_{\text{пост}}$  – среднесуточный объем поставленного газа в месяц.

Следовательно, формулу (8) можно записать в следующем виде:

$$PCI = V_{\text{рек}} / 6\hat{\sigma} = 0,005 \cdot \bar{V}_{\text{пост}} / 6\hat{\sigma}. \quad (10)$$

Используя индекс возможностей, можно определить фактический разброс процесса по разбалансу, принимая значение  $PCI = 1,33$ :

$$V_{\text{факт}} = 1,33 \cdot \text{разброс процесса} = 1,33 \cdot 6\hat{\sigma}. \quad (11)$$

Далее, сравнив фактический  $V_{\text{факт}}$  разброс и рекомендуемый  $V_{\text{рек}}$  допуск, делается вывод о нахождении процесса в допустимых границах.

Проведенный анализ качества процесса газоснабжения по разбалансу с помощью контрольных карт Шухарта показал, что он находится в статиче-

ски неуправляемом состоянии. Кроме этого, неприемлемым является значение индекса возможностей процесса PCI во всех исследуемых случаях (меньше 1). Выявлено значительное превышение фактического допуска процесса по сравнению с допустимым.

Результаты данных исследований полностью согласуются с результатами проверки значимости разбаланса, по методу, базирующемуся на ГОСТ Р 50779.23-2005.

В заключение раздела был проведен расчет обоснованного значения  $V_p^{отн}$  допустимого разбаланса в относительном виде. Это значение определялось следующим образом:

$$V_p^{отн} = (\Delta V_p / V_{пост}) \cdot 100\% . \quad (12)$$

Расчеты показали, что для ГРС Литвиново величина погрешности составляет  $V_p^{отн} = 5,32\%$ , а для ГРС Электрогорск —  $V_p^{отн} = 2,92\%$ . Такие значения являются достаточно большими, однако уменьшить их можно только заменой используемых средств учета на более точные прежде всего у поставщика и у потребителей, получающих наибольшее количество газа.

**В третьем** разделе были рассмотрены вопросы расчета погрешностей, связанных с переводом результатов измерений объема газа из рабочих условий в стандартные.

Для этого осуществляется соответствующий пересчет:

$$V_n = \frac{T_n \cdot V_g \cdot (P + P_b)}{P_n \cdot (273,15 + t_g) \cdot K_{сж}} , \quad (13)$$

где  $V_n$  — объем отпущенного или потребленного газа, приведенный к стандартным условиям,  $m^3$ ;  $T_n$  — постоянный температурный коэффициент,  $T_n = 293,15$  К;  $P_n$  — константа давления,  $P_n = 1,033$  кгс/см<sup>2</sup>;  $K_{сж}$  — коэффициент сжимаемости, рассчитывающийся в зависимости от измеренных значений давления, температуры и состава газа (в расчетах принят за условно постоянную величину  $K_{сж} = 1$ );  $V_g$  — объем газа, измеряемый прибором учета,  $m^3$ ;  $P$  — давление газа, измеряемое датчиком давления, кгс/см<sup>2</sup>;  $P_b$  — давление газа, измеряемое датчиком барометрического давления, кгс/см<sup>2</sup>;  $t_g$  — температура газа в трубопроводе, измеряемая термометром сопротивления, °С.

Параметры  $V_g$ ,  $P$ ,  $P_b$  и  $t_g$  измеряются в реальных условиях эксплуатации трубопровода. Эти параметры являются результатами измерений и несут в себе случайные погрешности, наличие которых при пересчете объемов не учитывается, что может привести к дополнительным погрешностям приведенных к стандартным условиям объемов газа, и, как следствие, к увеличению разбаланса, вызванного этими погрешностями.

Для исследования данной ситуации была разработана методика, позволяющая учесть погрешности результатов измерений параметров состояния газа в общей погрешности измерения его объема в стандартных условиях. Она основана на расчете погрешностей результатов косвенных измерений:

$$S_{V_n} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left( \frac{\partial f}{\partial Q_i} \cdot S_{Q_i} \right)^2} , \quad (14)$$

где  $S_{V_n}$  – оценка СКО результата измерения объема, приведенного к стандартным условиям;  $S_{Q_i}$  – оценки СКО результатов прямых измерений величин  $Q_i$  (в нашем случае под величинами  $Q_i$  понимаются параметры  $V_g$ ,  $P$ ,  $P_b$  и  $t_g$ ). Эти оценки приведены в технической документации на средства измерений данных параметров;  $\frac{\partial f}{\partial Q_i}$  – частные производные функции  $f$ , связывающей результат косвенного измерения с результатами прямых измерений, по аргументам  $Q_i$ , т.е. по параметрам  $V_g$ ,  $P$ ,  $P_b$  и  $t_g$ .

Используя зависимости (13) и (14), паспортные данные по средствам измерений и результаты измерений параметров  $V_g$ ,  $P$ ,  $P_b$  и  $t_g$ , можно оценить погрешность  $\Delta_{V_n}$  приведенного к стандартным условиям объема газа  $V_n$ . В расчетах использовались следующие результаты измеренных параметров и относительных погрешностей их средств измерения:  $V_g = 2500 \text{ м}^3$ ,  $\delta V_g = \pm 1 \%$ ,  $P = 3 \text{ кгс/см}^2$ ,  $\delta P = \pm 0,4 \%$ ,  $P_b = 1,033 \text{ кгс/см}^2$ ,  $\delta P_b = \pm 0,4 \%$ ,  $t_g = 10 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $\delta t_g = \pm 0,1 \%$ . При доверительной вероятности 0,9973 величина погрешности объема  $V_n$  составила:

$$\Delta_{V_n} = t \cdot S_{V_n} = 3 \cdot 36 = 108 \text{ м}^3,$$

где  $t$  – ширина относительного доверительного интервала.

Относительная погрешность  $\delta V_n$  от номинальной величины составила  $\delta V_n = 108/10207 = 0,0106 = 1,06 \%$ .

По результатам расчетов, был сделан вывод о необходимости исследования влияния погрешностей результатов измерений отдельных параметров  $V_g$ ,  $P$ ,  $P_b$  и  $t_g$  на общую погрешность объема газа  $V_n$ . Для этого поделив обе его части уравнения (14) на величину  $S_{V_n}$  и возведя их в квадрат, можно перейти к уравнению (15):

$$1 = \sum_{i=1}^n \left( \frac{\partial f}{\partial Q_i} \cdot \frac{S_{Q_i}}{S_{V_n}} \right)^2 \quad (15)$$

Величина  $\delta V_n(Q_i) = \left( \frac{\partial f}{\partial Q_i} \cdot \frac{S_{Q_i}}{S_{V_n}} \right)^2$  показывает относительный вклад

погрешности каждого из параметров  $V_g$ ,  $P$ ,  $P_b$  и  $t_g$  в общую погрешность  $\delta V_n$  объема газа  $V_n$ . Значения вкладов в общую погрешность  $\delta V_n$  получились следующими:  $\delta V_n(V_g) = 90,99\%$ ;  $\delta V_n(P) = 8,06\%$ ;  $\delta V_n(P_b) = 0,96\%$ ;  $\delta V_n(t_g) \approx 0\%$ .

Эти данные показывают, что погрешности измерения параметров  $P$ ,  $P_b$  и  $t_g$  практически не оказывают влияния на погрешность объема газа  $V_n$ . Это означает, что приведение объема газа к стандартным условиям осуществляется объективно, практически без образования дополнительных погрешностей.

**В четвертом** разделе были рассмотрены вопросы оценки качества процесса газоснабжения. Поскольку ранее таких оценок с позиций квалиметрии не выполнялось, возникла необходимость в разработке единичных показателей качества (ЕПК) и методов их определения. Для этого в первую очередь были проведены опросы представителей всех сторон газоснабжения, выступивших в роли экспертов, что позволило выявить наиболее важные характеристики процесса газоснабжения, которые были приняты за ЕПК. Также с помощью результатов опросов, документально зафиксированных в опросных листах, определена степень важности каждого из ЕПК в виде весовых коэффициентов  $g_i$ .

Всего было установлено шесть ЕПК. Состав ЕПК выглядит следующим образом:  $Q_1$  – бесперебойность поставки газа ( $g_1 = 0,181$ );  $Q_2$  – обеспечение установленного давления газа ( $g_2 = 0,161$ );  $Q_3$  – обеспечение качества показателей газа по ГОСТ 5542-87 ( $g_3 = 0,159$ );  $Q_4$  – минимизация величины разбаланса газа между поставщиком и потребителями ( $g_4 = 0,164$ );  $Q_5$  – безопасность системы газоснабжения ( $g_5 = 0,182$ );  $Q_6$  – модернизация оборудования в системе газоснабжения ( $g_6 = 0,153$ ). Сумма весовых коэффициентов  $\sum g_i = 1$ .

Задача расчета самих ЕПК в виде относительной бальной оценки оказалась достаточно сложной. Для ее решения использовались следующие принципы квалиметрии:

1. Значение показателя, не вызывающее никаких нареканий, оцениваются единицей, отклонение в худшую или лучшую сторону — уменьшением или увеличением ЕПК от единицы.

2. Если потребителей и поставщика полностью устраивает попадание оцениваемого показателя в допустимый интервал значений, то отклонение от единицы определяется только в случае выхода этого параметра за допустимые границы — как относительное отклонение от одной из них.

Рассмотрим в соответствии с ранжированным рядом ( $g_5 > g_1 > g_4 > g_2 > g_3 > g_6$ ) относительную бальную оценку каждого ЕПК.

Относительная бальная оценка ЕПК «Безопасность системы газоснабжения»:

$$Q_5 = 1 - \text{ПЧР} / \text{ПЧР}_{\max}, \quad (16)$$

где ПЧР – приоритетное число рисков, принимаемое для процесса газоснабжения в соответствии со шкалой баллов значимости дефектов для FMEA производственного процесса, адаптированного к процессу газоснабжения;  $\text{ПЧР}_{\max}$  – максимально возможное приоритетное число рисков для процесса газоснабжения.

Относительная бальная оценка ЕПК «Бесперебойность поставки газа»:

$$Q_1 = 1 - \sum_{j=1}^n (a_j / \Pi_j) = 1 - \sum_{j=1}^n ((\Pi_j - \Pi_{\phi}) / \Pi_j), \quad (17)$$

где  $a_j$  – отрицательные или положительные отклонения (недовыполнение или перевыполнение поставок газа за установленный период) по всем потребителям газа;  $\Pi_j$  – плановые задания на поставку газа за установленный период;  $\Pi_{\phi}$  – фактически поставленные объемы за этот же период;  $n$  – количество анализируемых потребителей газа.

Относительная бальная оценка ЕПК «Минимизация величины разбаланса» определяется по формуле, в которой учтено, что величина разбаланса не может на практике равняться 0 (из-за погрешностей приборов учета), а допустимы лишь незначительные отклонения от этого значения:

$$Q_4 = 1 - (K_c^\gamma - K_c |V_p|/V_p^{\text{рек}}), \quad (18)$$

где  $|V_p|$  – абсолютное значение величины разбаланса, определенное по приборам учета поставщика и потребителей газа за некоторый календарный период времени;  $V_p^{\text{рек}}$  – рекомендуемая величина разбаланса, которая принимается равной погрешности  $\Delta V_p$  его определения, т.е.  $\Delta V_p = V_p^{\text{рек}}$ ;  $K_c$  – стимулирующий коэффициент;  $\gamma$  – показатель, равный некоторому отношению  $|V_p|/V_p^{\text{рек}}$ , при котором оценку  $Q_4$  можно принять равной 1.

Эксперты должны сами определить рекомендуемые предельные значения оценки ЕПК  $Q_4$  при отсутствии разбаланса, которое должно находиться в интервале от 0 до 2, не достигая верхнего предела. Также эксперты назначают такое значение возможного фактического разбаланса, которое не приводит к существенным убыткам поставщика и может быть оценено значением бальной оценки, равной единице. Этим они оценивают ключевые точки значения единичного показателя качества, описывающего разбаланс в самом оптимальном состоянии системы газоснабжения. Остальные показатели — стимулирующий коэффициент  $K_c$  и показатель степени при нем  $\gamma$  рассчитываются исходя из уже заданных экспертами значений ключевых значений ЕПК  $Q_4$ . При необходимости значение данного единичного показателя качества можно ограничить «правилом Вето».

Относительная бальная оценка ЕПК «Обеспечение установленного давления газа»:

$$Q_2 = 1 - \Delta P / P_{\text{эт}}, \quad (19)$$

где  $\Delta P$  – отклонение фактического давления от максимально или минимально допустимого, определяемого проектом газопровода  $\Delta P = |P_{\text{max,min}} - P_{\text{ф}}|$ ;  $P_{\text{эт}}$  – эталонное значение давления, принятое в нашем случае равным его среднему значению  $P_{\text{эт}} = (P_{\text{min}} + P_{\text{max}})/2$ . Если измеренное значение давления  $P_{\text{ф}}$  попадает в интервал допустимых значений  $[P_{\text{min}}; P_{\text{max}}]$ , то отклонение фактического давления от максимального или минимального принимается равным нулю, т.е.  $\Delta P = 0$ .

Относительная бальная оценка ЕПК «Обеспечение состава газа по ГОСТ 5542-87»:

$$Q_3 = m^{-1} \cdot \sum_{j=1}^m ((F_{\text{э}j} \pm \Delta F_j) / F_{\text{э}j}), \quad (20)$$

где  $F_{\text{э}j}$  – эталонные значения показателя качества  $j$ -го объекта  $F_j$ ;  $\Delta F_j$  – отклонение показателя  $j$ -го объекта  $F_j$  от эталонного значения  $F_{\text{э}j}$ , определенные при контроле проб, изымаемых по ГОСТ 31370;  $m$  – количество показателей (по ГОСТ 5542-87 их 8).

Относительная бальная оценка ЕПК «Модернизация оборудования в

системе газоснабжения»:

$$Q_6 = \sum_{j=1}^m (1 - t_j (M_{lj} - M_{nj}) / M_{lj}), \quad (21)$$

где  $M_{lj}$  – показатели фирмы-лидера, которая имеет наивысшие экономические и технические показатели;  $M_{nj}$  – показатели оцениваемой фирмы (в нашем случае ГРС);  $t_j$  – весовые коэффициенты оценочных параметров;  $m$  – количество параметров, учитываемых при оценке модернизации оборудования.

В соответствии с изложенной выше методикой были получены следующие значения относительных балльных оценок ЕПК для ГРС Литвиново (выстроены в порядке степени их важности):  $Q_5 = 0,900$ ;  $Q_1 = 0,909$ ;  $Q_4 = 1,070$ ;  $Q_2 = 1$ ;  $Q_3 = 1,168$ ;  $Q_6 = 0,740$ .

Комплексный показатель качества (КПК)  $\hat{Q}$  процесса газоснабжения рассчитывается следующим образом:

$$\hat{Q} = \sum_{i=1}^n g_i Q_i, \quad (22)$$

Согласно зависимости (22) значение КПК получилось равным  $\hat{Q} = 0,962$ . В случае, если качество процесса газоснабжения близко к идеальному, значение КПК должно быть равным 1 или даже его несколько превосходить. Отсюда можно сделать вывод, что близость полученного значения КПК к единице говорит о высоком качестве процесса газоснабжения для рассматриваемой ГРС. Данная методика оценки качества процесса газоснабжения на уровне ГРС предлагается к использованию при подготовке документации СМК в ООО «Газпром межрегионгаз Москва».

## ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

В результате выполненного комплексного теоретико-экспериментального исследования в работе решена актуальная научная задача по повышению качества процесса газоснабжения путем определения и управления разбалансом газа. Для ГРС, как типичного объекта системы газоснабжения, разработана совокупность показателей, позволяющих всесторонне оценить качество работы и определить содержание и направление дальнейшего развития. При этом получены следующие основные **результаты** и сделаны **выводы**:

1. Разработан метод для оценки погрешностей определения объемов поставленного и потребленного газа и возникающего разбаланса, базирующийся на статистическом анализе значимости разбаланса и на теоретико-вероятностном методе расчета размерных цепей. Данный метод позволил определить характер разбаланса (случайный или неслучайный) и его обоснованные допустимые значения. Такой подход дает возможность выработать наиболее эффективные способы уменьшения разбаланса до приемлемых значений.

2. Разработана методика оценки обоснованной величины разбаланса и распределения его между субъектами процесса газоснабжения, основанная на выделении доли в общей погрешности разбаланса, вносимой поставщиком и потребителями газа. Установлено, что поставщик газа вносит наибольшую долю в общую погрешность и, следовательно, несет наибольшую

ответственность за разбаланс. Такой подход позволяет уменьшить долю неопределенности в учете объемов поставленного и потребленного газа.

3. Оценка статистической управляемости процесса газоснабжения в части возникновения и значимости разбаланса с помощью контрольных карт Шухарта позволила установить, что данный процесс в течение проанализированных календарных периодов времени находился в статистически неуправляемом состоянии. Это свидетельствует о неслучайном характере разбаланса объемов поставленного и потребленного газа, т.е. о наличии у поставщика технологических потерь, несанкционированного вмешательства в газораспределительную сеть или нарушении условий измерений при учете объемов поставленного газа.

4. Установлено, что значения разбаланса, обусловленного погрешностями средств учета, для ГРС Литвиново ( $V_p^{\text{отн}} = 5,32\%$ ) и для ГРС Электрогорск ( $V_p^{\text{отн}} = 2,92\%$ ) являются весьма значительными. Их уменьшение возможно только путем замены используемых средств учета на более точные. Это относится, прежде всего, к поставщику, а также потребителям, получающим наибольшее количество газа.

5. Установлено, что погрешность приведения результатов измерений объема газа к стандартным условиям определяется в основном погрешностью его измерения в рабочих условиях. При этом погрешности измерения других параметров (рабочего давления, барометрического давления, температуры газа) не оказывают существенного влияния на погрешность приведения объема газа из рабочих условий в стандартные.

6. Разработана методика оценки качества процесса газоснабжения на уровне типичного представителя газораспределительной системы — ГРС. Качество процесса газоснабжения описывается комплексным показателем, основанным на принципах квалиметрии и включающим в себя совокупность рассчитываемых единичных показателей с соответствующими весовыми коэффициентами. Данная методика позволяет объективно проанализировать состояние качества процесса газоснабжения на уровне ГРС и при необходимости выработать корректирующие воздействия, повышающие качество ее работы.

7. Результаты исследований внедрены в ООО «Газпром межрегионгаз Москва», что позволило снизить объем разбаланса газа при поставках потребителям и оперативно проводить мероприятия, направленные на определение и устранение причин его возникновения.

## **СПИСОК НАУЧНЫХ РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**

### **Научные работы в рецензируемых научных журналах и изданиях:**

1. Игнатьев А.А. Оценка причины разбаланса объемов газа в системе «поставщик-потребитель» / Игнатьев А.А. // Газовая промышленность. 2010. № 6. С. 20-22.
2. Игнатьев А.А. Анализ статистической управляемости процесса разбаланса газа с помощью построения контрольных карт Шухарта / Протасьев В.Б., Белов Д.Б., Игнатьев А.А. // Известия ТулГУ. Технические науки. Вып. 2: в 2 ч. Тула: Изд-во ТулГУ, 2010. Ч. 1. С. 187-195.
3. Игнатьев А.А. Проверка статистической гипотезы о совпадении резуль-

татов учета поставленного и потребленного газа / Протасьев В.Б., Белов Д.Б., Игнатьев А.А. // Известия ТулГУ. Технические науки. Вып. 6: в 2 ч. Тула: Изд-во ТулГУ, 2011. Ч. 2. С. 413-419.

4. Игнатьев А.А. Комплексная оценка качества бытовых газовых счетчиков / Белов Д.Б., Игнатьев А.А., Масенков Е.В. // Известия ТулГУ. Технические науки. Вып. 6: в 2 ч. Тула: Изд-во ТулГУ, 2011. Ч. 2. С. 426-431.

5. Игнатьев А.А. Пути повышения точности измерений объемов поставленного природного газа / Белов Д.Б., Игнатьев А.А. // Известия ТулГУ. Технические науки. Вып. 6: в 2 ч. Тула: Изд-во ТулГУ, 2011. Ч. 2. С. 440-443.

6. Игнатьев А.А. Оценка величины разбаланса объемов поставленного и потребленного газа с использованием методики расчета случайных погрешностей / Игнатьев А.А., Белов Д.Б. // Вестник Тамбовского университета. Сер. Естественные и технические науки. Т. 17. Вып. 3. Тамбов, 2012. С. 1014-1017.

7. Игнатьев А.А. Определение экспертной оценки единичного показателя качества системы газоснабжения «минимизация величины разбаланса» / Белов Д.Б., Игнатьев А.А., Соловьев С.И. // Известия ТулГУ. Технические науки. Вып. 4. Тула: Изд-во ТулГУ, 2012. С. 121-126.

8. Игнатьев А.А. Обоснование интервального представления результатов измерений объемов природного газа / Белов Д.Б., Игнатьев А.А., Соловьев С.И. // Известия ТулГУ. Технические науки. Вып. 4. Тула: Изд-во ТулГУ, 2012. С. 127-129.

#### **Научные работы в других изданиях:**

1. Игнатьев А.А. Компьютерная технология мониторинга объемов и источников разбаланса в поставках природного газа по московскому кольцевому газопроводу / Селезнев В.Е., Киселев В.В., Комиссаров А.С., Игнатьев А.А. // Сборник тезисов докладов IV МНТК «Компьютерные технологии поддержки принятия решений в диспетчерском управлении газотранспортными и газодобывающими системами» (Discom 2009) (28-30 апреля 2009 года, г. Москва). М.: ООО «ВНИИГАЗ», 2009. С. 55.

2. Игнатьев А.А. Проблема погрешности измерений при коммерческом учете ресурса (на примере поставки природного газа) / Белов Д.Б., Игнатьев А.А., Соловьев С.И. // Методы оценки соответствия. 2012. № 9. С. 20-24.

3. Игнатьев А.А. Функциональные возможности и опыт применения компьютерной аналитической системы для автоматизированного поиска источников разбалансов в закольцованной газораспределительной системе / Игнатьев А.А., Киселев В.В., Селезнев В.Е. // Сборник тезисов докладов V МНТК «Компьютерные технологии поддержки принятия решений в диспетчерском управлении газотранспортными и газодобывающими системами» (Discom 2012) (24-26 октября 2012 года, г. Москва). М.: ООО «ВНИИГАЗ», 2012. С. 18.