

2467/03.

НАУКА И ТЕХНИКА

В ГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

4(16) 2003

Управление разработкой газовых месторождений Крайнего Севера с целью повышения газоотдачи

3-8

Совершенствование стимуляции скважин посредством импульсного газодинамического метода

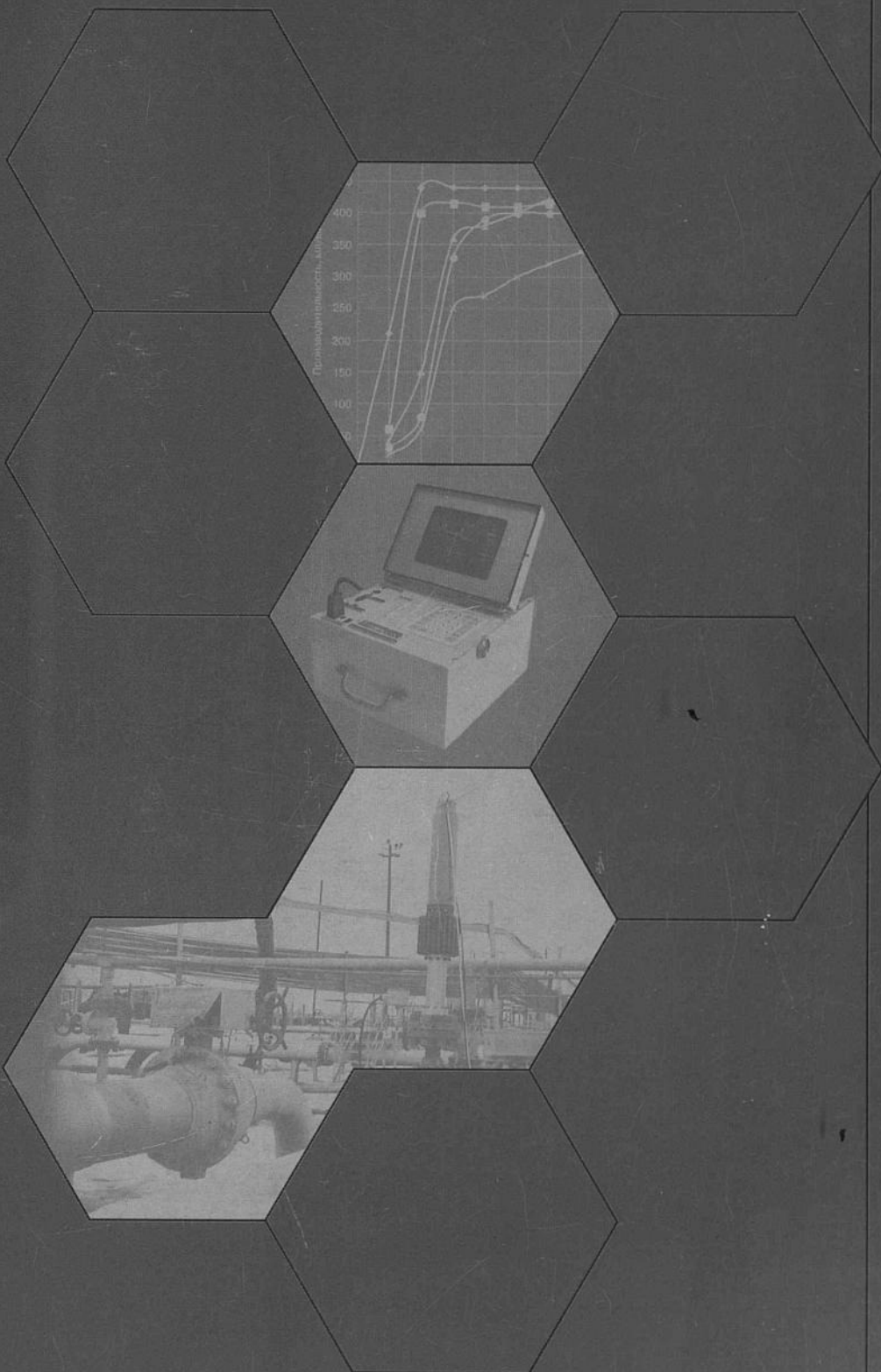
24-28

Измерение расхода газа при магистральном транспорте: лазерный доплеровский расходомер

29-36

Проблемы и перспективы ОАО "Газпром", связанные с газогидратами

45-51



Измерение расхода газа при магистральном транспорте: лазерный доплеровский расходомер

А.М. Деревягин, А.С. Фомин, А.Р. Степанов, В.В. Козлов
Научно-производственная фирма «Вымпел», Саратов

В.А. Истомин
ООО «ВНИИГАЗ»

Россия является крупнейшим производителем и поставщиком природного газа, обеспечивая третью часть его мирового производства. В связи с этим вопросы измерения его объема и коммерческого учета при его добыче и транспортировке имеют принципиально важное значение.

В настоящее время в России для измерения объемного расхода природного газа в трубопроводах большого диаметра используют расходомеры переменного перепада давления на основе сужающих устройств (диафрагм), соответствующих требованиям стандарта ISO 5167-1. Такие расходомеры обладают целым рядом недостатков:

- ограниченный диапазон измеряемых расходов;
- затупление и загрязнение кромки диафрагмы в процессе эксплуатации, что приводит к значительному увеличению погрешности, как правило, в сторону занижения расхода;
- потеря давления в трубопроводе;
- сложность и высокая трудоемкость регламентных работ;
- высокая стоимость оборудования, строительства и монтажа замерного узла.

Вследствие низкой точности этих приборов учет газа производится в ряде случаев с погрешностью до 5 %, в то время как повышение точности учета газа в России только на 1 % позволило бы получать экономию до 5 млрд руб. в год.

В связи с этим представляет интерес разработка новых методов измерения объемного расхода, независимых от параметров контролируемой и окружающей сред, обеспечивающих высокую точность и удобство в эксплуатации, меньшие начальные и эксплуата-

ционные затраты (по сравнению с диафрагменными расходомерами).

Одним из перспективных направлений развития современной техники измерения расхода является использование методов и средств оптоэлектроники, наибольший интерес среди которых представляет применение методов лазерной доплеровской интерферометрии [1]. Эти методы оказались наиболее эффективными при исследовании статистически рассеивающих физических сред (жидкости, газы). Такие преимущества, как высокая точность и широкий диапазон измерения скорости, помехоустойчивость, отсутствие контакта с контролируемой средой, возможность имитационной градуировки, инвариантность характеристик к параметрам контролируемой и окружающей сред, высокое временное и пространственное разрешение обуславливают большую перспективность применения лазерных доплеровских анемометров (ЛДА). Высокая точность расходомеров на основе ЛДА позволяет использовать их как в качестве рабочих средств, так и в качестве средств метрологического обеспечения поверки расходомеров. Принцип действия ЛДА основан на выделении и последующем измерении доплеровского сдвига частоты, рассеянного движущимися в потоке газа аэрозольными оптическими неоднородностями (частицами пыли, компрессорного масла, ДЭГа и т.п.).

В настоящее время в связи с достижениями в области квантовой электроники, оптики, теории обработки сигналов и возросшим уровнем технических и эксплуатационных характеристик современной элементной базы оптоэлектроники существуют условия для разработки и внедрения промышленных об-

разцов систем коммерческого учета объемного расхода природного газа и жидких сред при их транспортировке.

СОСТАВ И КОНСТРУКЦИЯ РАСХОДОМЕРА

В результате исследований, проводимых авторами начиная с 1997 г. [2], на основе методов когерентной оптики разработан комплекс аппаратуры для измерения объемного расхода природного газа на трубопроводах большого диаметра и высокого давления. Разработка промышленных образцов аппаратуры потребовала качественно нового подхода к разработке схем и конструкций основных систем, т.к. необходимо было обеспечить высокий уровень метрологической надежности в условиях широкого диапазона рабочих температур, влажности, вибраций, соответствие требованиям взрывозащищенности, полную автоматизацию работы, снижение требований к квалификации обслуживающего персонала.

В состав разработанного комплекса входят:

- датчик скорости — лазерный доплеровский анемометр;
- оптический ввод, обеспечивающий установку датчика на трубопровод;
- датчик давления и температуры контролируемой среды;
- компьютерная система обработки данных.

Общий вид измерительного комплекса, установленного на замерном узле Елшанской станции подземного хранения газа (ООО «Югтрансгаз»), представлен на рис. 1.

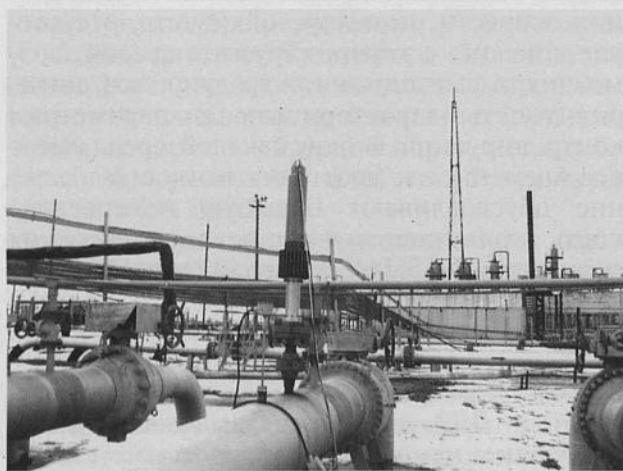


Рис. 1. Общий вид лазерного доплеровского расходомера

Разработанный датчик скорости представляет собой две базовые модели первичных преобразователей расходомерного комплекса — лазерные доплеровские анемометры «ЭОЛ-01» и «ЭОЛ-01М». Обе модели имеют взрывозащищенное исполнение, вид взрывозащиты — «взрывонепроницаемая

оболочка» в соответствии с требованиями ГОСТ Р 51330.1, маркировку взрывозащиты «IExd ПАТ4 X» и, таким образом, могут использоваться для установки во взрывоопасных зонах.

Анемометр «ЭОЛ-01» имеет фиксированное фокусное расстояние и предназначен для использования в составе рабочего расходомера природного газа на трубопроводах большого диаметра методом «площадь — скорость». Методика измерений соответствует действующему ГОСТ 8.361-79 «Расход жидкости и газа. Методика выполнения измерений по скорости в одной точке сечения трубы».

Анемометр «ЭОЛ-01М» имеет автоматически изменяемое фокусное расстояние в пределах 360-700 мм и предназначен для использования в составе образцового средства для поверки расходомеров. Наличие в приборе системы автоматической юстировки и встроенного калибратора позволяет обеспечить контроль метрологических характеристик в процессе эксплуатации.

Обе базовые модели анемометров построены по дифференциальной схеме на обратном рассеянии, что позволяет размещать прибор с одной стороны контролируемого потока. В качестве источника излучения оптической схемы приборов использован полупроводниковый инжекционный одномодовый лазер типа SDL5422 с выходной оптической мощностью 150 мВт. Система питания лазера обеспечивает стабилизацию температуры и тока лазера на заданном уровне.

Выходное излучение лазера через коллиматор и юстировочное устройство поступает на блок светоделиителя. Юстировочное устройство представляет собой линзу, которая с помощью специального привода (для «ЭОЛ-01» не автоматизирован) имеет возможность смещения по сферической поверхности большого радиуса, перпендикулярной оптической оси основного пучка. Это позволяет совместить оптическую ось измерительного объема с оптической осью фотоприемника прибора. Кроме того, юстировочная линза имеет возможность перемещения вдоль оптической оси основного пучка, что обеспечивает совмещение при настройке плоскости перетяжки передающих пучков с центральным сечением измерительного объема. При этом распределение пространственной частоты интерференционного поля становится симметричным относительно центрального сечения, а среднее квадратичное значение погрешности, связанное с нерегулярностью, минимизируется. Для продольного и углового перемещения юстировочной линзы в приборе «ЭОЛ-01М» использованы три реверсивных микроэлектродвигателя постоянного тока, имеющие на выходе редуктор с передаточным числом 256:1, оси которых через компенсирующие муфты соединены с вин-

товыми приводами юстировочного устройства. Движение приводов в крайних положениях ограничено срабатыванием концевых выключателей. Электродвигатели приводов снабжены датчиками угла, позволяющими контролировать положение приводов, управление которыми обеспечивается встроенным контроллером.

Для деления входного лазерного пучка на два параллельных используется плоскопараллельная пластина с полупрозрачной и полностью отражающей сторонами. Имеющая место дополнительная разность оптического хода устранена наличием компенсатора. Далее два одинаковых по мощности когерентных оптических пучка поступают на подвижную систему линз (только для «ЭОЛ-01М»), обеспечивающую перестройку фокусного расстояния. Перемещение подвижной системы линз обеспечивается микроэлектродвигателем и контролируется встроенным интерферометром, работающим на части оптической мощности, ответвленной от основного пучка. После прохождения подвижной линзовой системы оба пучка через выводную линзу корпуса, являющуюся элементом взрывозащищенной оболочки, поступают на фокусирующий объектив. Рассеянный исследуемой средой свет собирается апертурой того же объектива и через собственный объектив фотоприемника, расположенный на оптической оси прибора, фокусируется на апертуру лавинного фотодиода.

Упрощенная оптическая схема сканирующего анемометра «ЭОЛ-01М» представлена на рис. 2.

Для обеспечения процесса автоматической юстировки анемометр «ЭОЛ-01М» содержит калибровочный диск с установленными на его образующей имитаторами частиц, в качестве которых использована вольфрамовая проволока диаметром 8 мкм. Стабильная частота вращения диска позволяет использовать его и для калибровки прибора. Перевод прибора из рабочего режима в режим юстировки и калибровки обеспечивается оптическим коммутатором с помощью электромеханического привода.

Управление перемещениями всех приводов на заданное количество дискрет, стабилизация частоты вращения калибровочного диска, управление оптическим коммутатором, установка температуры и тока лазера, установка напряжения на лавинном диоде фотоприемника, а также мониторинг технологических параметров прибора (токов, напряжений, температур,

контроля мощности излучения лазера) обеспечивается встроенным контроллером по командам управляющей ЭВМ.

Конструктивно оба типа анемометров представляют собой моноблок, помещенный во взрывонепроницаемую оболочку, все части которой уплотнены резиновыми кольцами. Прибор обеспечен встроенной системой термостабилизации, предназначенной для поддержания постоянной температуры внутри теплого отсека корпуса прибора на заданном уровне. Включение питания фотоприемника и лазера происходит только при достижении температуры стабилизации. Исполнительным элементом термостата является комбинация активных нагревателей с термоэлектрическими батареями. На передний фланец оболочки с выводной линзой установлены фронтальная насадка с фокусирующим объективом, радиатор для сброса температуры термобатарей термостата и нагреватель стекла оптического ввода. Нагреватель управляется от контроллера, установленного в холодном отсеке прибора, и предотвращает образование конденсата на иллюминаторе оптического ввода и линзах фронтальной насадки прибора при перепадах температур окружающей и контролируемых сред. Ввод-вывод цепей питания и управления, а также вывод сигнала обеспечивается через герметичные переходы, установленные на корпусе оболочки прибора.

Для установки лазерного анемометра на трубопровод разработан оптический ввод, состоящий из шарового крана и съемного фланца с оптическим окном из кварцевого стекла толщиной 42 мм. Конструкция ввода выдерживает воздействие рабочих давлений до 20 МПа и обеспечивает оперативный монтаж — демонтаж лазерного анемометра без изменения режима транспортировки газа.

Схема установки лазерного сканирующего анемометра «ЭОЛ-01М» на трубопровод приведена на рис. 3.

Для измерения температуры и давления контролируемой среды в составе расходо-

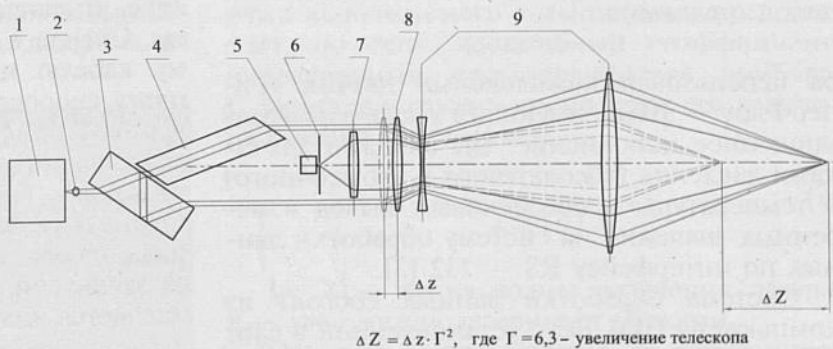


Рис. 2. Оптическая схема сканирующего лазерного анемометра «ЭОЛ-01М»:

1 — лазерный диод, 2 — коллиматор, 3 — светоделитель, 4 — компенсатор, 5 — фотоприемник, 6 — диафрагма, 7 — объектив, 8 — система подвижных линз, 9 — телескоп

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Обработка и анализ доплеровских сигналов, а также управление измерительным комплексом производится с помощью специального программно-математического обеспечения под ОС Microsoft Windows 95/98/Me/XP.

Данное программное обеспечение предусматривает два режима работы: технологический режим и собственно рабочий режим измерения объемного расхода.

Технологический режим работы предназначен для определения границ критериев отбора сигналов в месте установки и предусматривает визуализацию доплеровских сигналов и их спектров в виде графиков. В данном режиме текущее значение скорости, среднее значение скорости, среднеквадратичное отклонение и количество принятых и не принятых сигналов (поддающихся и не поддающихся анализу) будут отображаться в реальном времени по поступлению сигнала с прибора. Вид главного окна технологической программы с сигналом имитатора скорости представлен на рис. 4.

В рабочем режиме измерения объемного расхода программа предоставляет возможность просмотра в графическом и цифровом виде в реальном режиме времени осредненных значений скоростей контролируемой среды, объемного и приведенного расхода с учетом значений давления и температуры. В процессе измерений ведется регистрация на жестком диске всех измеряемых параметров (осредненных значений скоростей, объемного расхода, температуры и давления) контролируемой среды с привязкой по времени. Программа обеспечивает формирование журнала регистрации среднесуточных и среднесуточных значений избыточного давления, температуры и количества измеряемой среды. Журнал регистрации может быть сформирован по неделям и месяцам. Вид главного окна рабочей программы представлен на рис. 5.

Оба режима работы основаны на общем ядре, имеющем следующий алгоритм работы. Сигнал с анемометра по радиочастотному кабелю или витой паре передается на плату скоростного АЦП системы обработки данных, оцифровывается с заданной частотой дискретизации (5 или 10 МГц). Затем с помощью дискретного преобразования Фурье определяется спектр полученного сигнала, на основе которого программно делается заключение о корректности сигнала и вычисляется значение скорости. Сначала определяется частота сигнала, предположительно соответствующая доплеровскому сигналу.

Затем осуществляется аппроксимация низкочастотной части спектра и части спектра в окрестности найденной частоты гауссовыми кривыми. Если полученные кривые на-

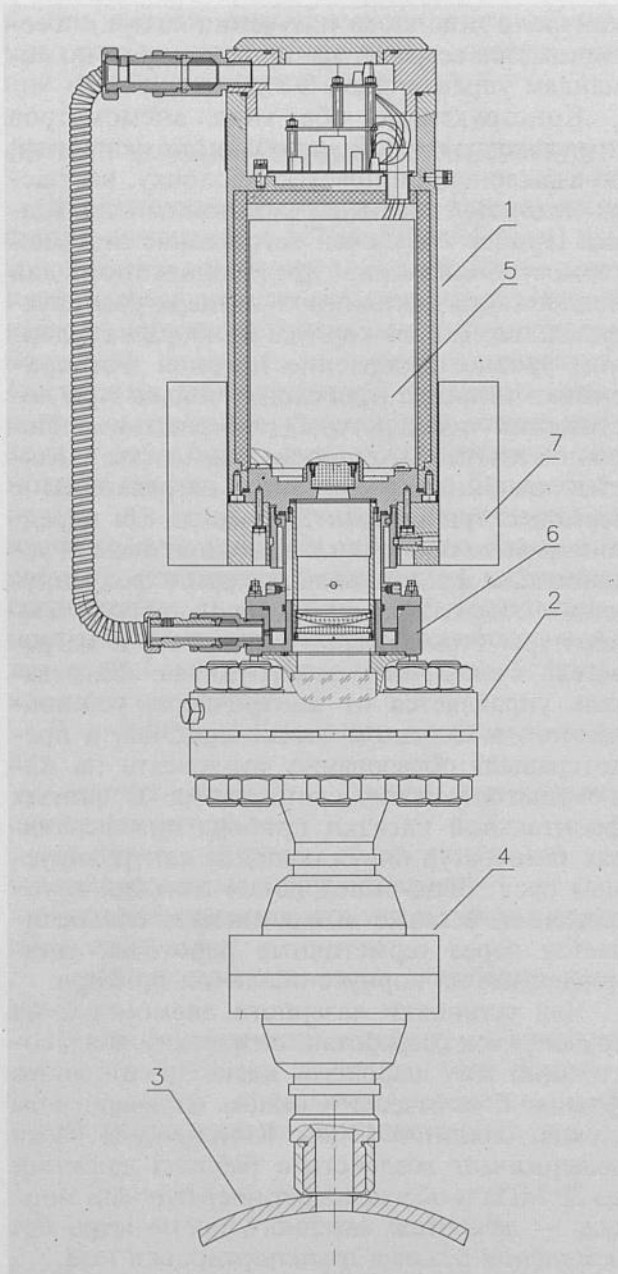


Рис. 3. Схема установки лазерного анемометра «ЭОЛ-01М» на трубопроводе Ду=400 мм:
1 — взрывонепроницаемая оболочка анемометра; 2 — съемный фланец с оптическим окном; 3 — трубопровод; 4 — шаровой кран; 5 — термостатируемый объем прибора; 6 — нагреватель окна; 7 — радиатор

ра использован комплексный датчик «ГиперФлоу — 3Пм», имеющий также взрывозащищенное исполнение. Он снабжен датчиками давления (абсолютного и избыточного) и температуры и обеспечивает вывод измеренных значений на систему обработки данных по интерфейсу RS — 232 [3].

Система обработки данных состоит из компьютера IBM PC с установленной в слот PCI устройством сбора данных, функционально состоящим из цифрового фильтра, амплитудного селектора, скоростного аналого-цифрового преобразователя (АЦП) и интерфейса PCI шины.

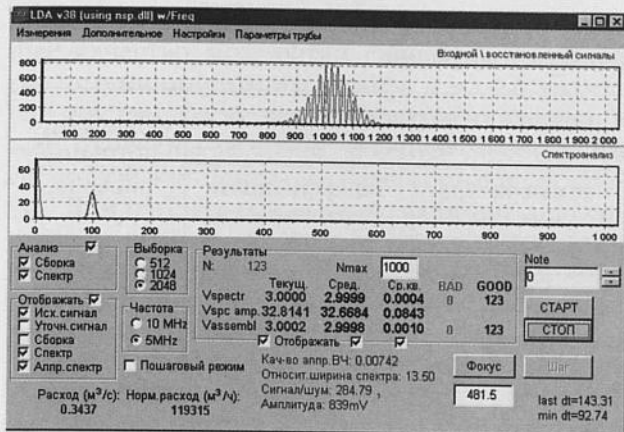


Рис. 4. Вид главного окна рабочей программы лазерного расходомера с сигналом имитатора

ходятся на соответствующем расстоянии друг от друга и удовлетворяют условиям, определяемым формой теоретически правильного сигнала, а вычисляемое отношение сигнал/шум выше установленной нормы, оцифрованный сигнал считается корректным и, исходя из параметров соответствующей кривой, вычисляется значение скорости частицы. Далее, на основе статистического анализа ансамбля частиц, производится расчет приведенного расхода с учетом значений давления и температуры контролируемой среды. При этом в расчете используется среднее значение скорости потока за установленный период осреднения. Расчет коэффициента сжимаемости газа при определении его расхода производится по методам NX19 или GERG-91. При расчете осредненной скорости используются данные обработки тех сигналов, параметры которых соответствуют установленным критериям отбора. Возможны следующие критерии отбора сигналов:

- диапазон амплитуд сигнала;
- уровень отношения сигнал/шум;
- отношение низкая/высокая частота;
- качество аппроксимации высокой частоты;
- диапазон относительной ширины спектра.

Кроме того, имеется возможность вырезания части спектра с целью исключения из



Рис. 5. Вид главного окна рабочей программы

процесса обработки сигналов, вызванных помехами при работе другого оборудования.

Для проверки правильности алгоритма вычисления скорости в условиях помех предусмотрен режим программного эмулярования сигнала. Данный режим предусматривает настройку параметров модельного сигнала (скорость, амплитуда, уровень шума). При включенной эмуляции в процессе анализа осуществляется замена сигнала с прибора на теоретически правильный сигнал с заданными параметрами.

В настоящее время проводятся исследования по доработке программ обработки сигналов лазерного анемометра в части создания алгоритмов отбраковки результатов анализа по месту пролета частицы в измерительном объеме. Эти исследования позволяют уменьшить дисперсию результатов определения скорости, связанной с нерегулярностью интерференционного поля в измерительном объеме.

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ

Принцип работы доплеровского оптического преобразователя состоит в том, что два когерентных пучка пересекаются в исследуемом потоке и образуют в зоне пересечения интерференционное поле или измерительный объем. Оптические неоднородности, пересекая пространственную интерференционную картину, рассеивают свет, который модулирован по амплитуде с частотой, пропорциональной скорости рассеивающих частиц. Рассеянный свет преобразуется фотоприемником в электрический сигнал, частота которого определяется через

$$V = \Delta F_D, \quad (1)$$

где V — продольная составляющая скорости газового потока; Δ — период пространственной частоты интерференционного поля; F_D — доплеровская частота.

Период пространственной частоты интерференционного поля определяется параметрами используемого анемометра и представляет, по сути, масштабный коэффициент, определяемый при градуировке прибора. С характеристиками анемометра его величина связана отношением

$$\Delta = \frac{\lambda}{2 \sin \theta / 2}, \quad (2)$$

где λ — длина волны излучения лазера; θ — угол между лазерными пучками.

Основой использования разработанного расходомера является реализация метода «площадь — скорость». При этом возможны два подхода [4], первый из которых связан с созданием равномерного поля скоростей в зоне контроля с помощью различных конст-

Относительные погрешности измерений

№ варианта	Относительные погрешности измерений и расчета параметров потока и измерительного сечения, %					Относит. погрешн. расхода, Q, %
	скорость, V	диаметр трубы, D	абсолютное давление, P	температура, T	коэффициент сжимаемости, K	
1	0,2	0,15	0,2	0,2	0,2	0,5
2	0,5	0,4	0,2	0,2	0,2	1,0
3	0,9	0,3	0,2	0,2	0,15	
4	0,5	0,4	0,8	0,8	0,25	1,5
5	0,9	0,3	0,8	0,8	0,2	

руктивных устройств, (например, сопла Ви-тошинского). В этом случае расход определяется из выражения

$$Q = \pi R^2 K V_{\text{изм}}, \quad (3)$$

где K — масштабный коэффициент, равный $V_{\text{ср}}/V_{\text{изм}}$.

К недостаткам таких устройств относятся ограниченный диапазон расходов, потери давления и высокие требования к точности выполнения профилей сужающих устройств.

При втором подходе расход определяют аналитически по результатам измерения местной скорости в одной или нескольких точках по диаметру трубопровода, используя теоретические или эмпирические законы распределения скоростей или определяя их в процессе измерения. В этом случае при осесимметричном распределении скоростей в измерительном сечении расход может быть определен по формуле

$$Q = 2\pi \int_0^R v(r) r dr, \quad (4)$$

где R — радиус трубопровода; r — текущее значение радиуса R ; v — распределение скорости газа по радиусу.

На основании известных экспериментальных данных Никурадзе ГОСТ 8.361-71 устанавливает метод измерений расхода по измерению скорости в одной точке сечения трубы, в которой локальная скорость равна средней по сечению. Этот метод при оптимизации всех составляющих погрешности может быть использован для рабочих средств измерений. Объемный расход, приведенный к стандартным условиям, вычисляют по формуле

$$Q = V_{\text{ср}} \frac{\rho D^2}{4} \frac{PT_c}{P_c TZ}, \quad (5)$$

где $V_{\text{ср}}$ — значение скорости в точке «средней» скорости; D — диаметр трубопровода; P и T — рабочие давление и температура;

P_c и T_c — стандартные давление и температура, равные по ГОСТ 2939 значениям 101325 Па и 293.15К соответственно; Z — коэффициент сжимаемости газа.

Коэффициент сжимаемости рассчитывают в соответствии с ГОСТ 30319.2 по методам NX19 либо GERG-91. Для определения относительной погрешности расхода используют следующую формулу

$$\sigma = \sqrt{\sigma_V^2 + 4\sigma_D^2 + \sigma_P^2 + \sigma_T^2 + \sigma_R^2}, \quad (6)$$

где σ_V^2 — погрешность измерения средней скорости; σ_D^2 — погрешность измерения диаметра трубопровода; σ_P^2 — погрешность измерения давления; σ_T^2 — погрешность измерения температуры; σ_R^2 — погрешность определения коэффициента сжимаемости.

Варианты сочетаний максимально допустимых относительных погрешностей измерений и расчета параметров потока и измерительного сечения, определяющие соответствующую погрешность расхода, приведены в табл. 1.

Из приведенной таблицы видно, что относительная погрешность определения расхода по измерению скорости в характерной точке исследуемого потока может составить не более 0,5 %, что позволяет использовать расходомер на основе лазерного анемометра с фиксированным фокусом в качестве рабочего средства измерений.

Использование анемометра с автоматически изменяемым фокусом позволяет реализовать формулу (4) путем сканирования точки измерения с последующей аппроксимацией результатов для получения профиля скорости [5]. Интегрирование профиля скорости исследуемого потока позволит обеспечить дальнейшее снижение погрешности измерения расхода и повысить достоверность измерений.

Авторами проведены испытания опытных образцов лазерного расходомера с фиксированным фокусным расстоянием на замерных узлах Елшанской станции подземного хранения газа и Петровского ЛПУ Югтрансгаза.

Анализ скоростей отдельных частиц и хорошее качество модуляции свидетельствуют об отсутствии ощутимого дрейфа и малых размерах частиц рассеивающей среды. Вместе с тем, отмечены режимы транспортировки газа со слабой концентрацией рассеивающей среды. Для данных режимов разработан диспергатор аэрозоля на основе насоса высокого давления и форсунки. Испытания диспергатора в реальных условиях на чистых газах показали, что расход дизельного топлива для создания необходимой концентрации рассеивающей среды в потоке составляет не более нескольких единиц кубических сантиметров в час. Полученные результаты подтверждают работоспособность расходомеров в реальных условиях. В настоящее время ведется разработка методики выполнения измерений расхода на основе сканирования профиля скорости исследуемого потока с дальнейшей ее апробацией в условиях Уральского регионального метрологического центра ОАО «Газпром».

МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ГРАДУИРОВКА

Разработанные анемометры обеспечивают в диапазоне скоростей от 0,5 м/с до 20 м/с погрешность измерения скорости, не превышающую $\pm 0,1$ %.

Калибровка и поверка лазерного расходомера заключается в определении точного значения коэффициента пропорциональности между доплеровской частотой и скоростью потока. Как было отмечено выше, это может быть обеспечено имитационным методом [6,7].

Для экспериментальных исследований, оценки погрешностей, настройки, калибровки и поверки первичного преобразователя скорости (лазерного анемометра) расходомера разработан стенд, основу которого составляет прецизионный оптико-механический имитатор скорости. Имитатор скорости представляет собой установленную на оптическую скамью подвижную платформу, на которой расположен вращающийся алюминиевый диск диаметром 200 мм, ось которого соединена с инкрементным датчиком угла. На образующей поверхности диска установлены имитаторы рассеивающей частицы, в качестве которых использована вольфрамовая проволока диаметром 8 мкм. Вращение диска обеспечивается коллекторным электродвигателем постоянного тока через резиновый шкив. Электродвигатель питается напряжением, поступающим от сис-

темы стабилизации скорости, управляемой IBM PC.

Разработанные программно-математические средства обеспечивают возможность установки скорости имитатора в диапазоне от 0,5 до 20 м/с, что соответствует реальным скоростям потока в газопроводах при транспортировке природного газа. Программа испытаний и градуировки позволяет устанавливать следующие параметры: значения скорости диска, число измерений в каждой точке, число точек по диапазону. По данным измерений автоматически рассчитывается среднее значение масштабного коэффициента по скорости (период интерференционной решетки) в каждой точке и в диапазоне скоростей и формируется график калибровки.

Для оптимизации доплеровского сигнала на максимум амплитуды и глубины модуляции диск имитатора может перемещаться в небольших пределах, как по высоте, так и по углу. Для совмещения плоскости перетяжки зондирующих пучков с центральным сечением измерительного объема при настройке лазерных анемометров имеется возможность перемещения калибровочного диска вдоль оптической оси анемометра посредством микрометрического винта.

Исследования воспроизводимости имитатором заданной скорости показали, что изменения периода вращения диска во всем диапазоне скоростей не превышают 0,01 %. Контроль периода вращения диска производился с помощью прецизионного расходомера. Момент инерции диска достаточно велик, поэтому можно считать, что мгновенная скорость вращения имеет тот же порядок нестабильности.

Испытуемый анемометр при градуировке устанавливается на платформу, закрепленную на оптической скамье. Стенд позволяет проводить и температурные испытания приборов. Для этого на платформу крепления испытуемого анемометра устанавливается

Таблица 2

Калибровка лазерного анемометра «ЭОЛ-01»

Измеренный период	Скорость диска по измеренному периоду, м/с	Скорость диска, измеренная ЛДА, м/с	Относительная погрешность, %
40,960	15,336 74	15,341 85	0,033
57,344	10,954 81	10,957 38	0,023
81,920	7,668 37	7,667 56	-0,011
114,688	5,477 41	5,477 39	0,000
163,840	3,834 18	3,833 23	-0,025
229,376	2,738 70	2,737 77	-0,034
327,680	1,917 09	1,917 09	0,000
458,752	1,369 29	1,369 29	-0,004
655,360	0,958 55	0,958 76	0,022
917,504	0,684 68	0,684 66	-0,002

**Погрешность анемометра из-за нерегулярности
интерференционного поля**

ΔL , мм	-1,5	-1,0	-0,5	0	0,5	1,0	1,5
$V_{изм}$, м/с	3,778	3,818	3,830	3,832	3,831	3,821	3,794
$\Delta V/V_0$, %	1,4	0,365	0,052	0	0,026	0,287	0,99

Примечание: ΔL — смещение поверхности диска от центра измерительного объема; $V_{изм}$ — скорость, измеренная прибором; $\Delta V/V_0$ — отклонение измеренной скорости к заданной

камера с выводным оптическим окном. Температура в камере устанавливается и регулируется с помощью охлаждающего циркулятора JULABO модели F33, обеспечивающего термостатирование рабочей камеры с помощью установленного в ней теплообменника в диапазоне температур от минус 30 до плюс 40 °С.

В табл. 2 приведены данные калибровки лазерного анемометра «ЭОЛ-01» с фиксированным фокусом в диапазоне скоростей 0,68-15,33 м/с.

В процессе испытаний была определена погрешность анемометра, связанная с нерегулярностью интерференционного поля измерительного объема. Для этого привод вместе с диском перемещался вдоль оптической оси прибора, и в каждой точке оценивалось среднее значение скорости и относительная погрешность в ее оценке. Полученные результаты приведены в табл. 3.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты лабораторных и промышленных испытаний опытных образцов расходомеров на основе лазерных анемометров подтверждают возможность их использования как в качестве рабочих, так и образцовых средств измерения объемного расхода природного газа при его транспортировке по трубопроводам большого диаметра и высокого давления. Конструкция разработанного расходоизмерительного комплекса соответствует требованиям, предъявляемым к взрывозащищенному оборудованию, и имеет соответствующую степень защиты от воздействия окружающей среды. В настоящее время проводятся испытания лазерных расходомеров в Уральском метрологическом центре ООО «Газпром», являющимся на сегодняшний день наиболее пригодным полигоном для исследования эксплуатационных и метрологических характеристик новых средств измерения расхода.

В целях дальнейшего развития и совершенствования разработанного комплекса ве-

дется разработка встроенной в прибор системы обработки и дальнейшее совершенствование алгоритмов обработки и отбраковки сигналов доплеровского анемометра. Наряду с совершенствованием программно-аппаратной базы ведется разработка нормативных документов, устанавливающих оптимальные методики выполнения измерений, реализующих метод «площадь-скорость» [8], для расходомера со сканирующим

анемометром.

Использование сканирующего лазерного анемометра, обладающего высокими эксплуатационными и метрологическими характеристиками, открывает новые перспективы как в повышении точности расхода газа, так и в исследовании динамики газовых и жидкостных потоков.

Список литературы

1. Ринкевичус Б.С. Лазерная диагностика потоков. — М.: Издательство МЭИ, 1990. — 288 с.
2. Деревягин А.М. и др. Лазерный доплеровский анемометр для измерений в крупномасштабных промышленных каналах // Тезисы докладов 5-й Международной научно-технической конференции «Оптические методы исследования потоков». — М.: 1999. — С. 44
3. Комплексный датчик с вычислителем расхода «ГиперФлоу-3Пм» / Руководство по эксплуатации КРАУ1.456.001-06 РЭ, 2001. — 166 с.
4. Каминский Н.Д. и др. Оценка метрологических характеристик лазерных измерителей расхода жидкостей. // Приборы и системы управления, 1997. — № 11. — С. 26-28.
5. Dopheide D., Strunck V., Krey E.-A: «Three-component laser Doppler anemometer for gas flow measurements up to 5500 m³/h», Metrologia 1993, 30, P. 453-469.
6. Соболев В.С. и др. Лазерная доплеровская система нового поколения как датчик скорости для автоматизации научного эксперимента и технологических процессов // Датчики и системы, 2000. — № 2. — С. 25-30.
7. Vern E. Bean, J. Michael Hall «New Primary Standards for Air Speed Measurement at NIST» Proceedings of the 1999 NCSL Workshop and Symposium (Charlotte, NC: NCSL 1999), Session 4E. — P. 413-421.
8. Tropea C. Laser Doppler anemometry: recent developments and future challenges. Meas. Sci. Technol., 6, 1995. P. 405-619.

Переносной измеритель точек росы газа по водным фазам и тяжелым углеводородам «КОНГ-ПРИМА 4П»: особенности конструкции и перспективы технологического применения

А.М. Деревягин, С.В. Селезнёв, А.Р. Степанов, А.Г. Агальцов, А.Н. Коняхин
Научно-производственная фирма «Вымпел», Саратов

В.А. Истомин
ООО «ВНИИГАЗ»

Одной из важных задач современной газовой промышленности является обеспечение требуемых показателей качества поставляемого потребителю природного газа. Показатели качества газа сказываются на эффективности работы системы транспорта газа, ее надежности и долговечности. В настоящее время становится все более актуальной задача автоматизированного сбора и анализа информации о технологических параметрах природного газа (в том числе по показателям качества) с целью оптимального управления системами добычи и транспорта природного газа, особенно на поздней стадии разработки газовых и газоконденсатных месторождений.

Общепринятыми критериями оценки качества природного газа и, соответственно, работы систем добычи и транспорта газа являются температуры точек росы природного газа. Стационарные измерители, реализующие конденсационный метод измерения точки росы, признаны в России и за рубежом как надежные приборы контроля кондиционности природного газа, и они могут быть (и уже становятся) одним из основных компонентов современных систем автоматизации и оптимизации технологических процессов в газовой промышленности.

В то же время на предприятиях отрасли остро ощущается необходимость и в переносном измерителе точек росы газа, что позволяет проводить периодический контроль работы любого узла газовой системы, а так-

же проверку работы стационарных приборов, с помощью которых осуществляется мониторинг точек росы и которые устанавливаются только в ключевых местах, таких как газоперекачивающие станции, объекты подземного хранения газа и т.д. Кроме того, переносной прибор можно использовать при промысловых обследованиях технологических процессов. Таким образом, переносной прибор для измерения точек росы природного газа является важным элементом в решении вышеуказанной задачи обеспечения требуемых показателей качества товарного газа.

В настоящий момент на мировом рынке представлен спектр моделей переносных приборов конденсационного типа ряда производителей. Основными недостатками одних являются устаревшая конструкция и ручной способ замера, допускающий субъективную оценку точки росы (например, хорошо известные в России приборы «Харьков-1М» и «Чандлер»). Другие приборы построены на физических принципах, не позволяющих замерять сразу две точки росы по воде и углеводородам (лагомер «Мишель»). Ряд приборов разработан только в виде опытных образцов, не доведенных до требуемых в газовой промышленности норм качества.

Серийный переносной измеритель (анализатор) точек росы газа по влаге и углеводородам «КОНГ-ПРИМА 4П» (далее Переносной анализатор), разработанный научно-технической фирмой «Вымпел» (Саратов), по своим возможностям и характеристикам су-

ущественно отличается от ранее выпущенных приборов. Анализатор «КОНГ-ПРИМА 4П» является автономным, высокоинтеллектуальным гигрометром, принадлежащим к классу автоматических зеркальных приборов и реализующим конденсационный метод одновременного измерения точек росы газа по водным фазам и тяжелым углеводородам. Он снабжен собственным встроенным калибратором. Встроенный калибратор представляет собой автономное устройство, позволяющее периодически проверять калибровочную характеристику Переносного анализатора, а также проверять калибровочные характеристики стационарных приборов семейства «КОНГ-ПРИМА».

КОНСТРУКЦИЯ, ВНЕШНИЙ ВИД, ТЕХНИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ И ВОЗМОЖНОСТИ ПРИБОРА

Переносной анализатор «КОНГ-ПРИМА 4П» (рис. 1) предназначен:

- для измерения температуры точек росы по водным фазам (по воде, переохлажденной воде и водометанольному раствору (ВМР), льду и газовым гидратам) и тяжелым углеводородам в автоматическом и ручном режиме в природном газе любого компонентного состава, а также для паровоздушных смесей при рабочем давлении;
- выдачи измеренных, вычисленных и зарегистрированных значений точки росы на встроенный цифровой индикатор;
- построения полных кривых точек конденсации воды и углеводородов в зависимо-

сти от давления анализируемой среды.

Отметим важные особенности и функциональные возможности анализаторов серии «КОНГ» последних моделей, реализованные как в стационарном, так и в переносном исполнении:

- наличие миниатюрного многофункционального волоконно-оптического чувствительного элемента, изготовленного по уникальной технологии (имеет место более высокая чувствительность по сравнению с приборами, выпускаемыми другими производителями);

- автоматическая диагностика всех компонентов Переносного анализатора и возможность регенерации чувствительного элемента перед каждым циклом измерения;

- автоматическая адаптация Переносного анализатора к измерению точек росы по воде в присутствии ранее конденсируемых примесей (углеводородов) без дополнительных настроек и применения каких-либо дополнительных фильтрующих элементов;

- возможность измерения точки росы газа по углеводородам;

- возможность варьирования параметрами измерительного цикла (скоростью охлаждения и нагрева, толщиной пленки конденсата и др.) в широких пределах, что собственно и дает принципиальную возможность разработки алгоритмов определения не только точки росы газа по (переохлажденной) воде, но точек росы по водометанольному раствору, льду и газовым гидратам различных кристаллических структур;

- функция сбора и хранения данных об измеренных точках росы по воде и углеводородам, а также всех параметров измерительного цикла;

- возможность визуализации процессов при подключении к центральному управляющему блоку [1].

В то же время дополнительными и существенными отличиями Переносного анализатора «КОНГ-ПРИМА 4П» от стационарного «КОНГ-ПРИМА 4» являются:

- наличие встроенной системы газоподготовки, позволяющей варьировать давление пробы газа от рабочего давления в трубопроводе до нормального давления;

- наличие встроенного калибратора.

Эти дополнительные возможности фактически позволяют разрабатывать более надежные и весьма точные алгоритмы измерения точек

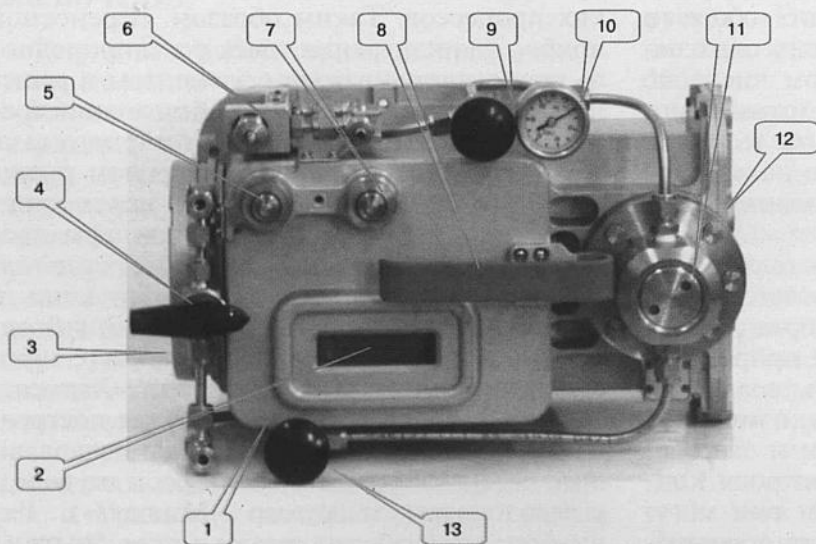


Рис. 1. Внешний вид переносного анализатора точек росы газа по водным фазам и углеводородам «КОНГ-ПРИМА 4П»: 1 — корпус анализатора; 2 — индикатор; 3 — крышка электронного блока; 4, 6, 9, 10, 13 — элементы системы подготовки газа; 5 — разъем питания и зарядки блока аккумуляторной батареи; 7 — разъем подключения калибратора; 8 — ручка для переноски анализатора; 11 — датчик первичной информации; 12 — крышка отсека блока аккумуляторной батареи

*Технические характеристики
Переносного анализатора «КОНГ-ПРИМА-4П»*

Диапазон измерения температуры точки росы, °С	
по влаге	От -30 до +30
по углеводородам	От -30 до +30
Пределы основной абсолютной погрешности при измерении точки росы, °С	
по влаге	±1
по углеводородам	±1 (чистый пропан)
Рабочее давление исследуемого газа, МПа	
	До 10
Расход газа при измерении, нормальных л/мин	
	1-2
Длительность цикла измерения температуры точки росы, мин	
в автоматическом режиме	3-10
в ручном режиме	Не нормируется
Питание (напряжение/потребляемая мощность)	
от внешнего источника автономное,	27-34 В / 60 Вт
от блока аккумуляторной батареи	24 В, 4 А·ч/60 Вт
Время непрерывной работы	
от внешнего источника	не ограничено
от блока аккумуляторной батареи	Не менее 2-4 ч*
Масса, кг	Не более 12
Габаритные размеры, мм	
в переносном боксе	Не более 250x300x600

* в зависимости от значения измеряемой точки росы и температуры окружающего воздуха

росы газа по водным фазам в присутствии технологических примесей, в том числе и в присутствии паров метанола; более того, с помощью Переносного анализатора можно оценивать по крайней мере на полуколичественном уровне содержание паров метанола в газе.

Переносной анализатор может работать как в автономном режиме (от встроенной аккумуляторной батареи), так и от внешнего источника питания. Причем параллельно с его работой от внешнего источника происходит автоматическая зарядка аккумуляторной батареи. Он обладает высокой стойкостью к технологическим примесям природного газа. Выполнен во взрывозащищенном исполнении и может устанавливаться во взрывоопасных зонах в соответствии с маркировкой IExsdIIAT5.

Конструктивно Переносной анализатор (рис. 1) состоит из следующих законченных узлов:

- датчика первичной информации (ДПИ) и блока электроники (БЭ), выполненных в единой конструкции;
- системы газоподготовки;
- калибратора.

Охлаждение зеркала Переносного анализатора осуществляется трехкаскадной термоэлектрической батареей на элементах Пельтье. Работа термоэлектрической батареи в приборах семейства «КОНГ» подробно описана в [2].

Для реализации возможности измерения очень низких значений точки росы (до минус 50 °С) в датчик встроен дополнительный канал, через который пропускается охлаждающий газ для охлаждения «горячей» грани термоэлектрической батареи. В качестве охлаждающего газа может использоваться рабочий газ, предварительно пропускаемый через внешний охладитель, работающий, например, на дроссельном эффекте за счет перепада давления. Принципиально возможно охлаждение датчика и другими хладагентами.

Система подготовки газа смонтирована на корпусе Переносного анализатора. Подключение системы к трубопроводу производится с помощью входного вентиля. Выпуск анализируемого газа, а также продувка пробоотборной магистрали производятся по трубкам, подключенным к выходному и продувочному вентилям соответственно.

Система подготовки газа состоит из (рис. 1):

- измерительной камеры (газоподвод) 11;
- игольчатого крана 13 для регулировки расхода газа через газоподвод;
- шарового крана 4 для продувки подводящего трубопровода;
- проточного фильтра для очистки пробы от механических примесей;
- манометра 10;
- ротаметра 6;
- игольчатого крана 9, используемого для плавного заполнения измерительной камеры.

Использование в качестве входного и выходного вентилях измерительных игольчатых кранов позволяет создавать в камере прибора давление в диапазоне от рабочего давле-

*Условия эксплуатации
Переносного анализатора*

Температура окружающего воздуха, °С	От -20 до +40
Относительная влажность воздуха при плюс 35 °С и более низких температурах без конденсации влаги (без прямого попадания атмосферных осадков), %	До 98
Атмосферное давление, кПа	От 84 до 106,7
Механические воздействия амплитуда виброперемещений, мм (в диапазоне частот 10-55 Гц)	До 0,15
Средний срок службы	Не менее 10 лет*

* при условии замены составных частей, имеющих меньший срок службы

ния в трубопроводе до нормального. В систему газоподготовки могут быть, при необходимости, включены дополнительные фильтры.

Калибратор Переносного анализатора представляет собой автономное устройство, позволяющее периодически проверять калибровочную характеристику ДПИ самого Переносного анализатора, а также других влагомеров семейства «КОНГ-ПРИМА».

Таким образом, Переносной анализатор обеспечивает:

- измерение температуры точки росы по водной фазе и (или) углеводородам в автоматическом режиме;
- измерение температуры точки росы в режиме ручного управления температурой зеркала (чувствительного элемента);
- измерение температуры точки росы в режиме удержания и стабилизации на зерка-

ле заданной (вручную) толщины пленки конденсата;

- цифровую индикацию измеренных значений точки росы ($^{\circ}\text{C}$), текущей температуры зеркала ($^{\circ}\text{C}$) и толщины пленки конденсата (в условных единицах — в процентах от уровня фотосигнала чистого зеркала);

- возможность проверки достоверности показаний Переносного анализатора (при использовании в комплекте с калибратором).

Для управления работой Переносного анализатора служит клавиатура, представляющая собой четыре герметичных контакта, переключаемых при помощи специального магнитного ключа.

Переключение магнитных контактов осуществляется кратковременным воздействием (1-2 с) на соответствующий магнитный контакт с помощью входящего в комплект поставки магнитного ключа.

Ниже описаны два варианта ручного способа измерения температуры точки росы Переносным анализатором:

- измерение температуры точки росы в режиме ручного управления оператором температурой зеркала (чувствительного элемента);
- измерение температуры точки росы в режиме удержания и стабилизации на зеркале заданной (вручную) оператором толщины пленки конденсата;

На рис. 2 представлен процесс измерения точки росы в режиме удержания заданной толщины пленки конденсата.

В этом случае оператор вручную задает необходимую толщину пленки в процентах от уровня фотосигнала чистого зеркала. Измерение представляет собой процесс длительного удержания пленки конденсата до тех пор, пока не произойдет стабилизация температуры удержания и толщины пленки. Контроль текущей температуры зеркала и текущей толщины пленки осуществляется по индикатору Переносного анализатора. Температура удержания пленки представляет собой температуру точки росы.

На рис. 3 представлен процесс измерения точки росы в режиме ручного управления температурой зеркала. В этом случае оператор вручную изменяет текущую температуру

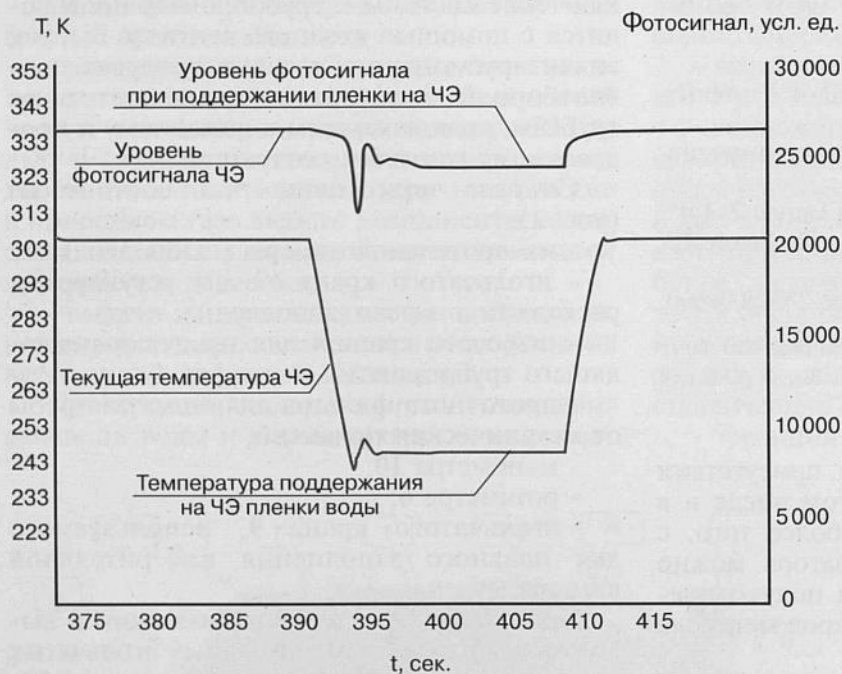


Рис. 2. Процесс измерения точки росы методом удержания пленки конденсата на чувствительном элементе (ЧЭ) прибора

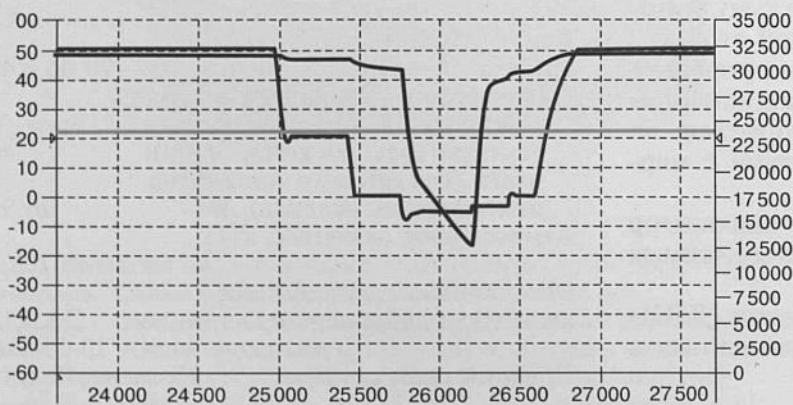


Рис. 3. Процесс ручного измерения точки росы

зеркала. Признаком конденсации является изменение величины, характеризующей толщину пленки конденсата. Контроль текущей температуры зеркала и текущей толщины пленки осуществляется по индикатору Переносного анализатора. Сужая границу между температурами конденсации и испарения, можно определить температуру точки росы с необходимой степенью достоверности.

МЕТРОЛОГИЧЕСКАЯ АТТЕСТАЦИЯ

Переносной анализатор прошел государственную метрологическую аттестацию в ВНИИФТРИ (Иркутск) с погрешностью измерения $\pm 0,25$ °С и погрешностью воспроизведения точки росы своим калибратором $\pm 0,5$ °С. В качестве эталонного средства измерения и испытательного оборудования применялся образцовый динамический генератор влажного газа «Родник-2», абсолютная погрешность воспроизведения точки росы создаваемой парогазовой смеси которого составляет $\pm 0,1$ °С.

Новые возможности Переносного анализатора «КОНГ-ПРИМА 4П»

Наличие встроенного калибратора является принципиально важным отличием Переносного анализатора от других измерителей точки росы. Технические характеристики встроенного калибратора приведены ниже. Калибратор позволяет контролировать достоверность измерений самого Переносного анализатора как в лабораторных условиях, так и непосредственно в среде исследуемого газа при рабочем давлении. Переносной анализатор со встроенным калибратором может эффективно применяться для контроля достоверности измерений влагомеров семейства «КОНГ-ПРИМА», работающих в вышеописанных условиях эксплуатации. Проверяемый влагомер должен с определенной точностью измерить точку росы, генерируемую калибратором. В режиме управления работой калибратора Переносной анализатор может работать совместно с любым режимом измерения (автоматическим, ручным или режимом удержания пленки).

Ниже описана процедура управления калибратором.

После выбора в основном меню пункта «КАЛИБ» и входа в него с помощью правого магнитного контакта Переносной анализатор переходит в дополнительный режим управления работой калибратора. При этом продолжается работа Переносного анализатора в режиме измерения точки росы.

При выборе с помощью верхней или нижней магнитных кнопок пункта «ВЫКЛ» и подтверждения с помощью правого магнитного контакта Переносной анализатор возвращается в основное меню.

При выборе с помощью верхней или нижней магнитных кнопок пункта «ВКЛ» и

Технические характеристики встроенного калибратора

Диапазон воспроизведения температуры точки росы, °С	От -20 до +30
Пределы основной абсолютной погрешности воспроизведения точки росы, °С	$\pm 0,5$
Рабочее давление исследуемого газа, МПа	До 10
Питание, В	
от внешнего источника	20-27
автономное от блока аккумуляторной батареи (БАБ)	20-27
Время, ч	
непрерывной работы	
от внешнего источника	Не ограничено
от БАБ	Не менее 2
Масса, кг	Не более 0,5
Габаритные размеры, мм	Не более 200x90x40

подтверждения с помощью правого магнитного контакта Переносной анализатор переходит в режим задания температуры калибратора.

После установки курсора на пункт «ВЫБОР» и нажатия правого магнитного контакта выбранное значение температуры отображается во второй строке индикатора, а на микроохладителе калибратора удерживается заданная температура.

Как выше отмечалось, встроенная система газоподготовки Переносного анализатора позволяет создавать давление исследуемого газа в пределах от рабочего давления в трубопроводе до нормального. Эта опция Переносного анализатора дает возможность измерения точек конденсации росы по углеводородам и воде при разном давлении, т.е. построения полных кривых конденсации углеводородов и воды. Пример подобного измерения для точки росы по углеводородам показан на рис. 4.



Рис. 4. Кривая конденсации углеводородов природного газа, построенная на основании измерений «КОНГ-ПРИМА 4П»

Треугольники — измеренные значения точки росы по углеводородам природного газа при постепенном снижении давления в камере прибора от рабочего в газопроводе до 1,0 МПа.

Расчетная зависимость точек росы природного газа по водометалльному раствору от давления при различной концентрации метанола в природном газе (зафиксирована точка росы газа при давлении 8,0 МПа, равная минус 10 °С)

Давление, МПа	Точка росы газа в отсутствие метанола, °С	Точка росы газа по ВМР, °С, при содержании метанола, г/1 000 м ³					
		100	200	300	500	750	1000
8,0	-10,00	-10,00	-10,00	-10,00	-10,00	-10,00	-10,00
6,0	-12,25	-12,15	-12,00	-11,8	-11,4	-11,0	-10,2
4,0	-15,70	-15,45	-15,10	-14,8	-14,1	-13,4	-12,3
3,0	-18,25	-17,95	-17,60	-17,3	-16,4	-15,6	-14,5
2,0	-22,05	-21,68	-21,3	-20,9	-20,1	-19,3	-18,2
1,0	-28,70	-28,30	-27,9	-27,50	-26,8	-16,1	-25,4

Эта же опция дает возможность разнести точки росы газа по влаге и углеводородам, что облегчает их достоверное определение в сложных случаях. В настоящее время фирмой «Вымпел» совместно с ВНИИГАЗом рассматриваются и другие варианты практического использования этой возможности прибора. Например, разрабатывается методика применения Переносного анализатора при проведении работ по оценке технологических потерь нестабильного конденсата на установках типа НТС.

Кроме того, с помощью Переносного анализатора можно получить полную кривую конденсации природного газа по водной фазе, что в принципиальном отношении дает возможность определения содержания метанола в исследуемом газе. Это связано с тем, что кривые температуры конденсации из газа водометалльного раствора от давления при различном содержании метанола в природном газе, совпадающие при одном давлении, при других давлениях отличаются (табл. 1, где у всех газов с разным содержанием паров метанола при давлении 8 МПа задана одна и та же точка росы газа по ВМР, равная минус 10 °С). Однако термодинамика рассматриваемого процесса (т.е. зависимость ТТР по ВМР от давления) такова, что по зависимости температуры точек росы газа по ВМР от давления (сравнивая эту кривую с эталонной, полученной в отсутствие паров метанола в газе) мы можем практически оценить наличие метанола в газе при его содержании не менее 300-400 г/1 000 м³.

В то же время, как показали наши методические лабораторные эксперименты, наличие паров спирта в газе весьма существенно влияет на динамику (кинетику) процесса конденсации водоспиртового раствора при заданной (фиксированной) скорости охлаждения чувствительного элемента прибора. В указанных лабораторных экспериментах в качестве алифатического спирта использовался этанол, тогда как теоретические соображения показывают, что наличие в газе ме-

танола еще более отчетливо влияет на кинетику конденсации водной фазы на чувствительном элементе конденсационного прибора. Таким образом, сочетание термодинамического и кинетического аспектов конденсации ВМР в принципиальном отношении дает нам возможность с помощью Переносного анализатора определять содержание паров метанола в газе практически на количественном (или по крайней мере на полуколичественном) уровне.

Как показывают тестовые эксперименты, а также выполненные нами теоретические проработки, сравнение зависимостей точек конденсации ВМР от давления (термодинамика), а также определение скорости конденсации (кинетики) позволяют определить содержание метанола, растворенного в природном газе, с погрешностью не хуже $\pm(30-50)$ г/1000 м³, т.е. практически на уровне погрешности хроматографического определения метанола в газе [3]. Методические работы, связанные с алгоритмами одновременного определения точки росы газа по ВМР и содержания в природном газе метанола могут быть продолжены с целью разработки метрологически атестованной методики определения метанола в газе на приборах серии «КОНГ».

Более того, Переносной анализатор может применяться (и применяется в настоящее время в исследовательской лаборатории научно-производственной фирмы «Вымпел») для нахождения точек росы газа по газовым гидратам и взаимосвязей между точками росы газа по всем водным фазам, а также для фундаментальных исследований термодинамики и кинетики кристаллизации газовых гидратов непосредственно из газовой фазы, с использованием новых методических принципов, разработанных в [4, 5]. Отметим, что рассматриваемые вопросы представляют не только академический интерес, а становятся практически важными и актуальными в связи с разработанной ВНИИГАЗом новой версией ОСТа 51.40, в которую введено понятие точки росы газа по термодина-

Результаты замеров 20.11.02 г.

Давление, бар	Показания анализатора «КОНГ-ПРИМА 4П»		Показания прибора «Ива», °С	Показания прибора «Чандлер»	
	по влаге, °С	по углеводородам, °С		по влаге, °С	по углеводородам, °С
46	-18,2	-15,6	-18,0	-20,5	-15,5
40	-20,0	-14,4	-19,9	-21,3	-14,7
35	-22,5	-13,8	-22,7	-23,2	-16,0
30	-23,9	-17,3	-24,2	-25,0	-17,0
25	-24,8	-17,5	-25,8	-23,5	-18,0
20	-26,4	-16,6	-27,7	-24,2	-18,5

Таблица 2 рометра «Ива» и переносного визуального гигрометра Чандлер («Chandler»).

В табл. 2, 3, 4 приведены результаты измерений точки росы по влаге и углеводородам Переносного анализатора «КОНГ-ПРИМА 4П» и контрольными приборами при различных значениях давления на углезамера газа (УЗГ) газопровода Оренбург — Новопсков.

Результаты замеров 21.11.02 г.

Таблица 3

Давление, бар	Показания анализатора «КОНГ-ПРИМА 4П»		Показания прибора «Ива», °С	Показания прибора «Чандлер»	
	по влаге, °С	по углеводородам, °С*		по влаге, °С	по углеводородам, °С
47	-17,0	-14,9	-18,0	-20,5	-15,5
40	-18,2	-11,6	-19,9	-21,3	-14,7
35	-19,7	-6,6	-22,7	-23,2	-16,0
30	-21,6	-4,3	-24,2	-25,0	-17,0
25	-23,7	-17,5	-25,8	-23,5	-18,0
20	-25,3	-16,6	-27,7	-24,2	-18,5
10	Ниже -30	-17,0	-	-	-

В процессе проведенных испытаний была подтверждена корректность методики измерения температуры точек росы по влаге и углеводородам при редуцировании давления в измерительной камере, разработанная для Переносного анализатора.

На рис. 5 приведены результаты сравнения показаний гигрометров из табл. 2 с данными из таблицы для определения значений температуры точки росы влаги природного газа [6], разработанной ВНИИГАЗом и УКРНИИГаз в соответствии с ГОСТ 20060 и утвержденной ОАО «Газпром» для практических расчетов температуры точки росы.

* результаты измерения температуры точки росы при высокой чувствительности прибора

мически наиболее стабильной фазе (во многих случаях термодинамически наиболее стабильной водной фазой, конденсирующейся из газа, оказывается именно газовый гидрат).

Таким образом, благодаря своим широким функциональным возможностям новое поколение приборов семейства «КОНГ» — измерителей точек росы газа по водным фазам и тяжелым углеводородам — легко адаптируется к современным требованиям отраслевого стандарта по показателям качества товарного газа, поставляемого в магистральные газопроводы.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ ПЕРЕНОСНОГО АНАЛИЗАТОРА В ПРАКТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

Испытания проводились в период с 20.11.2002 г. по 22.11.2002 г. на Алгайском ЛПУ МГ ООО «Югтрансгаз». Показания Переносного анализатора сравнивались с показаниями сорбционного гиг-

Таблица 4
Результаты замеров 21.11.02 г. с применением фильтра влаги из хлорида кальция

Давление, бар	Показания анализатора КОНГ-ПРИМА 4П		Показания прибора «Чандлер»
	по влаге, °С*	по углеводородам, °С**	по углеводородам, °С
46	-	-14,0	-14,2
40	-	-13,3	-15,4
35	-	-12,7	-16,3
30	-	-12,2	-17,0
25	-	-11,7	-18,0
20	-	-14,7	-18,5
10	-	-17,0	-

* при сравнительных данных испытаниях измерение температуры точки росы по влаге Переносным анализатором не производилось;

** результаты измерения температуры точки росы при более низкой чувствительности.

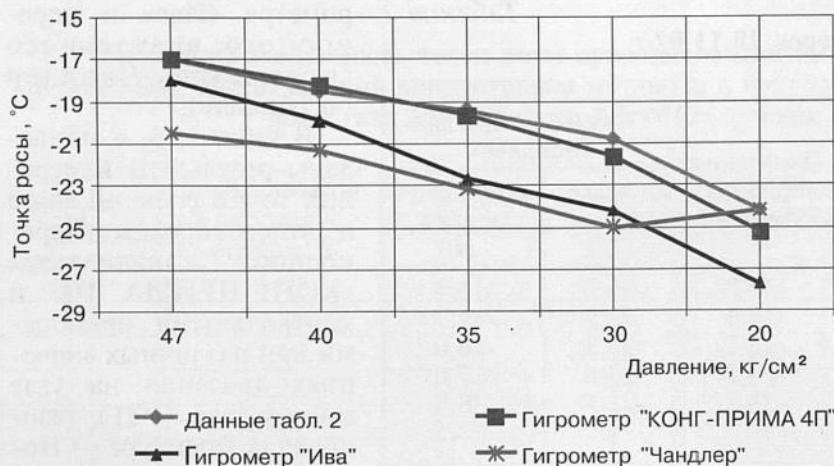


Рис. 5. Сравнение показаний гигрометров с данными таблицы определения точки росы

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Переносной анализатор «КОНГ-ПРИМА 4П» — автономный, портативный, высокоинтеллектуальный гигрометр, принадлежащий к классу автоматических зеркальных гигрометров и реализующий конденсационный метод измерения, является перспективным отечественным измерителем точки росы по воде и углеводородам.

Важными отличительными особенностями Переносного анализатора от портативных гигрометров других производителей являются:

- применение современных электронных и информационных технологий, реализованных и первоначально методически отработанных в стационарном приборе «КОНГ-ПРИМА 4» [1];

- наличие встроенной системы газоподготовки, позволяющей варьировать давление пробы газа от рабочего давления в трубопроводе до нормального давления (т.е. измерять полные кривые температур точек конденсации углеводородов и разнообразных водных фаз от давления), что существенно расширяет возможности технологического использования переносного прибора на газовых промыслах и на СПХГ;

- наличие встроенного калибратора, что дает уникальную на сегодня возможность оперативно самотестировать прибор, а также проводить поверки стационарно-установленных приборов семейства «КОНГ».

Таким образом, Переносной анализатор «КОНГ-ПРИМА 4П» имеет широкие перспективы практического использования в газовой и других отраслях промышленности (нефтяной, химической промышленности, металлургии, энергетике, приборостроении) для контроля процессов по параметрам точки росы технологического газа. В газовой отрасли Переносной анализатор может эффективно применяться:

- в установках комплексной подготовки природного газа на газовых промыслах и на станциях подземного хранения газа для контроля процессов подготовки газа к транспорту и оптимизации работы установок НТС, абсорберов и т.д.;

- в качестве контрольного прибора на газоизмерительных станциях при транспортировке газовых потоков;

- для контроля показателей осушки газа на автомобильных газонаполнительных компрессорных станциях;

- как комплекс для поверки калибровочной характеристики как самого Переносного анализатора, так и других влагомеров семейства «КОНГ-ПРИМА»;

- как научно-исследовательский комплекс для изучения термодинамических процессов льдообразования, гидратообразования и конденсации-испарения воды в различных газообразных средах и при различных давлениях.

Список литературы

1. Деревягин А.М., Селезнёв С.В., Степанов А.Р. Анализатор точки росы по влаге и углеводородам «КОНГ-ПРИМА-4» // Наука и техника в газовой промышленности, 2002. № 1.
2. Селезнёв С.В., Агальцов А.Г., Деревягин А.М. Использование влагомеров семейства «КОНГ-ПРИМА» для измерения точки росы сжатого природного газа на АГНКС // Моторное топливо, 2002.
3. Сидячева Т.П., Катаева М.А., Калинин В.Н., Смагина Т.Р. Методический подход к вопросу оценки содержания метанола различных концентраций в газовых, жидких углеводородных и водных средах / Сб.: «Проблемы освоения месторождений Уренгойского комплекса». — М.: Недра, 2003. — С. 194-200.
4. Истомина В.А., Деревягин А.М., Селезнёв С.В., Степанов А.Р., Агальцов А.Г. Экспериментальное исследование термодинамики и кинетики кристаллизации газовых гидратов из газовой фазы / Тезисы докладов Российской конференции «Газовые гидраты в Экосистеме Земли — 2003», 27-29 января 2003 г., Новосибирск.
5. Селезнёв С.В., Деревягин А.М., Агальцов А.Г., Степанов А.Р., Ефимов Р.Н., Михайлов Ю.В., Губанов В.А., Истомина В.А. Поверочный комплекс КОНГ. // Наука и техника в газовой промышленности, 2003. — № 1.