

А.М. Деревягин¹, e-mail: info@npovympel.ru; **Г.А. Деревягин¹**, e-mail: gleb.derevyagin@npovympel.ru;
В.В. Козлов¹, e-mail: vv.kozlov@npovympel.ru

¹ ООО «НПО «Вымпел» (Москва, Россия).

Разработка и эксплуатационные испытания одноточной газоизмерительной станции на ультразвуковых преобразователях расхода Ду 1400 и узла поверки на месте эксплуатации производства ООО НПО «Вымпел»

Газоизмерительные станции (ГИС) магистральных газопроводов предназначены для измерения количественных и качественных показателей газа на объектах транспортировки и распределения и представляют собой сложные и дорогостоящие комплексы оборудования. Традиционный метод измерения расхода газа диафрагмами по-прежнему находит широкое применение, несмотря на ограниченную точность метода. Для уменьшения стоимости, увеличения пропускной способности и улучшения метрологических характеристик многие станции за рубежом переходят с диафрагм и турбинных счетчиков на ультразвуковые расходомеры. В статье описан инновационный подход к решению проблемы – создание одноточной ГИС на трубопроводе большого диаметра с использованием ультразвукового преобразователя расхода.

В 2014 г. ООО «Газпром трансгаз Москва» и ООО «НПО «Вымпел» при участии ФГУП ВНИИР приступили к разработке пилотного инновационного проекта по разработке многоканального ультразвукового преобразователя расхода природного газа как основного фрагмента ГИС для газопроводов большого диаметра. Предполагаемое место установки – подземный входной участок магистрального газопровода Ду 1400 на КС «Донская».

При создании ультразвукового расходомера газа на условный проход Ду 1400 использована многохордовая схема расположения измерительных каналов с погружными пьезоэлектрическими датчиками углового ввода. Такая схема хорошо учитывает неравномерность скоростей в эюре потока измеряемой среды. Расходомер использует время-импульсный метод измерения, где разность времен распространения акустических сигналов по потоку изме-

ряемой среды и против него пропорциональна скорости измеряемой среды по каждому измерительному каналу. Далее определяется средняя скорость потока в трубопроводе суммированием данных, полученных по каждой хорде с соответствующим весовым коэффициентом. Позиционное расположение хорд соответствует квадратурной формуле Гаусса. При проектировании расходомера на Ду 1400 рассматривались варианты с пятью, шестью и семью хордами. Суммарное расчетное увеличение точности в этих вариантах по сравнению с четырьмя хордами не превышало 0,1%, но появлялись технологические трудности выполнения крайних хорд, находящихся близко к стенке трубопровода. В результате баланса компромиссов при создании расходомера Ду 1400 применена 4-хордовая схема, которая успешно апробирована в конструкциях разработанных ООО «НПО «Вымпел» расходомеров на меньшие условные

проходы, в частности Ду 300 и Ду 500. Для увеличения надежности и точности использована конструкция «катушки», имеющей два пересекающихся измерительных сечения по четыре хорды в каждом. Обработка результатов в таком преобразователе может производиться как суммарно, по двум сечениям, так и отдельно, по каждому из них. Кроме того, при установке двух блоков электроники одно из сечений может быть рабочим расходомером, а другое – дублирующим.

Основу конструкции преобразователя расхода составляет отрезок трубы диаметром 1420 мм длиной 1100 мм с приваренными к ней патрубками углового ввода для установки датчиков, образующих два пересекающихся 4-хордовых измерительных сечения. На трубную «катушку» установлены две прочные поперечные стяжки, убирающие овальность трубы и обеспечивающие необходимую жесткость всей конструкции при

обработке посадочных мест в патрубках для установки пьезодатчиков. Обработка посадочных мест производилась на горизонтально-расточном станке с ЧПУ (рис. 1).

Далее две такие «катушки» соединялись стыковым сварочным швом, образуя единую конструкцию измерительного преобразователя расходомера. Обработка данных измерений в этой конструкции обеспечивается независимой установкой двух 8-канальных блоков электроники. Таким образом, сдвоенная «катушка» обеспечивает условие дублирования приборов, установленных в одной нитке. Каждый блок имеет независимые каналы измерения давления и температуры. Отбор рабочего давления производится в верхней части трубы, через отсекающий кран. Для измерения температуры в пространство между стяжками на теплопроводную пасту установлены накладные платиновые термопреобразователи с последующей наружной теплоизоляцией. В последующем возможна установка погружных



Рис. 1. Обработка корпуса расходомера на горизонтально-расточном станке с ЧПУ

термопреобразователей через лифтовый кран для их подъема при прохождении очистного поршня.

На патрубках пьезоэлектрических датчиков предусмотрена наружная коническая резьба для установки устройства замены датчиков без снятия давления в трубопроводе, с помощью которого также можно установить технологические заглушки вместо рабочих датчиков в случае прохождения очистного поршня. Для организации прямых участков использованы отрезки трубы, приварен-

ные встык к преобразователю расхода. Общая длина конструкции составляет 12 м, что определялось возможностью транспортирования изделия стандартными транспортными средствами. Поскольку вес измерительной нитки превышает 10 т, для межцехового перемещения в процессе изготовления и испытаний спроектировано и изготовлено нестандартное самоходное транспортное устройство. На рисунке 2 приведен вид бесфланцевой расходомерной «катушки» Ду 1400 в сборе с прямыми участками.

Важнейшим элементом УЗПР является пьезоэлектрический преобразователь. Датчики, используемые в данной разработке, относятся к резонаторного типа, прототипом которого является полуволновый генератор Тонпильца, и работают в режиме «излучение – прием». Для демпфирования распространения сигнала на корпус расходомера кроме конструктивных решений используется заливка внутренних полостей элементов преобразователя эластичным



Рис. 2. Общий вид бесфланцевой УЗПР с прямыми участками



Рис. 3. Семейство базовых конструкций ПЭП ООО «НПО «Вымпел»

компанудом с вольфрамовым наполнителем. Разработка оптимальных конструктивно-технологических решений базовой реализации преобразователей проводилась на основе анализа геометрических моделей устройства с применением метода конечных элементов и использованием программной среды ANSYS.

Составные части преобразователей изготавливаются из высокопрочного износостойкого титана на высокоточных ЧПУ-станках с использованием для дальнейшей сборки лазерной сварки. Преобразователи являются полностью герметичными и выдерживают давление до 30 МПа. Все преобразователи в ходе выпуска подвергаются температурным испытаниям в диапазоне от -40 до $+60$ °С и виброиспытаниям. Семейство базовых конструкций пьезоэлектрических датчиков приведено на рисунке 3.

УЗПР оснащен двумя взрывозащищенными 8-канальными низкопотребляющими блоками электроники со встроенными корректорами, каждый из которых имеет независимый канал измерения давления и температуры. Внутрипри-

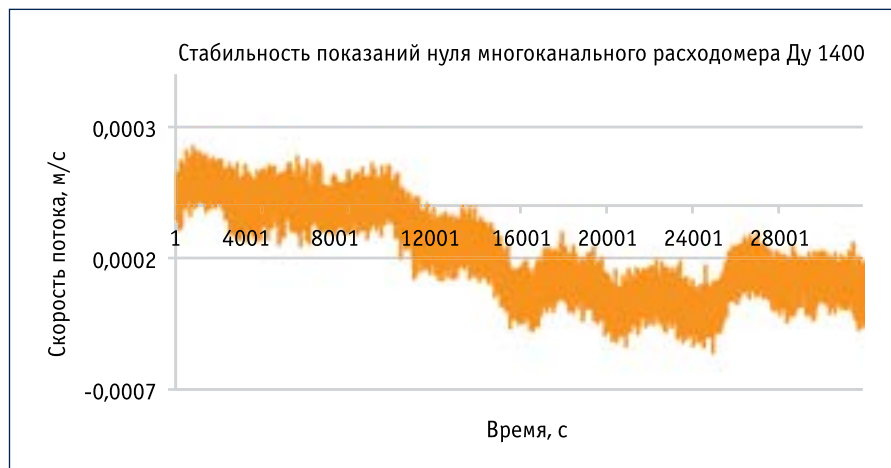


Рис. 4. Трасса «нулевого расхода» за 7 часов

борное ПО (программное обеспечение) каждого блока обеспечивает управление режимами измерений по восьми каналам и в соответствии с заложенным алгоритмом реализует пять полных циклов измерения в секунду. Блок электроники обеспечивает приведение измеренного расхода к стандартным условиям по давлению и температуре с использованием метода расчета коэффициента сжимаемости NX19mod, GERG-91mod и AGA8 (по выбору оператора). Блок обеспечивает передачу данных в системы верхнего уровня по стандартному интерфейсу RS-485 и оснащен индикаторным устройством, на который выводится оперативная информация о результатах измерения. При калибровке расходомера используется пропорциональный рабочему расходу частотный выход. Доступ к прибору обеспечивается терминальной пользовательской программой Uniterm, обеспечивающей вывод из внутренней памяти расходо-

мера отчетов, трасс вмешательств, параметров конфигурации прибора и т.д. Изготовленная конструкция опытного образца бесфланцевого УЗПР прошла цикл заводских испытаний, а именно: гидроиспытания на прочность и герметичность полторным рабочим давлением, контроль геометрических размеров, являющихся расчетными и записываемых в блок электроники при конфигурации, долговременные испытания стабильности «нулевого» расхода и калибровку по расходу на воздухе с использованием специально спроектированного стенда. На рисунке 4 приведена трасса «нулевого» расхода за 7 часов. На рисунке 5 показан поверочный стенд для калибровки УЗПР. В качестве эталона при калибровке использовался ультразвуковой расходомер Ду 500, прошедший испытания в поверочном центре NMI Euroloop (Голландия) и имеющий погрешность $\pm 0,3\%$. Результаты заводской калибровки УЗПР, приведенные в таблице, позволяют установить заявляемую погрешность замерного узла одноточечной ГИС не хуже $\pm 0,7\%$.

В целях проверки работоспособности, оценки метрологических и эксплуатационных характеристик измерительного комплекса одноточечной ГИС DN1400 в реальных условиях эксплуатации и определения возможности применения измерительного комплекса одноточечной ГИС DN1400 на объектах ПАО «Газпром» прошедший цикл заводских испытаний сдвоенный бесфланцевый УЗПР в июле 2015 г. последователь-



Рис. 5. Стенд для калибровки УЗПР

Таблица. Данные калибровки УЗПР на воздухе

Время измерения, с	Кол-во измерений	Эталон 500	УЗПР 1400_1						УЗПР 1400_2					
		Ср. расход, м³/ч	Ср. расход, м³/ч	Отн. погрешность, %	Неискл. системат. погрешность, %	СКО случайной погрешности, %	Коэффициент Стьюдента	Дов. граница случайной погрешности, %	Ср. расход, м³/ч	Отн. погрешность, %	Неискл. системат. погрешность, %	СКО случайной погрешности, %	Коэффициент Стьюдента	Дов. граница случайной погрешности, %
180	10	18733,712	18760,70	0,1441	0,1442	0,1821	2,262	0,412	18774,90	0,2198	0,2201	0,1603	2,262	0,363
300	6	18733,712	18760,64	0,1437	0,1439	0,1304	2,570	0,335	18774,88	0,2198	0,2200	0,1504	2,570	0,387



Рис. 6. Бункер со смонтированным УЗПР



но со штатной ГИС был смонтирован на подземном входном участке магистрального газопровода на КС «Донская». СМР проводились в соответствии с проектной документацией, разработанной ИТЦ ООО «Газпром трансгаз Москва». Одновременно на байпасе ГИС также был смонтирован эталон сличения – ультразвуковой расходомер «Вымпел-500», откалиброванный в поверочном центре NMI с погрешностью $\pm 0,3\%$ с целью исследования возможности проведения периодической калибровки УЗПР. Монтаж составных частей комплекса и пусконаладочные работы проводились силами ООО «Газпром трансгаз Москва» при участии ООО «НПО «Вымпел». УЗПР (основной и дублирующий) был смонтирован в бункере, над которым возведено укрытие. Вид смонтированного УЗПР приведен на рисунке 6.

Все расходомеры (основной, дублирующий и эталонный) запитываются из аппаратной по комбинированному кабелю DMX514, имеющему силовую линию и экранированную витую пару для передачи данных. Питание 24В обе-

спечивается от источника бесперебойного питания, обеспечивающего подачу автономного питания в течение двух суток. В качестве концентратора данных использован интерфейсный блок, разработанный ООО «НПО «Вымпел». Данные, получаемые с УЗПР, сравнивались с результатами измерений штатной

объектовой системой коммерческого учета ГИС-1, состоящей из пяти измерительных трубопроводов DN700 с установленными стандартными сужающими устройствами. В качестве вычислителя используется измерительный комплекс «Суперфлоу-III» в комплекте с датчиками перепада давления и температу-

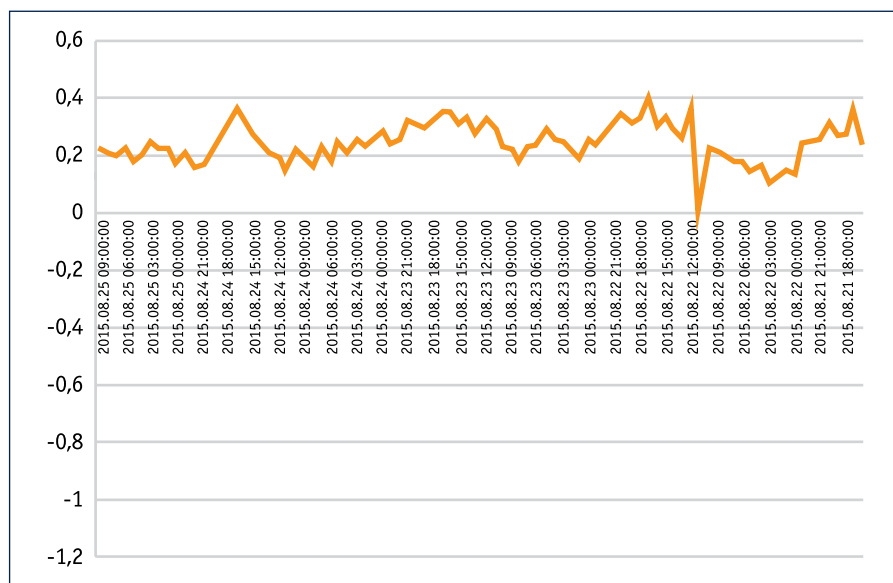


Рис. 7. Относительная разница часовых значений расхода УЗПР от штатной ГИС (90°)

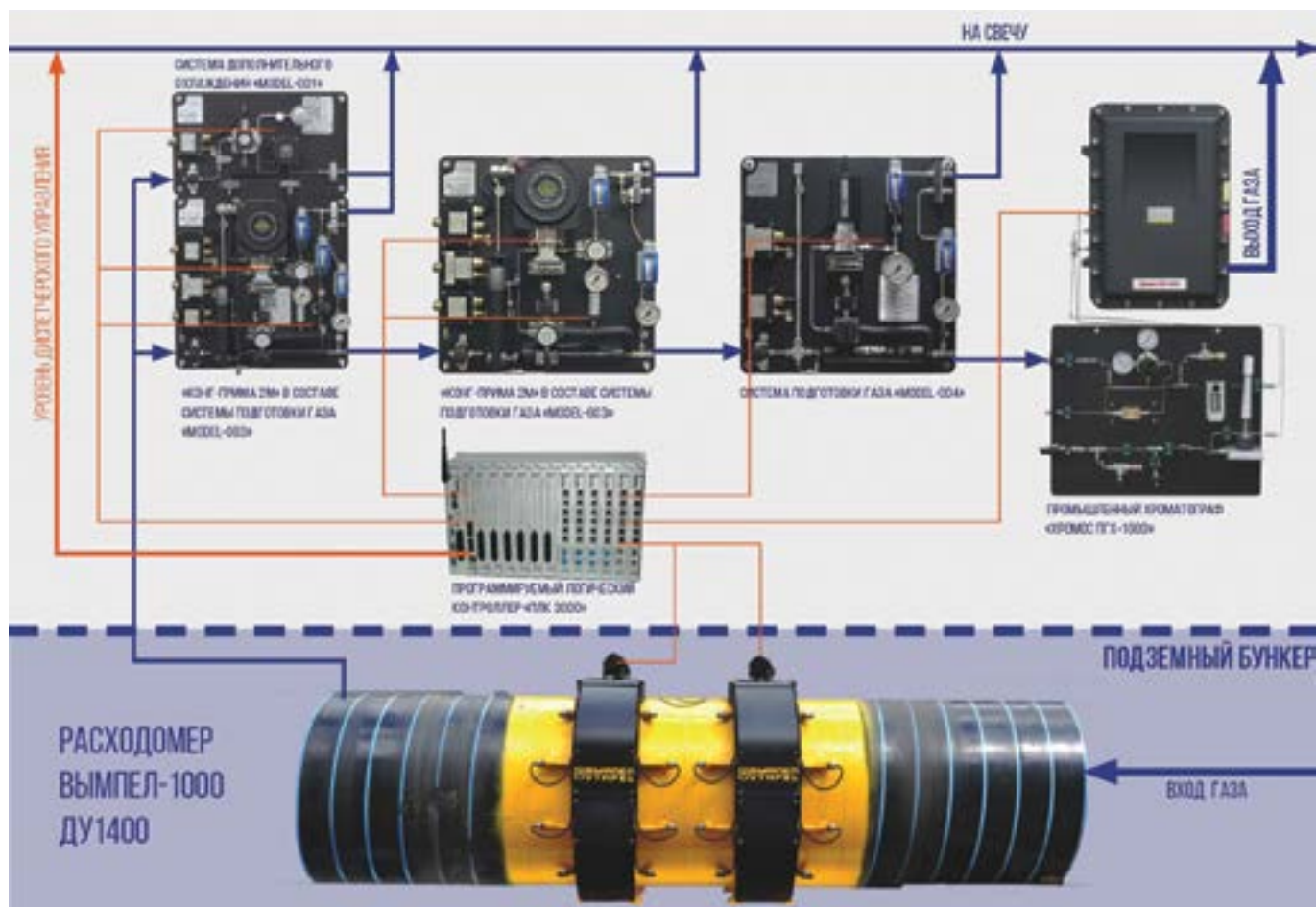


Рис. 8. Структура системы измерения качества газа

ры (основная и дублирующая системы измерений).

Температура газа в месте установки составных частей измерительного комплекса – от -5 до $+30$ °С. Избыточное давление находится в пределах 5,5–7,5 МПа.

Для расчета факторов сжимаемости при стандартных и рабочих условиях применяют одинаковые уравнения в измерительных комплексах УЗПР, штатной ГИС и эталона сличения. Компонентный состав газа также принимается одинаковым.

Результаты полученных и обработанных сравнительных данных УЗПР относительно показаний штатной ГИС приведены на рисунке 7.

Как видно из сравнительных данных, УЗПР, откалиброванный по переносчику единицы расхода, без введения дополнительных коррекций обеспечивает хорошую сходимость с данными штатной ГИС. При этом относительная разница

показаний рабочего УЗПР от дублирующего не превышает $\pm 0,1\%$.

В настоящее время измерительный комплекс одноточечной ГИС будет дополняться системой измерения параметров качества газа. Система измерения физико-химических параметров газа скомпонована в блок-боксе и содержит анализатор кислорода «АНОкс», потоковый преобразователь точки росы по влаге «Конг-Прима-2М», потоковый преобразователь точки росы по углеводородам «Конг-Прима-2М» и газовый хроматограф «Хромос». Структура системы измерения ФХП приведена на рисунке 8.

Результаты испытаний УЗПР в условиях Донского ЛПУ МГ ОАО «Газпром трансгаз Москва» позволяют рассчитывать на возможность создания одноточечных ГИС нового поколения на трубопроводах большого диаметра. Включение в состав одноточечной ГИС ультразвукового эталона сличения позволит

проводить поверку замерного узла ГИС на месте эксплуатации. Кроме того, существуют предпосылки уменьшения погрешности измерения расхода, что повысит уровень достоверности при сведении балансов на границах передачи газа. Экономическая эффективность внедрения одноточечных ГИС на трубопроводах большого диаметра очевидна – это снижение стоимости по сравнению с существующими решениями в 2–3 раза, что позволяет рассчитывать на высокую окупаемость затрат.



000 «НПО «Вымпел»
Тел./факс: +7 (495) 992-38-60
e-mail: dedovsk@npovympel.ru
www.npovympel.ru

на правах рекламы