



## **Новый способ измерения расхода природного газа ультразвуковым методом**

### **Авторы**

А.М. Деревягин, А.С. Фомин,  
В.В. Козлов  
«Вымпел»  
Н.Ф. Столяр, А.Г. Лыков  
«Газпром»  
Россия

## **1. РЕЗЮМЕ**

В последние 10-12 лет наблюдается стремительно возрастающий интерес к применению ультразвуковых технологий для учета количества природного газа при его производстве и передаче. На сегодняшний день ультразвуковая расходометрия рассматривается, как реалистическая и конкурентноспособная альтернатива существующим средствам, таким как турбинные счетчики и диафрагменные узлы учета. Такой интерес основан на преимуществах УЗ-технологий, а именно:

- Неинвазивность измерения (нет нарушения потока).
- Отсутствие потерь давления.
- Большой динамический диапазон (40:1 и более).
- Двухнаправленный режим работы (уменьшение потребности в трубопроводах).
- Короткие требуемые длины прямых участков (обычно 10 и 5 диаметров соответственно).
- Возможности уменьшенной зависимости от калибровки.

В работе рассмотрены результаты разработки ультразвукового расходомера полученные кампанией «Вымпел». Представлены результаты испытаний и эксплуатации расходомеров «Гиперфлоу-УС». Проанализированы перспективы промышленного внедрения прибора на трубопроводах от 100 до 1600 мм.

**СОДЕРЖАНИЕ**

<b>1. РЕЗЮМЕ .....</b>	<b>2</b>
<b>2. Стаття .....</b>	<b>4</b>
<b>3. Литература .....</b>	<b>13</b>
<b>4. Список рисунков .....</b>	<b>14</b>

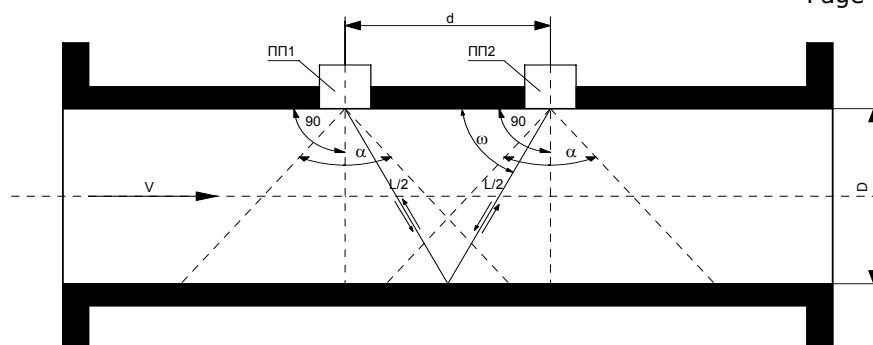
## 2. **СТАТЬЯ**

В результате исследований ультразвукового метода измерения расхода природного газа, был разработан новый способ, отличающийся от известных ранее. В основу разработки был положен время-импульсный метод, когда скорость потока газа определяется измерением времени пролета высокочастотного звукового импульса распространяющегося поперек трубы под углом к оси вдоль и против газового потока. Для каждого акустического пути, разница между временем пролета по и против потока, пропорциональна средней скорости газового потока вдоль акустического пути. При разработке ставилась задача минимизировать недостатки, присущие ультразвуковым расходомерам, выполненным по классической схеме.

Как известно, во всех известных расходомерах, реализующих этот метод, датчики расположены под углом к поверхности трубопровода. Вследствие этого либо существуют камеры в местах установки преобразователей, либо последние выступают во внутреннюю полость трубопровода, являясь препятствием для движения рабочей среды. В обоих случаях происходит засорение излучающей поверхности датчика пылью и грязью, содержащихся в газе, и как следствие снижение характеристик датчиков или выход их из строя. Кроме того, установка датчиков прибора на трубопровод под углами к оси возможна только в заводских условиях.

Принципиальные особенности предложенного способа основаны на использовании широкоапертурных врезных пьезоэлектрических датчиков, устанавливаемых перпендикулярно оси газопровода, что обеспечивает следующие преимущества:

- существенное снижение трудоемкости монтажа и возможность установки расходомера на участок действующего трубопровода на месте эксплуатации;
- отсутствие карманов за счет совмещения внешней излучающей поверхности датчика с внутренней поверхностью измерительного трубопровода;
- возможность получения и обработки сигналов по нескольким акустическим путям за один цикл измерения на одной паре датчиков работающих попеременно в режиме «прием-передача». Средняя скорость газа в трубопроводе вычисляется через значения средних скоростей по нескольким различным акустическим лучам. Алгоритм обработки сигналов учитывает как лучи, прошедшие через ось измерительного участка трубопровода, так и лучи, прошедшие по хордам, путём многократного переотражения.



$$u = L^2 * \Delta t / 2d * t_{12} * t_{21} ,$$

$$u_a = k * u$$

$$Q_p = \pi * D^2 * k * u_a / 4$$

Рис. 1. Реализация предложенного ультразвукового способа измерения расхода газа

Были разработаны несколько модификаций конструкции датчиков, включающих в себя корпус из нержавеющей стали с уплотнительными кольцами, излучатель мембранного типа на пьезокерамике с радиальной модой колебаний обеспечивающий угол излучения в  $75^\circ$ , и демпфер, подавляющий обратное излучение звуковой волны в стенку трубопровода.



Рис. 2. Пьезоэлектрические датчики прибора

Для обеспечения прочности датчиков в зонах высокого давления в конструкцию датчика введены компенсирующие каналы, выравнивающие давление во внутренней полости излучателя. Для низких давлений конструкция датчика герметична. Для агрессивных сред, в частности факельных газов, разработана специальная

конструкция герметичного датчика с демпфером, имеющим наружную оболочку из тонкостенной металлической трубки.

Использование датчика с широкой диаграммой направленности, помимо преимуществ, создало некоторые технические трудности, связанные с ограничением длительности сигнала. В разработанном приборе эта задача решена путем синтеза специального сигнала возбуждения, который подавляет свободные колебания приемника без ограничения его добротности. Для этого датчики периодически тестируются, и записывается их реакция. Далее производится синтез сигнала возбуждения.

Затем, по известным параметрам датчиков и сигналу возбуждения строится модель ожидаемого сигнала приемника, которая используется при обработке реального сигнала. Полученный сигнал подвергается фазовой коррекции для учета эффектов, возникающих при отражении от стенок трубопровода.

Описанная процедура производится с определенной периодичностью, поскольку параметры датчика зависят от внешних условий. Измерение времени распространения сигнала производится следующим образом. На один из датчиков подается синтезированный сигнал возбуждения. Сигнал второго датчика записывается.

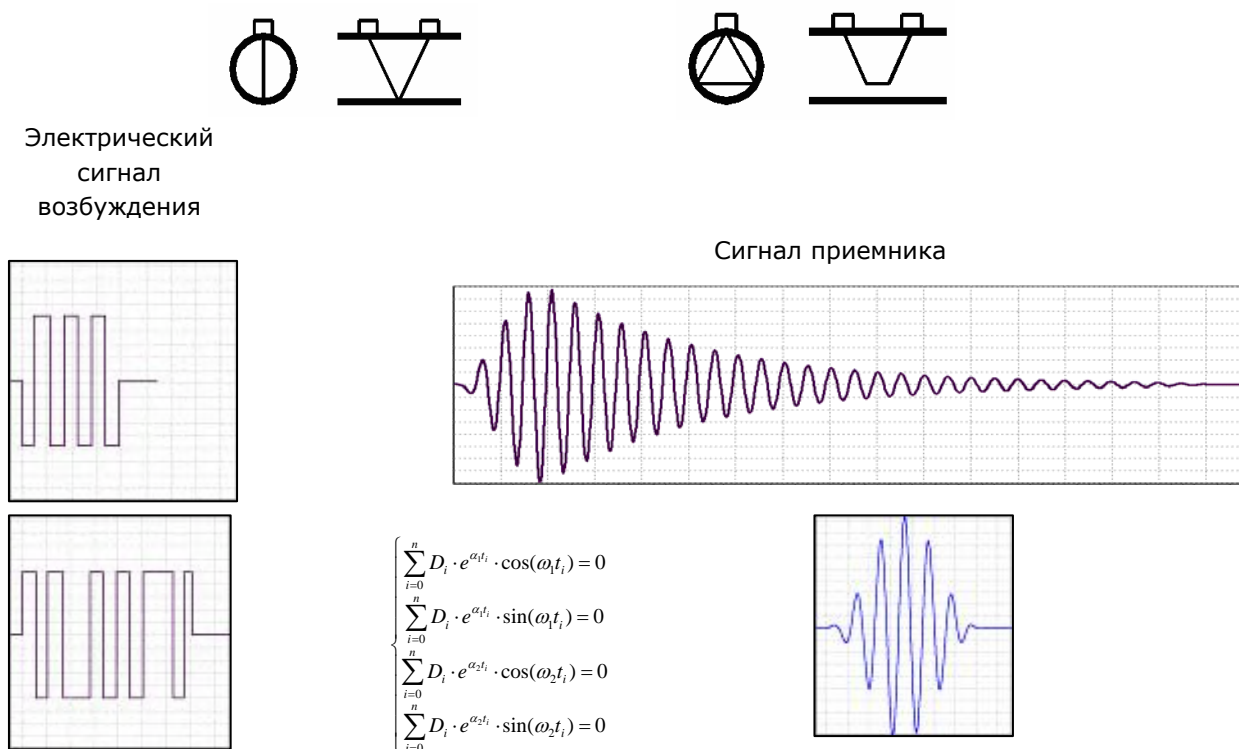


Рис. 3. Формирование акустического сигнала

После этого вычисляется корреляционная функция между принятым сигналом и моделью ожидаемого сигнала. Время максимума корреляционной функции соответствует времени

распространения сигнала. Причем для различных путей распространения акустической волны используется свой максимум. Через интервал времени, достаточный для затухания акустических колебаний в измеряемой среде, процесс повторяется, но со сменой функций датчиков, т.е. бывший передатчик становится приемником, а бывший приемник – передатчиком.

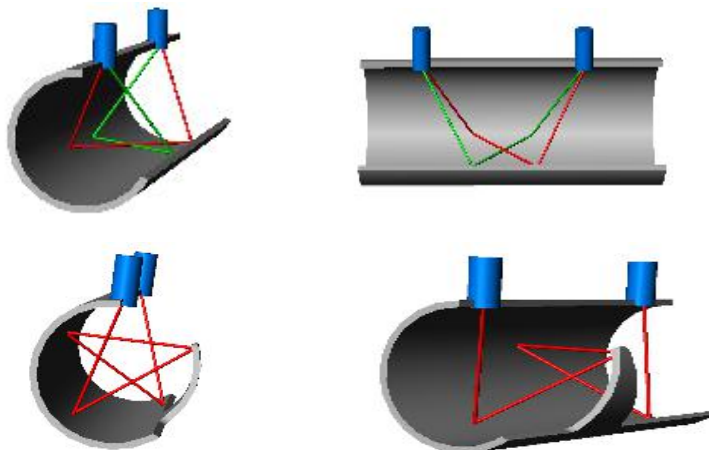


Рис. 4. Варианты прохождения ультразвуковых лучей между преобразователями

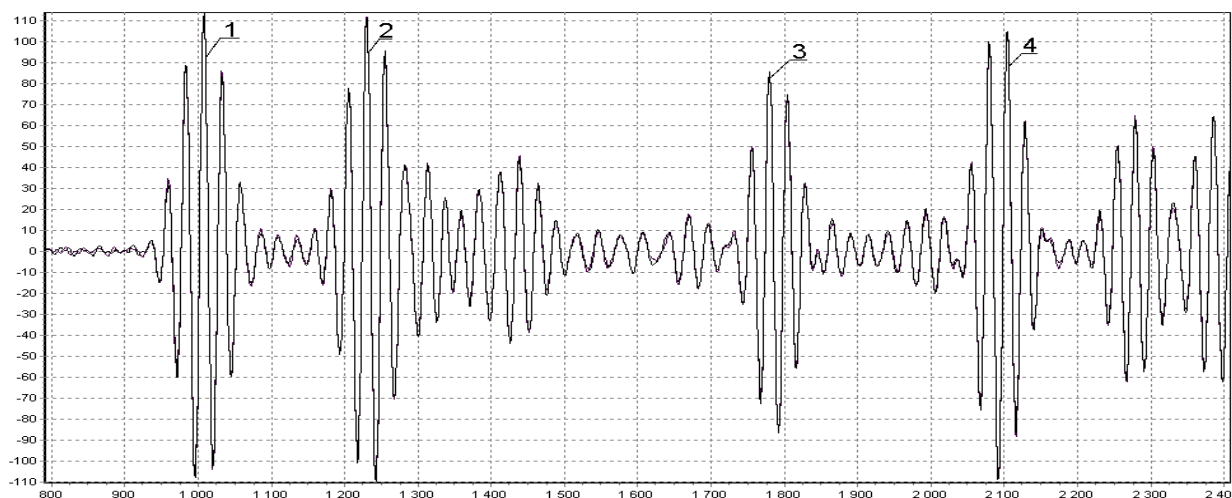


Рис. 5. Временное распределение сигналов

Реализация этого алгоритма обеспечивается программно-аппаратной частью прибора, основанной на использовании мощного цифрового сигнального процессора, работающего на тактовой частоте 100МГц и нескольких вспомогательных процессоров выполняющих функции управления энергопотреблением,

обработкой сигналов датчиков давления и температуры, приведения значений расхода к нормальным условиям, обслуживания внешних интерфейсов, запись архивов, некоторые вспомогательные операции и вычисления.

Важной особенностью разработанного прибора является возможность длительной работы под автономным питанием от встроенной литиевой батареи. Время непрерывной работы прибора в автономном режиме более одного года. Монтаж прибора может быть осуществлен на газопроводы диаметром от 100 до 1600 мм следующими способами:

- монтаж расходомера на действующий участок газопровода при сравненном давлении. Для обеспечения данного вида монтажа разработан комплект специальной технологической оснастки, обеспечивающий выполнение геометрических размеров при установке патрубков для датчиков прибора.
- монтаж расходомера на газопровод, находящийся под действующим давлением включая огневые работы. Для этого разработано и отдельно сертифицировано устройство врезки под давлением обеспечивающее, как вскрытие трубопровода при давлениях до 100 кг/см, так и замену пьезоэлектрических датчиков в процессе эксплуатации под действующим давлением. Устройство врезки позволяет обеспечивать вскрытие стенки трубопровода до 26 мм с помощью корончатых или полых фрез диаметром 19 мм.
- расходомер может быть поставлен в комплекте с фланцевой измерительной катушкой.

Разработанный расходомер полностью сертифицирован и прошел все виды испытаний. Базовая модель расходомера состоит из блока электроники, датчиков давления (избыточного или абсолютного) и температуры (накладного или погружного) четырех пьезоэлектрических датчиков, организующих два независимых канала измерения скорости потока. Расходомер сертифицирован на взрывобезопасность-вид взрывозащиты «искробезопасная электрическая цепь уровня *ib*». По дополнительному заказу могут быть поставлены: барьер искрозащиты, источник сетевого питания, GSM-модем, конвертер связи с системами телемеханики.

Вычисление расхода и объема газов производится в соответствии с методикой выполнения измерений ультразвуковыми преобразователями разработанной предприятием «Газметрология» и имеющей статус стандарта ОАО «Газпром». Физические свойства природного газа вычисляются в соответствии с требованиями ГОСТ 30319.1 и ГОСТ 30319.2 методами NX19mod, GERG91mod и AGA8-92DC.

Расходомер обеспечивает регистрацию во встроенной энергонезависимой памяти и вывод на встроенный индикатор и внешний порт среднечасовых и среднесуточных значений избыточного (абсолютного) давления, расхода в рабочих условиях, температуры, объема измеряемой среды и теплоты сгорания, а



также регистрацию данных о вмешательствах оператора или информационной системы в любые параметры настройки расходомера. Длина часовых архивов данных – 50 суток, длина суточных архивов данных – 600 суток, длина архива вмешательств – до 1200 сообщений.

Расходомер также обеспечивает автоматическую фиксацию во времени нештатных ситуаций, связанных с отказами датчиков, измерительных каналов, снижением напряжения встроенного источника электропитания и.т.д.

Конфигурирование прибора может осуществляться с помощью переносного терминала по инфракрасному порту или с помощью терминальной программы установленной на технологическом компьютере. Терминальная программа позволяет считывать архивы данных и архивы вмешательств по интерфейсу EIA RS-232 от 16 приборов «ГиперФлоу-УС».

Предел допускаемой относительной погрешности измерений расхода и объема газа в рабочих условиях по индикатору и цифровому выходу расходомера не хуже  $\pm 0,75\%$  (для исполнения с фланцевой катушкой). При этом диапазон измеряемых скоростей составляет от 0,3 до 40 м/сек.

Исследование метрологических характеристик прибора проводилась в Уральском метрологическом центре Газпрома. В качестве эталонного средства использовался турбинный счетчик SM-RI-X-L кампании "Instromet". Как видно из приведенного сертификата относительная сходимост измерения в диапазоне расходов не превышает 0.28%.

Поверка расходомера производится на имитационном поверочном стенде с помощью программы «Poverka.exe». Поверочный стенд представляет собой отрезок трубопровода Ду=150 заглушенный с двух сторон с установленными патрубками для размещения датчиков прибора.



Q, %	Q, m <sup>3</sup> /h	Deviation, %	St. deviation, %	Adj. deviation, %
5.33	85.27	-0.36040	0.28851	
9.96	159.42	-0.26034	0.22938	
20.66	330.59	0.07321	0.19881	
40.89	654.20	0.06525	0.21536	
60.10	961.57	-0.03648	0.19554	
80.72	1291.59	-0.08587	0.19192	
99.37	1589.93	-0.20263	0.23355	

Recommended new Adjust factor, %:

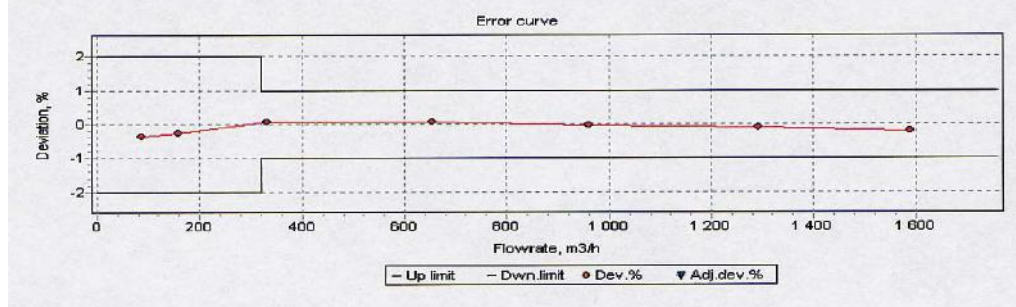


Рис. 6. Ультразвуковой расходомер на измерительной нитке Ду200 метрологического центра

Суть поверки заключается в том, что производятся измерения скорости звука на неподвижной среде по разным акустическим путям, как при атмосферном давлении, так и при давлениях до 50 кг/см<sup>2</sup>.

Скорость звука, измеренная прибором по разным акустическим путям должна принимать одинаковые значения. В дальнейшем предполагается использовать заполнение поверочного стенда азотом, скорость звука в котором табулировано с высокой точностью. Поверочный стенд может быть использован в

региональных центрах стандартизации для периодической поверки ультразвуковых расходомеров находящихся в эксплуатации. Межповерочный интервал расходомера «Гиперфлоу-УС» составляет 2 года.

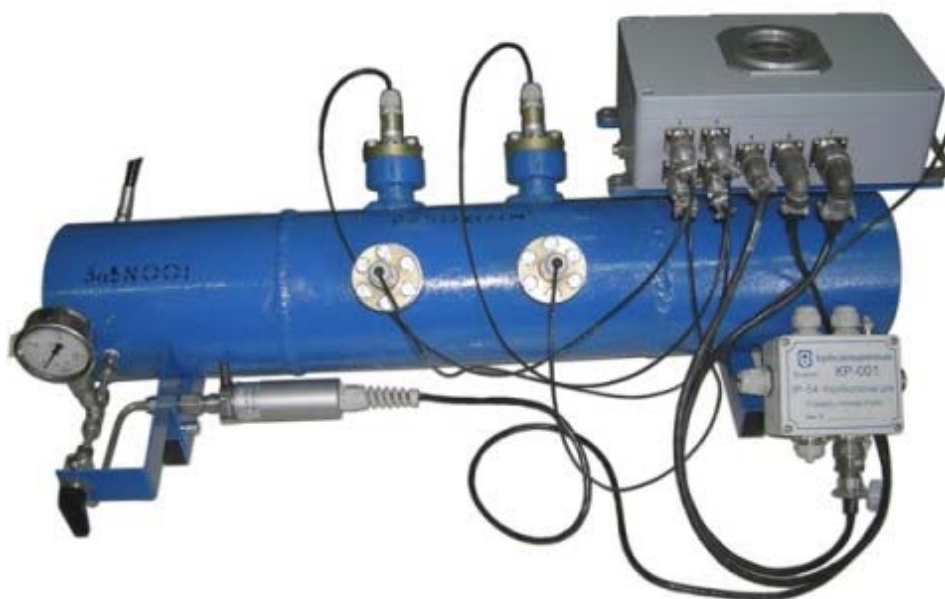


Рис. 7. Поверочный акустический стенд

На Рис.8 приведены примеры реализации замерных узлов на основе ультразвукового расходомера «Гиперфлоу-УС» на трубопроводах различного диаметра.



Рис. 8. Примеры реализации замерных узлов

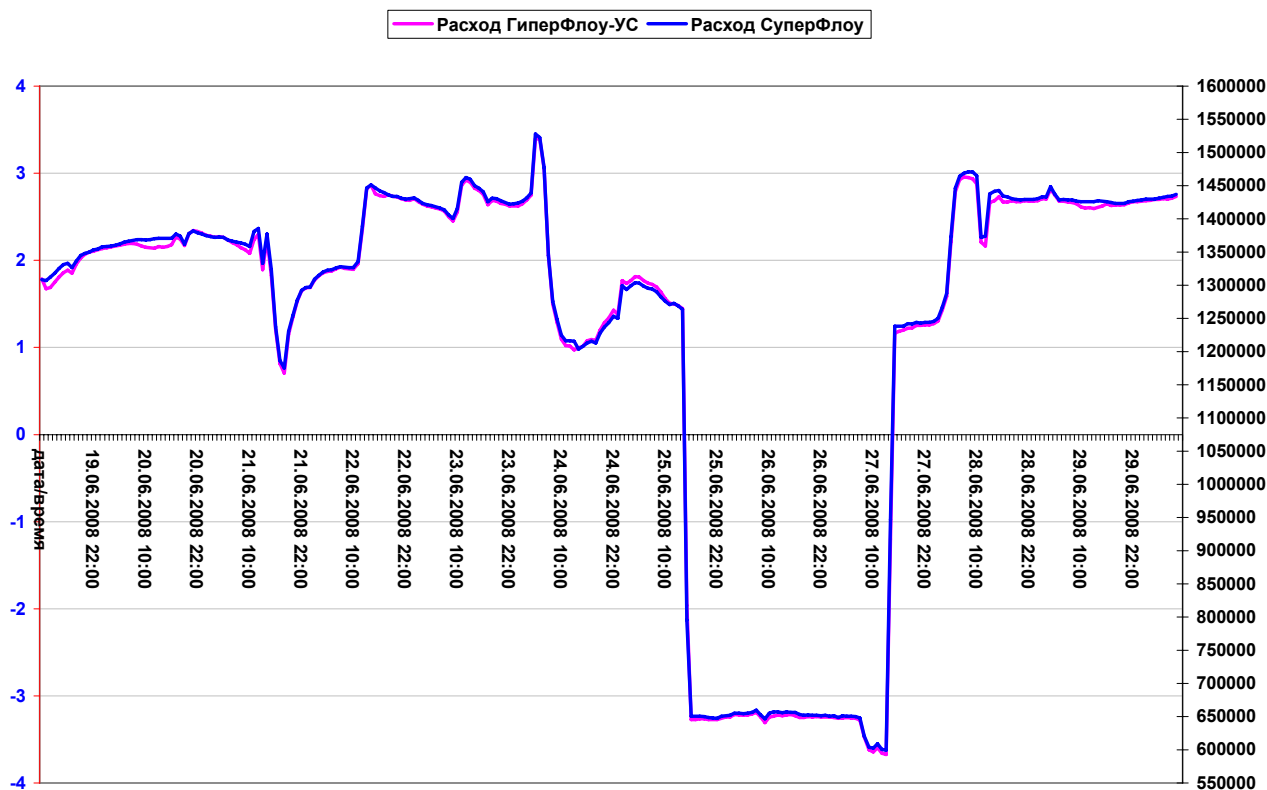


Рис. 9. График трасс расходов, измеренных ультразвуковым расходомером и расходомером на основе перепада давлений

В настоящее время на основе использования базовой модели ультразвукового расходомера «Гиперфлоу-УС» ведется разработка комплексного замерного узла учета с возможностью автокалибровки средств измерений на месте эксплуатации.

Опционно замерный узел может содержать средства контроля качества газа на основе использования гигрометра и газового хроматографа. Преимуществом такого замерного узла на наш взгляд будет существенное снижение затрат как при строительстве, так и текущей эксплуатации.

### **3.           ЛИТЕРАТУРА**

1. Пат. RU 2264602 С1.Ультразвуковой способ измерения расхода жидких и/или газообразных сред и устройство для его осуществления / А.М. Деревягин, А.С.Фомин, В.И.Свистун. Приоритет 12.04.2004.
2. Громов Г.В. некоторые особенности структуры многолучевого ультразвукового расходомера // Теорет. и эксперим. исслед. в области создания измерительных преобразователей расхода. – М.: НИИтеплоприбор, 1984. – С. 45-51.
3. Костылев В.В. Принципы построения многоканального ультразвукового расходомера // Совершенствование измерений расхода жидкостей, газов и пара: Материалы 12-й международной конференции. – СПб., 2002. – С. 119-123.
4. Деревягин А.М. Новый способ измерения расхода газа, реализованный в ультразвуковом расходомере «Гиперфлоу-УС» / А.М.Деревягин // Научно-технический отчет: ООО «НПФ «Вымпел». - Саратов, 2006. – 16 с.

#### **4. СПИСОК РИСУНКОВ**

Рис. 1. Реализация предложенного ультразвукового способа измерения расхода газа

Рис. 2. Пьезоэлектрические датчики прибора

Рис. 3. Формирование акустического сигнала

Рис. 4. Варианты прохождения ультразвуковых лучей между преобразователями

Рис. 5. Временное распределение сигналов

Рис. 6. Ультразвуковой расходомер на измерительной нитке Ду200 метрологического центра

Рис. 7. Поверочный акустический стенд

Рис. 8. Примеры реализации замерных узлов

Рис. 9. График трасс расходов, измеренных ультразвуковым расходомером и расходомером на основе перепада давлений