

К проблеме применения ультразвуковых расходомеров газа вблизи колена 90⁰

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ»

Проведен анализ причин зависимости показаний ультразвукового расходомера (УЗР) от профиля скоростей потока. Оценена репрезентативность проводимых измерений на типовом примере. Представлены возможные способы решения проблемы установки УЗР в трубопроводе с коленом 90⁰. Показана перспективность каждого из предложенных способов. Далее рассмотрено влияние на точность измерений различных геометрических параметров, таких как: угол ввода акустического луча, азимутальный угол установки расходомера, расстояние до выхода из колена и т.д. Сделаны выводы о перспективности предложенного метода снижения влияния искаженного профиля потока на выходе из колена 90⁰.

Ключевые слова: ультразвуковой расходомер, колено трубопровода, метрологические характеристики, зависимость от профиля скоростей.

Введение

Ультразвуковые расходомеры (УЗР) имеют ряд важных преимуществ, таких как: широкий диапазон измерения, отсутствие потерь напора, высокая надежность ввиду отсутствия подвижных элементов, отсутствие влияния на гидродинамику потока.

Однако данный тип приборов имеет и определенные недостатки. Наиболее существенным из них есть сильная зависимость показаний расходомера от профиля скоростей в потоке, формирующегося и изменяющегося по мере изменения (увеличения или уменьшения) расхода, погрешность особенно сильно увеличивается при искаженном профиле скоростей вследствие наличия, например, вблизи УЗР местных сопротивлений и/или изменений конфигурации трубопровода (изгибы, изменение диаметра и т.д.). Следствием этого является возможность установки УЗР только при наличии выше и ниже по течению протяженных прямолинейных участков трубопровода. Особенно актуальна эта проблема для трубопроводов большого диаметра.

В статье проведен анализ вопроса, предложен возможный метод решения проблемы установки УЗР вблизи колена 90⁰ и осуществлена предварительная оценка эффективности предложенного метода.

1. Анализ причин возникновения проблемы

В общем случае ультразвуковой расходомер (УЗР) представляет собой участок трубопровода с установленной на него парой пьезоэлектрических приемопередатчиков (ПЭП), называемой каналом зондирования (рис. 1). ПЭП поочередно посылают друг другу зондирующие импульсы, и на основании данных о времени распространения звукового колебания вдоль и против направления потока производится расчет скорости движения вещества в трубопроводе.

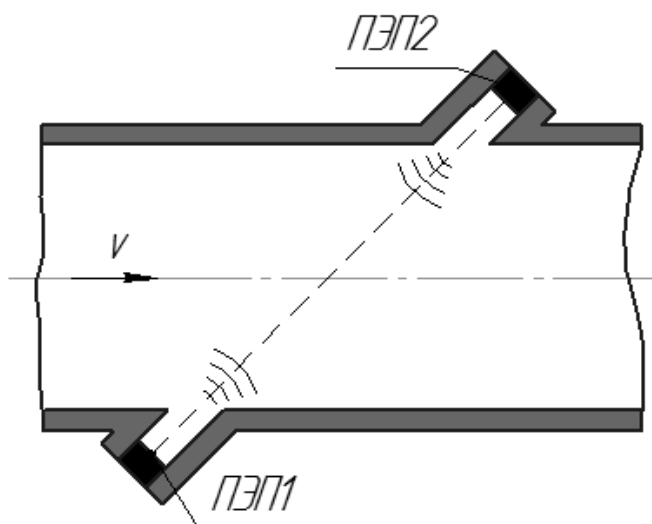


Рис. 1. Принципиальная схема ультразвукового расходомера

В общем случае расход Q через сечение трубопровода определяется зависимостью

$$Q = S \cdot \bar{v} \quad (1)$$

где S – площадь поперечного сечения трубопровода;
 \bar{v} – скорость потока, усредненная по сечению всего расходомерного участка.

Однако стоит отметить, что при использовании УЗР скорость, измеряемая парой ПЭП, фактически является средней скоростью, усредненной по длине канала зондирования \bar{v}_i , (т.е. точкой на кривой $v(y)$ (рис. 2, а)), а не по всему сечению расходомерного участка \bar{v} (рис. 2, б) [1].

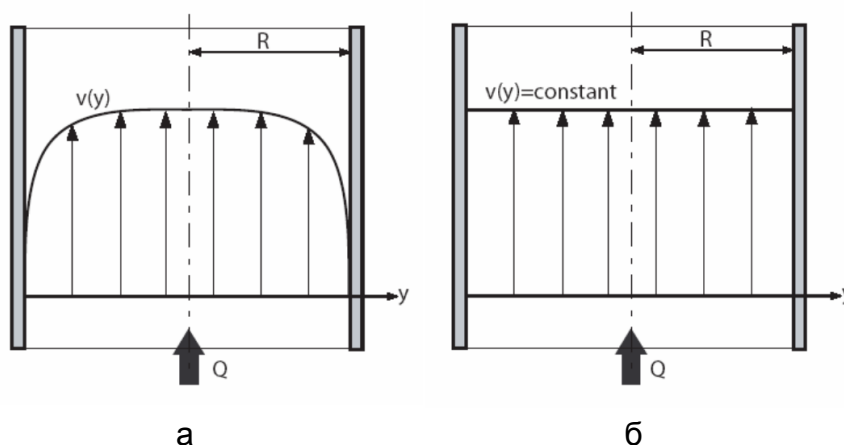


Рис. 2. Реальное распределение скоростей потока по диаметру трубопровода $v(y)$ (а) и физический смысл скорости потока, усредненной по всему сечению расходомерного участка (б)

Низкая репрезентативность измеренной скорости \bar{v}_i видна из рис. 3: величина d численно равняется диаметру рабочей части примененного ПЭП и в

зависимости от конкретной модели составляет 1-2 см. Таким образом, если принять критерием репрезентативности коэффициент $w = \frac{\Delta Q_i}{Q}$, то, к примеру, для случая расходомера с внутренним диаметром $D = 100$ мм и диаметром ПЭП $d = 10$ мм коэффициент $w = 0,19$.

С увеличением диаметра трубопровода репрезентативность измерения, определяемая отношением $\frac{\Delta Q_i}{Q}$, будет снижаться ввиду неизменности параметра d , являющегося, по сути, диаметром примененного ПЭП. Следствием низкой репрезентативности метода выступает основной недостаток устройств данного типа – зависимость точности измерений от симметричности профиля потока. Частично данная проблема решается применением пяти и более измерительных каналов, что позволяет снизить разброс случайных погрешностей измерения до величины $\pm 0,3\%$. Однако этот способ не решает актуальной на сегодня проблемы установки УЗР вблизи участков изменения конфигурации трубопровода (расширение, сужение, изгибов и т.д.), где профиль потока существенно деформирован и имеет трудно прогнозируемую форму.

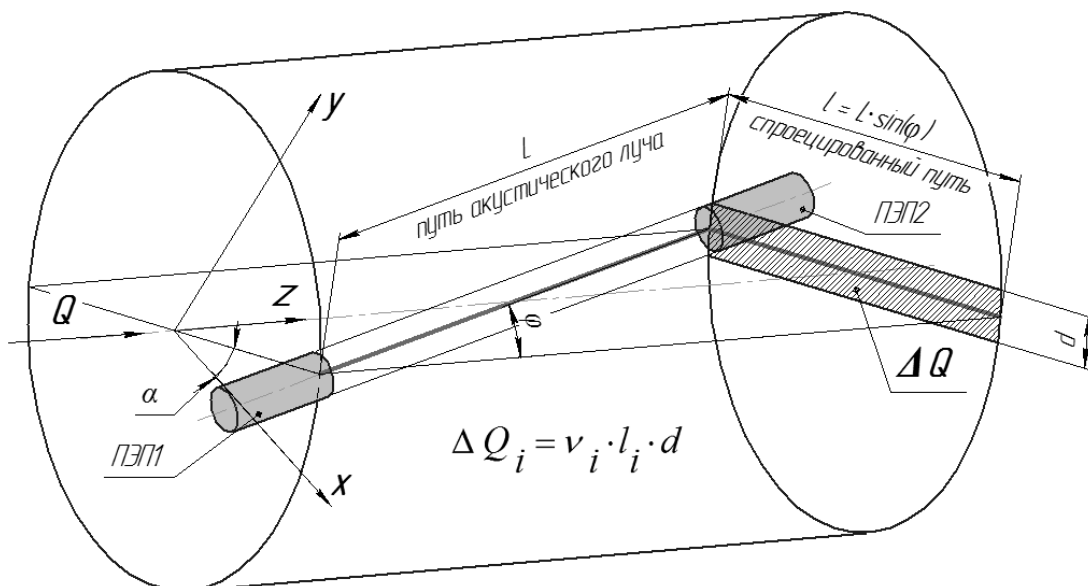


Рис. 3. Схема мерного участка и привязка системы координат

Исходя из вышесказанного следует, что для корректного определения расхода вещества первоочередную необходимость приобретает точность определения гидродинамического поправочного коэффициента k , связывающего среднюю скорость потока, усредненную по длине канала зондирования \bar{v}_i , расположенного между пьезодатчиками и скорость потока, усредненную по сечению расходомерного участка \bar{v} :

$$k = \frac{\bar{v}_i}{\bar{v}} \quad (2)$$

Традиционно этот коэффициент вычисляется на основании различных законов распределения скоростей. Проблема состоит в том, что такой метод

подходит лишь для случая «идеальной» трубы без изменения ее конфигурации, т.е. сужений, расширений, без наличия на расходомерном участке «карманов» около ультразвуковых датчиков и т.д. В особенно сильно профиль скоростей искажен на выходе из колена трубопровода. И на сегодняшний день наиболее рациональным способом определения поля скоростей в таком случае является численное моделирование.

К возможным путям решения проблемы установки УЗР после колена трубопровода можно отнести:

- выдерживание некоторого расстояния между коленом и УЗР, на котором течение снова станет полностью установившимся (рис. 4) [2];
- установка после колена перфорированной пластины (Flow Conditioner), что сократит расстояние, необходимое для установления течения;
- калибровка расходомера для конкретного случая установки;
- введение ряда поправочных коэффициентов K , учитывающих ряд параметров, таких как: тип колена, азимутальный угол установки расходомера α , угол ввода измерительного луча φ (рис. 4), расстояние до изгиба S и т.д.

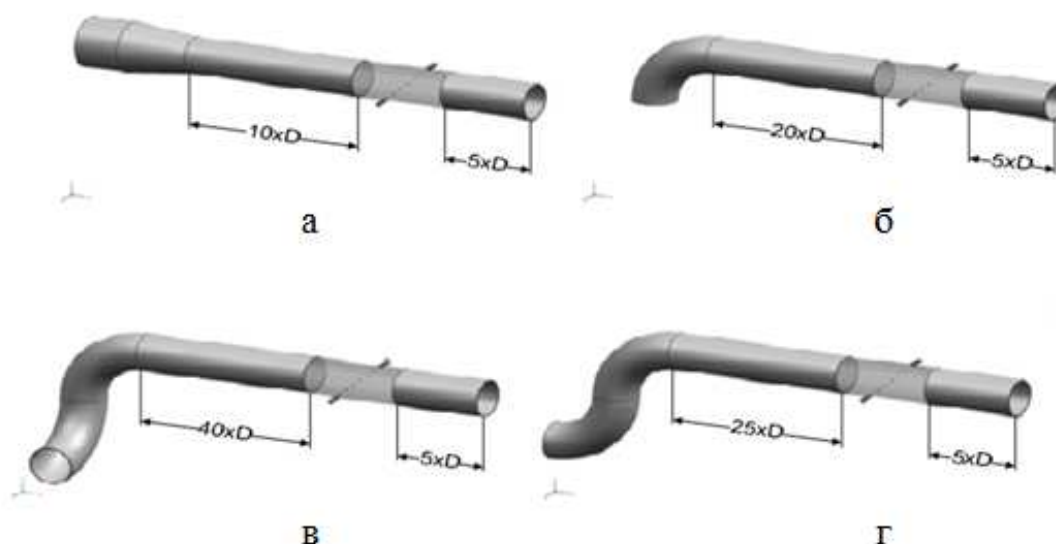


Рис. 4. Некоторые из типовых изменений конфигурации трубопровода (цифрами указаны рекомендуемые минимальные расстояния от участка изменения конфигурации до места установки УЗР): сужение (а), одинарный изгиб 90° (б), двойной изгиб 90° не в плоскости (в), двойной изгиб 90° в плоскости (г)

Недостатком первого и второго пути является значительное расстояние между коленом и расходомером, что не всегда удобно. К минусам третьего способа можно отнести его неуниверсальность, ввиду чего четвертый метод является наиболее перспективным, т.к. сочетает в себе универсальность и не требует прямого участка трубопровода между коленом и расходомером. Этот метод требует большого объема экспериментов, на основании результатов которых и будет получен набор поправочных коэффициентов. Однако при современном уровне развития вычислительной техники подобные эксперименты рациональнее проводить численно.

2. Влияние колена 90° в трубопроводе на точность измерений

Под действием центробежных сил ядро потока, имеющее более высокую скорость, сносится к внешней части изгиба, вытесняя более медленные слои к внутренней части изгиба. Подобное смещение вызывает две области вторичного течения на выходе из изгиба (рис. 5).

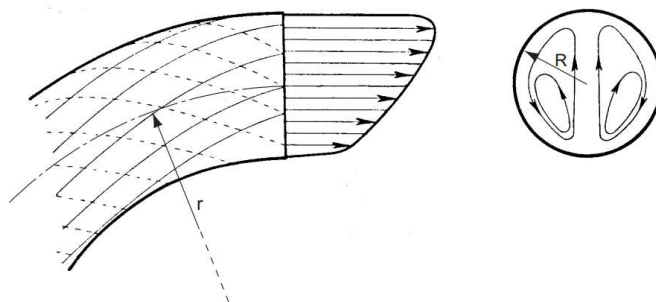


Рис. 5. Смещение максимума поля скоростей к внешней стороне изгиба и вторичные течения на выходе из изгиба

Ввиду наличия в таком течении не только продольных, но и поперечных компонент скорости на показания расходомера будет влиять угол ввода акустического луча φ . А по причине несимметричности течения показания УЗР будут зависеть и от угла установки расходомера α .

В работе [3] проведено исследование влияния параметров α и φ на показания УЗР $Q_{\text{изм}}$ в случае установки расходомера после колена 90° (рис. 6).

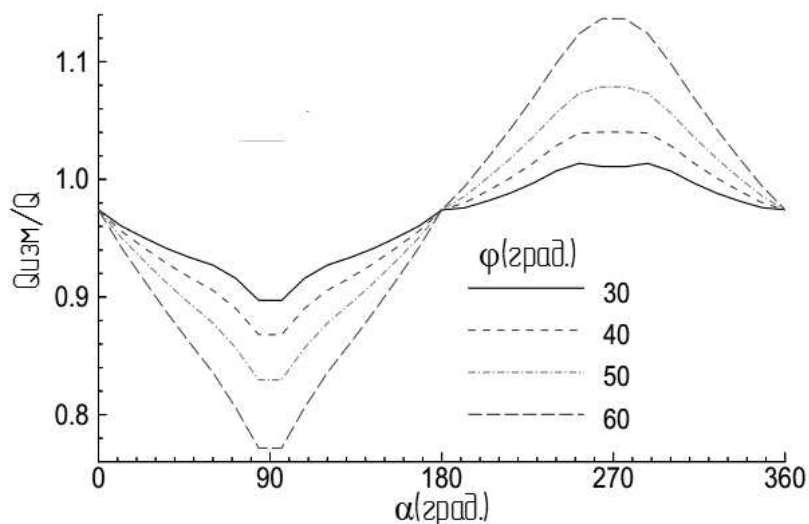


Рис. 6. Зависимость показаний УЗР $Q_{\text{изм}}$ от α для некоторых значений угла φ ($Re = 3 \cdot 10^6$)

Из рис. 6 видно, что погрешность измерений выраженная отношением $Q_{\text{изм}}/Q$, в значительной мере зависит от угла установки α – от -20 до +15%. Также заметно, что с уменьшением угла ввода акустического луча φ разброс показаний уменьшается. Это объясняется меньшим вкладом поперечных компонент поля скоростей потока.

В работе [3] исследована зависимость погрешности работы УЗР от расстояния до колена S (рис. 7).

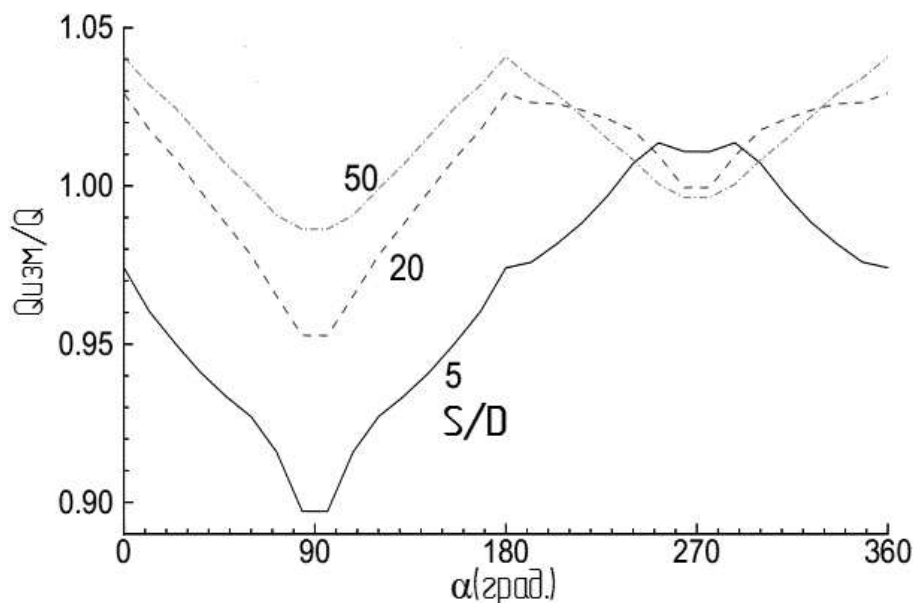


Рис. 7. Зависимость показаний УЗР $Q_{\text{изм}}$ от α для некоторых значений расстояния до колена S ($Re = 3 \cdot 10^6$)

Очевидно, что с удалением от источника возмущения (колена) разброс показаний УЗР будет уменьшаться, однако, как видно из рис.7, даже на расстоянии 50 калибров разброс составляет около 5%.

Таким образом, понятно, что такие геометрические параметры, как угол установки расходомера α , угол ввода измерительного луча φ , расстояние до изгиба S , оказывают существенное влияние на показания расходомера $Q_{\text{изм}}$ в условиях установки его вблизи колена трубопровода. Следовательно дальнейшая работа по изучению этого влияния является оправданной и целесообразной.

Решением проблемы установки УЗР вблизи колена трубопровода должен стать набор поправочных коэффициентов, учитывающих вышеперечисленные параметры, полученный на основании экспериментальных данных. Набор коэффициентов должен быть получен для каждого типового диаметра трубы, с небольшим шагом по числу Рейнольдса.

Заключение

1. Проведен анализ причин влияния профиля скоростей на погрешность измерений с помощью УЗР.
2. Предложен метод компенсации погрешности измерений потока с деформированным профилем скоростей с помощью гидродинамического поправочного коэффициента k , определенного численно для каждого типового диаметра.
3. Проанализирована степень влияния основных геометрических параметров на точность показаний УЗР.

Список литературы

1. Tresch, T. Comparison of integration methods for multipath acoustic discharge measurement / T. Tresch, P. Gruber, T. Staubli // 6-th International Conference on Innovation in Hydraulic Efficiency Measurements. – 2006. – №6 – С. 1–16
2. Tresch, T. Multipath acoustic discharge measurement in non-standard situations / T. Tresch, P. Gruber, T. Staubli // 8-th International Conference on Innovation in Hydraulic Efficiency Measurements. – 2010. – №8 – С. 25–37
3. Yeh, T.T. Computer simulations of ultrasonic flow meter performance in ideal and non-ideal pipeflows / ASME Fluids Engineering Division Summer Meeting FEDSM'97. – 1997. – № 1. – С. 20–26.

Рецензент: д-р техн. наук, проф., проф. каф. технологии самолето- и вертолетостроения С.И. Планковский, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков

Поступила в редакцию 20.09.2012

До проблеми застосування ультразвукових витратомірів газу поблизу коліна 90^0

Проведено аналіз причин залежності показань типів ультразвукового витратоміра (УЗВ) від профілю швидкостей потоку. Оцінено репрезентативність упроваджених вимірювань на типовому прикладі. Подано можливі способи вирішення проблеми встановлення УЗВ у трубопроводі з коліном 90^0 . Показано перспективність кожного із запропонованих способів. Розглянуто вплив на точність вимірювань різних геометричних параметрів, таких, як кут введення акустичного променя, азимутальний кут установлення витратоміра, відстань до виходу з коліна і т.п. Зроблено висновки стосовно перспективності запропонованого методу зниження впливу спотвореного профілю швидкостей потоку на виході з коліна 90^0 .

Ключові слова: ультразвуковий витратомір, коліно трубопроводу, метрологічні характеристики, залежність від профілю швидкостей.

To the problem of ultrasonic flowmeter installation downstream 90 degree elbow

Ultrasonic flowmeter performance pipeflow on velocity profile dependence analysis was done. Representativeness of flowmeter performance based on common pattern was evaluated. Different ways of velocity profile downstream 90 degree elbow dependence reduction were proposed. Proposed ways' prospects were evaluated. Then was observed influence on meter performance different geometry factors, such as: ultrasonic beam entrance angle, meter installation azimuthal angle, distance to elbow, etc. The conclusions about prospects of proposed method of disturbed velocity profile dependence reduction were done.

Keywords: ultrasonic flowmeter, pipe elbow, meter performance, flow velocity profile dependence.