

Вестник Евразийской науки / The Eurasian Scientific Journal <https://esj.today>

2024, Том 16, № 2 / 2024, Vol. 16, Iss. 2 <https://esj.today/issue-2-2024.html>

URL статьи: <https://esj.today/PDF/66SAVN224.pdf>

DOI: 10.15862/66SAVN224 (<https://doi.org/10.15862/66SAVN224>)

2.1.3. Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение (технические науки)

Ссылка для цитирования этой статьи:

Кубенин, А. С. О влиянии скорости газового потока на точность работы ультразвукового расходомера /

А. С. Кубенин, Д. П. Алексеев // Вестник евразийской науки. — 2024. — Т. 16. — № 2. — URL:

<https://esj.today/PDF/66SAVN224.pdf> DOI: 10.15862/66SAVN224

For citation:

Kubenin A.S., Alekseev D.P. On the influence of gas flow velocity on the accuracy of an ultrasonic flow meter. *The Eurasian Scientific Journal*. 2024;16(2): 66SAVN224. Available at: <https://esj.today/PDF/66SAVN224.pdf>. (In Russ., abstract in Eng.) DOI: 10.15862/66SAVN224

Кубенин Александр Сергеевич

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», Москва, Россия

Ведущий программист

Кандидат технических наук

E-mail: kube-n@mail.ru

РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=935093

Алексеев Дмитрий Павлович

ООО «СовТИГаз», Москва, Россия

Главный специалист

E-mail: alekseev210@yandex.ru

РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=687192

О влиянии скорости газового потока на точность работы ультразвукового расходомера

Аннотация. В статье рассмотрены принципы работы ультразвукового расходомера в широком диапазоне скоростей потока газа. В современной промышленности, особенно в газоснабжении, как нигде важна точность учета расхода газа, транспортируемого по газопроводам. Небольшая, на первый взгляд, ошибка в измерении расхода газа способна в конечном итоге стать причиной больших финансовых потерь при поставках и продажах газа. Для учета расхода газа в настоящее время все большую популярность приобретают ультразвуковые расходомеры. Не имеющие механически подвижных, а также газодинамически нагруженных в потоке конструктивных элементов, такие измерители расхода являются надежными, долговечными, легко обслуживаемыми и позволяют с приемлемой для промышленности точностью вычислять объемный и массовый расходы в коммерческом учете газа. Методами вычислительной газодинамики с помощью трехмерного компьютерного моделирования проведены исследования течения газа метана в канале круглого сечения. Проведен сравнительный анализ влияния скорости потока газа на точность показаний ультразвукового расходомера. Исследовано влияние разных измерительных схем на измерение скорости потока. Показано влияние формы профиля потока на точность работы расходомера. Построены графические зависимости скоростей на лучах расходомера от средней скорости потока. Показано, что величина ошибки расходомера убывает с увеличением скорости потока. В статье приводятся данные вычислительных экспериментов, показывающие, что ошибка интегрирования при вычислении средней скорости потока расходомером стремится к нулю для

ламинарного режима течения. Показано, что на малых скоростях влиянием профиля потока на точность показаний расходомера можно пренебречь.

Ключевые слова: газоснабжение; ультразвуковой расходомер; вычислительная газодинамика; компьютерное моделирование; профиль потока; точность расходомера; метод Гаусса-Чебышева

Введение

В современной промышленности, особенно в газоснабжении, как нигде важна точность учета расхода газа, транспортируемого по газопроводам. Небольшая, на первый взгляд, ошибка в измерении расхода газа способна в конечном итоге стать причиной больших финансовых потерь при поставках и продажах газа. Для учета расхода газа в настоящее время все большую популярность приобретают ультразвуковые расходомеры. Не имеющие механически подвижных, а также аэродинамически нагруженных в потоке конструктивных элементов, такие измерители расхода являются надежными, долговечными, легко обслуживаемыми и позволяют с приемлемой для промышленности точностью вычислять объемный и массовый расходы в коммерческом учете газа [1]. Принцип работы ультразвуковых расходомеров основан на вычислении времени движения в прямом и обратном направлении ультразвуковой волны, испускаемой ультразвуковым преобразователем, в рабочую среду. Разница времен прохождения ультразвуковой волны в направлении по потоку и против потока позволяет вычислить скорость потока в плоскости установки ультразвуковых преобразователей [2]. В зависимости от количества горизонтальных плоскостей, в которых установлены ультразвуковые преобразователи можно получить разную точность вычисления средней скорости потока газа. На рисунке 1 показаны одни из вариантов расположения этих сечений. Белые линии (лучи) соответствуют пути движения ультразвуковой волны от источника волны к приемнику, обычно располагающиеся в карманах на стенках корпуса расходомера. Перекрестная схема исполнения, показанная на рисунках, используется для компенсации вращательного движения потока, возникающего, например, после каких-либо местных сопротивлений (отводы, тройники, перегородки и т. п. [3]).

Поскольку для вычисления средней скорости в сечении расходомера необходимо проинтегрировать функцию скорости, значения которой получены в заданных горизонтальных сечениях, встает вопрос об аппроксимации интеграла. Гаусс показал, что непрерывную функцию на отрезке $[-1,1]$ можно аппроксимировать полиномом $f(t)$ n -го порядка. Такой метод получил название метода квадратур Гаусса [4,5]. Эта аппроксимация записывается как:

$$\int_{-1}^1 W(x)f(x)dx \approx \sum_{i=1}^{N-1} w_i f(x_i).$$

Тонкость в формулировке Гаусса заключается в том, что при аппроксимации интеграла он рассматривает подынтегральную функцию как произведение некоей весовой функции $W(x)$ на аппроксимирующую функцию $f(x)$. Т. е. Вес $W(x)$ является таким, что его произведение на многочлен любой степени есть интегрируемая функция на отрезке $[-1,1]$.

Необходимо отметить, что аппроксимирующая функция может быть разной, а весовая функция должна соответствовать ей в контексте обеспечения ортогональности аппроксимирующей функции. В случае метода Гаусса-Лежандра аппроксимирующая функция является полиномом Лежандра, а соответствующая ей $W(x) = 1$. Аппроксимирующие функции можно задавать в форме разных полиномов. Наряду с полиномом Лежандра используется полином Чебышева.

Корни полинома Чебышева являются координатами точек, которыми интегрируемая область разбивается на отрезки интегрирования (как и в случае с полинома Лежандра) [6]. Таким образом координаты лучей в расходомере выбираются согласно координатам в квадратурных методах Гаусса-Лежандра, Гаусса-Чебышева, Гаусса-Якоби и т. п. А значение средней скорости в потоке V_a , измеренной расходомером, рассчитывается согласно [7]:

$$V_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n w_i V_i, \quad (1)$$

где веса w_i меняются в зависимости от выбранных координат горизонтальных плоскостей, в которых установлены ультразвуковые преобразователи; V_i — измеренная скорость на i -ом луче; n — количество лучей.

Одной из проблемных мест использования ультразвуковых расходомеров является их чувствительность к форме профиля потока, а также к количеству используемых сечений для измерения скорости потока [8].

Целью настоящей работы является анализ влияния средней скорости потока на точность измерения скорости ультразвуковым расходомером. Кроме того, в работе проведен сравнительный анализ влияния разного количества лучей на измерения скорости потока.

Исходные данные и метод решения

Результаты приведены для метана, движущегося при давлении 1,5 МПа и температуре 300 К (плотность 9,8955 кг/м³, динамическая вязкость 1,1338E-05 Па·с) в канале круглого сечения диаметром 300 мм при условиях ламинарного и полностью развитого турбулентного течения.

Расчеты проведены с помощью трехмерного компьютерного моделирования. На входе в расчетную область задано распределение скоростей, соответствующее ламинарному и полностью развитому турбулентному течению со средней скоростью потока, а также масштаб и интенсивность турбулентности в случае турбулентных режимов течения. На выходе из расчетной области использованы «мягкие» граничные условия с нулевым градиентом параметров потока вдоль оси канала. На стенках заданы условия прилипания. Стенки канала считаются гидравлически гладкими и адиабатическими. Среда считается несжимаемой и изотермической [9].

Смоделированы следующие расположения лучей в расходомере: шестилучевая перекрестная схема (рис. 1 а, схема № 1), четырехлучевая перекрестная схема (рис. 1 б, схема № 2). Веса для лучей и координаты их расположения рассчитаны методом Гаусса-Чебышева. Все лучи расположены под углом 60 градусов к оси канала.

В рамках описанной постановки задачи и предложенной газодинамической модели смоделировать измеренную с помощью ультразвуковых преобразователей скорость на луче можно путем осреднения поля скорости, полученного в результате моделирования, по линии, которая соответствует пути движения ультразвуковой волны. Действительная средняя скорость потока получена путем осреднения поля скорости по площади поперечного сечения канала.

Расчеты проведены для скоростей 1, 0,1, 0,05, 0,005, 0,0005, 0,00025 м/с. Последние три значения скорости при заданных свойствах газа и диаметре канала соответствуют ламинарному режиму течения. При ламинарном режиме течения профиль потока остается неизменным (рис. 2), поэтому результаты при ламинарном потоке приведены в таблицах 1 и 2 только для одного значения скорости из трех.

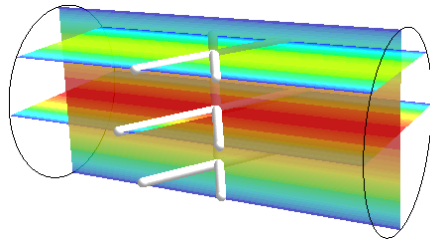


Рисунок 1 а. Схема № 1. Шестилучевая перекрестная схема-три луча дублирующие (разработано авторами)

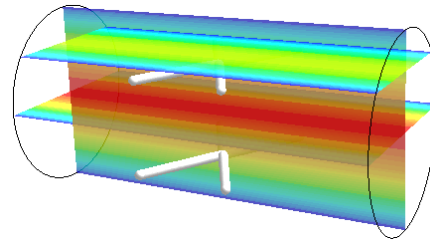
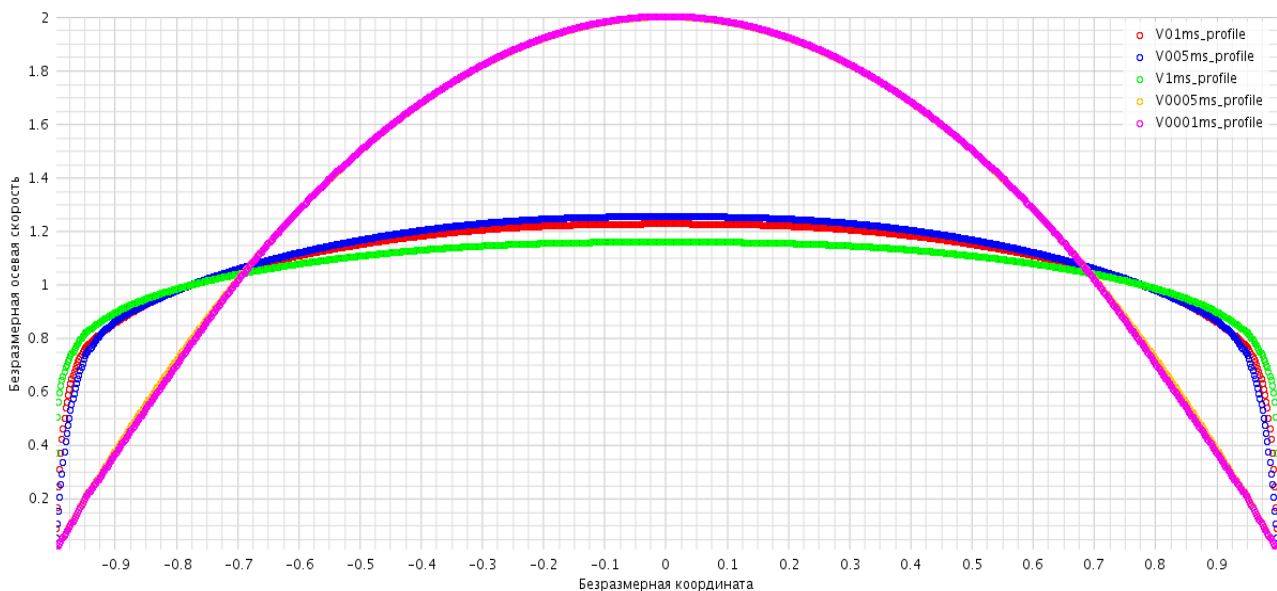


Рисунок 1 б. Схема № 2. Четырехлучевая перекрестная схема-два луча дублирующие (разработано авторами)

Результаты моделирования

Скорости по лучам

Ниже представлены профили потока при значениях скоростей 1 м/с (число Рейнольдса $Re = 262\,000$), 0,1 м/с ($Re = 26\,000$), 0,05 м/с ($Re = 13\,000$) и 0,005 м/с ($Re = 1\,300$ — ламинарный режим течения), 0,001 м/с ($Re = 260$).



$Re = 262\,000$ — зеленая кривая; $Re = 26\,000$ — красная кривая; $Re = 13\,000$ — синяя кривая; $Re = 1\,300$ — желтая кривая; $Re = 260$ — бордовая кривая

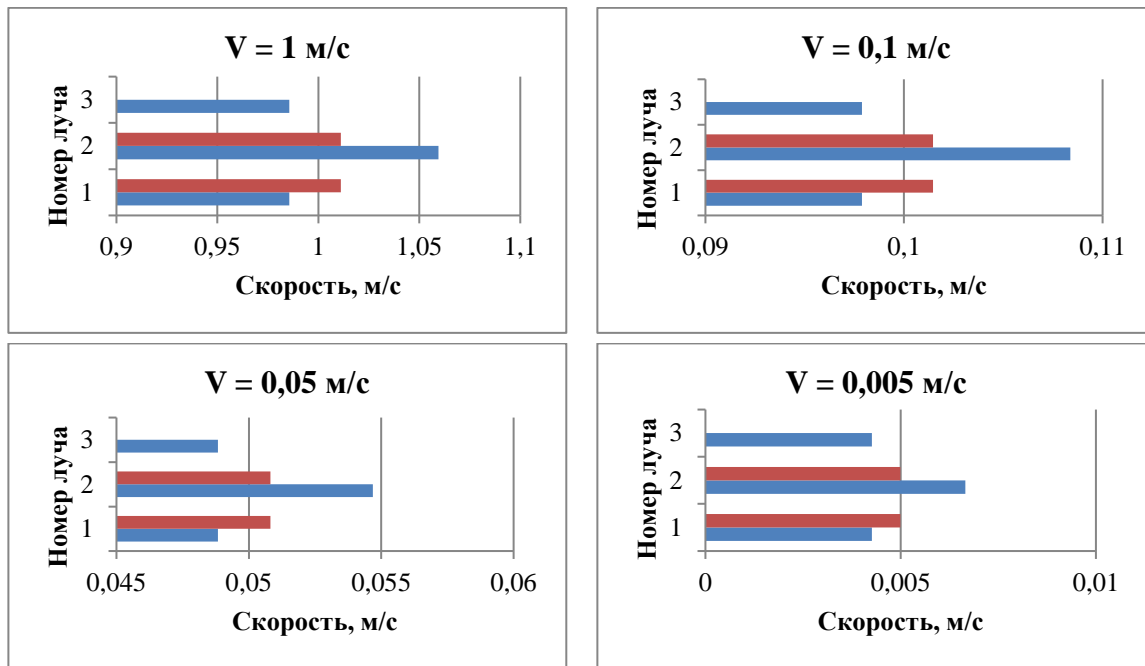
Рисунок 2. Профили потока при разных скоростях: (разработано авторами)

Как видно из графика (рис. 2), профили при скоростях, соответствующих ламинарному потоку, одинаковы (бордовый и желтый цвета неразличимы).

В форме столбчатых диаграмм показаны распределения скоростей по лучам.

Как видно из рисунков 2 и 3, при снижении скорости потока (уменьшении числа Рейнольдса) профиль в канале становится более вытянутым, что означает, что скорость в ядре потока увеличивается, а в окрестностях стенки канала — снижается.

Таким образом, при схеме № 1 крайние лучи фиксируют все меньшие значения скорости относительно средней скорости потока по мере ее снижения от 1 м/с до 0,05 м/с, а центральный луч фиксирует, напротив, все большие значения скорости. Значения скоростей, рассчитанных по лучам, представлены в таблице 1.



Синий цвет — схема № 1; красный цвет — схема № 2

Рисунок 3. Распределение скоростей по лучам (разработано авторами)

Таблица 1

Распределение средних скоростей по лучам при разной скорости потока газа. Схема № 1

Ср. скорость в сечении, м/с	Луч 1. Скорость, м/с	Луч 2. Скорость, м/с	Луч 3. Скорость, м/с
1	0,986	1,059	0,986
0,1	0,0979	0,108	0,0979
0,05	0,0488	0,0547	0,0488
0,005	0,00426	0,00666	0,00426

Разработано авторами

При средней скорости в канале 1 м/с крайние лучи показывают $V_{отн} = 98,6\%$ от средней скорости потока в поперечном сечении канала ($V_{отн} = \frac{V_{луча}}{V_{ср\ сеч}} \cdot 100\%$). При средней скорости 0,1 м/с — 97,99 %, при скорости 0,05 м/с — 97,79 %. Центральный луч показывает при 1 м/с — 105,97 %, при 0,1 — 108,5 %, при 0,05 м/с — 109,52 % (рис. 4).

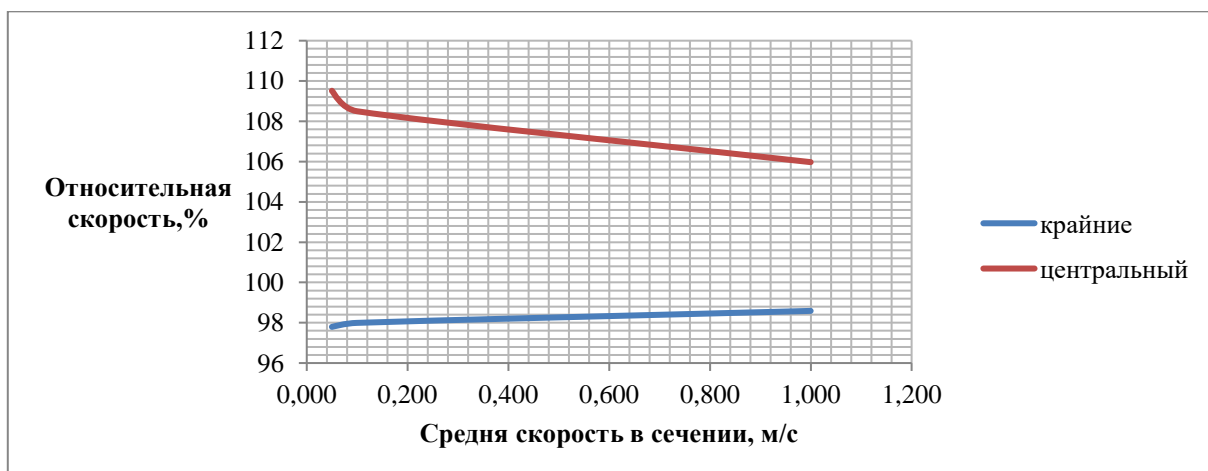


Рисунок 4. Относительная доля скорости на лучах (разработано авторами)

Для схемы № 2 скорости по лучам приведены в таблице 2.

Таблица 2

Распределение средних скоростей по лучам при разной скорости потока газа. Схема № 2

Ср. скорость в сечении, м/с	Луч 1. Скорость, м/с	Луч 2. Скорость, м/с
<i>1</i>	<i>1,011</i>	<i>1,011</i>
<i>0,1</i>	<i>0,101</i>	<i>0,101</i>
<i>0,05</i>	<i>0,051</i>	<i>0,051</i>
<i>0,005</i>	<i>0,00499</i>	<i>0,00499</i>

Разработано авторами

При средней скорости в канале 1 м/с оба луча показывают 101,14 % скорости от средней скорости в сечении, при средней скорости 0,1 м/с — 101,58 %, при скорости 0,05 м/с — 101,76 %.

Как можно заметить из представленной информации в случае схемы № 1 при снижении скорости потока с 1 м/с до 0,05 м/с значения скорости, «увиденные» крайними лучами меняются на 0,8 %, а в случае схемы № 2 — на 0,6 %.

В таблице 3 показаны значения скоростей по лучам для двух используемых схем при ламинарном режиме течения со скоростями 0,005 и 0,001 м/с. При этом в схеме № 1 крайние лучи показывают 85,3 % от средней скорости потока.

Таблица 3

Распределение средних скоростей по лучам при разной скорости потока газа. Схемы № 1 и № 2

Ср. скорость 0,004995 м/с	Скорость по лучу 1	Скорость по лучу 2	Скорость по лучу 3
Схема № 1	<i>0,004261</i>	<i>0,0066598</i>	<i>0,004261</i>
Процент от ср. скорости	<i>85,32</i>	<i>133,34</i>	<i>85,32</i>
Схема № 2	<i>0,004994</i>	<i>0,0049942</i>	
Процент от ср. скорости	<i>99,99</i>	<i>99,99</i>	
Ср. скорость 0,000999 м/с	Скорость по лучу 1	Скорость по лучу 2	Скорость по лучу 3
Схема № 1	<i>0,000855</i>	<i>0,001329</i>	<i>0,000855</i>
Процент от ср. скорости	<i>85,56</i>	<i>133,06</i>	<i>85,56</i>
Схема № 2	<i>0,001000</i>	<i>0,001000</i>	
Процент от ср. скорости	<i>100,08</i>	<i>100,08</i>	

Разработано авторами

Погрешность определения скорости

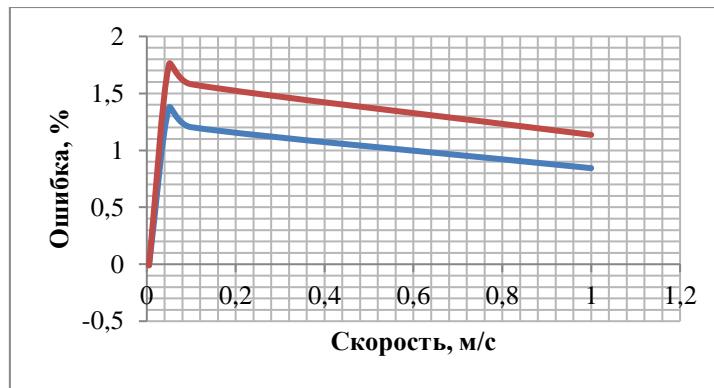
Ниже показано влияние скорости потока на точность расходомера для двух схем расположения лучей.

Из графика (рис. 5) видно, что ошибка показаний расходомера:

$$\text{Ошибка} = \frac{V_{\text{расх}} - V_{\text{ср сеч}}}{V_{\text{ср сеч}}} \cdot 100 \%,$$

где $V_{\text{расх}}$ — средняя скорость потока, измеренная расходомером; $V_{\text{ср сеч}}$ — средняя действительная скорость газа в поперечном сечении канала увеличивается с уменьшением скорости потока.

При снижении средней скорости с 1 м/с до 0,05 м/с в схеме № 1 увеличение ошибки в показаниях составило 0,5 %, в схеме № 2 — 0,6 %.

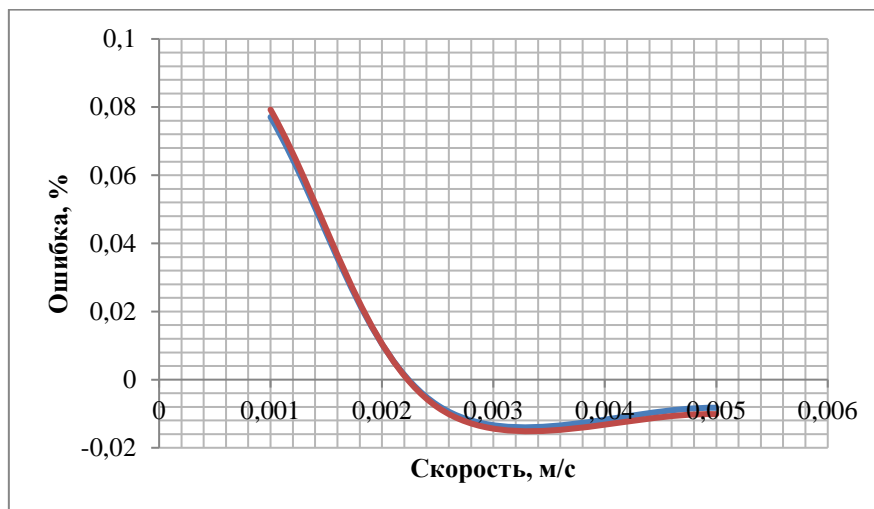


Синий цвет — схема № 1; красный цвет — схема № 2

Рисунок 5. Кривые изменения относительной погрешности расходомера в зависимости от скорости газа в канале (разработано авторами)

Участок с резким падением кривой в зону нулевых значений обусловлен переходом в область ламинарного режима течения. По-видимому, форма ламинарного профиля и веса в схемах интегрирования схемы № 1 и схемы № 2 оптимально компенсируют друг друга.

Область малых скоростей на графике, соответствующих ламинарному режиму течения, показана на рисунке 6.



Синий цвет — схема № 1; красный цвет — схема № 2

Рисунок 6. Кривые изменения относительной погрешности расходомера в зависимости от скорости газа в канале при ламинарном режиме течения: (разработано авторами)

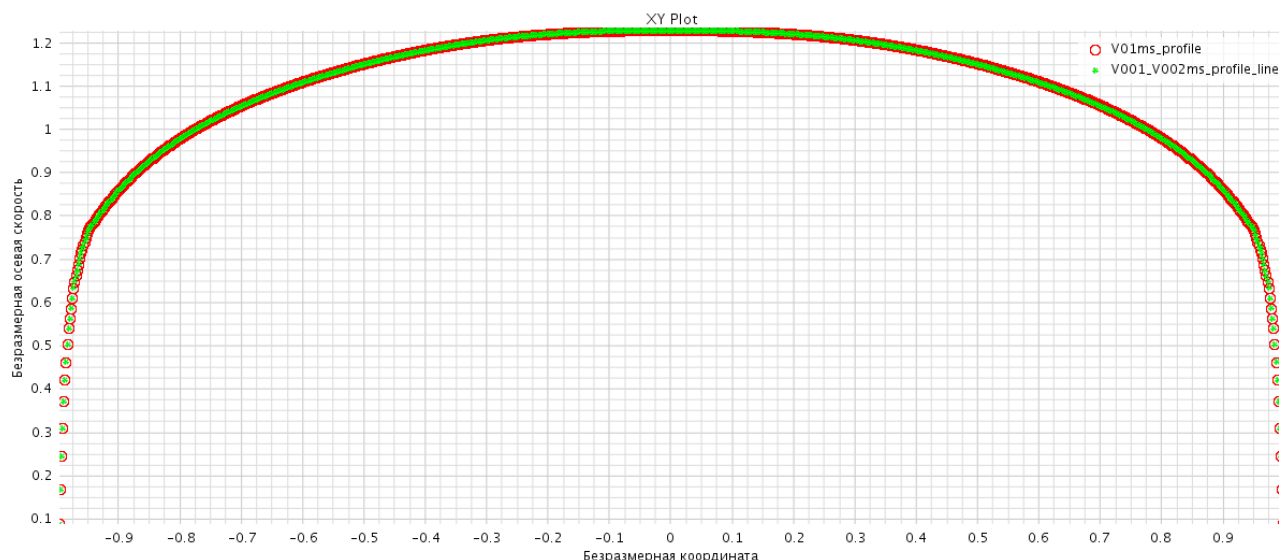
Из рисунка 6 видно, что в области ламинарного течения ошибка определения скорости близка к нулю и колеблется на уровне значений ошибки повторяемости моделирования.

Также рассмотрено влияние газодинамических факторов на ошибку измерения скорости V_a расходомером. Следствием уменьшения скоростей потока является изменение профиля скорости потока при малых числах Рейнольдса. Как известно, форма профиля потока обладает сильной зависимостью от малых чисел Рейнольдса ($Re < 1E + 6$) и слабо выраженной зависимостью от больших значений Re .

Изменение формы профиля влияет на значения скоростей, «увиденных» лучами, при неизменных весах в формуле (1), что является единственным газодинамическим фактором, влияющим на ошибку измерения скорости расходомером в рамках данной газодинамической

модели. Для теоретического обоснования данного утверждения проведен сравнительный анализ влияния малых скоростей потока на точность показаний расходомера при неизменной форме профиля потока (фиксированное число Рейнольдса).

Проведено моделирование полностью развитого течения при двух значениях малых скоростей потока (0,1 и 0,02 м/с). При этом число Рейнольдса в обоих случаях оставалось постоянным ($Re = 26\ 000$), а значит, в силу газодинамической теории подобия, постоянен и профиль скорости (рис. 7).



Красный цвет — скорость 0,1 м/с; зеленый цвет — скорость 0,02 м/с

Рисунок 7. Сравнение профилей потока при равных числах Рейнольдса (разработано авторами)

При этом, несмотря на уменьшение скорости на порядок, точность определения скорости счетчиком не изменилась и ошибка 1,2 % в обоих случаях при схеме № 1.

Заключение

Исследования показали, что ошибка вычисления скорости ультразвуковым расходомером по мере уменьшения значений скорости потока, увеличивается, что связано с изменением доли увиденных лучами скоростей от средней скорости газа. Перераспределение скоростей по лучам при неизменных весовых коэффициентах в формуле (1) приводит к изменению вычисляемого значения скорости относительно действительной средней скорости в поперечном сечении канала. При изменении скорости с 1 м/с до 0,05 м/с, ошибка вычисления скорости счетчиком, связанная с профилем потока, возрастает в среднем на 0.55 %.

В свою очередь, результаты исследований, приведенные в источнике¹, показывают, что при малых скоростях газа измерение времени прохождения преобладает в общей погрешности измерения скорости счетчиком. А именно, разности времен прохождения ультразвуковых волн дают значительный, зависящий от скорости, вклад в общую неточность ультразвукового расходомера.

¹ Volker Herrmann, Andreas Ehrlich. Contributing to economic upstream gas metering with a dual-path ultrasonic flow metering solution. 2018. SICK Engineering GmbH. URL: <https://sickconnect.com/contributing-to-economic-upstream-gas-metering-with-a-dual-path-ultrasonic-metering-solution/>.

Применительно к модели, описанной в настоящей работе, оценим порядок неточности расходомера, связанный с относительной погрешностью определения разности времен прохождения в прямом и обратном направлении.

Скорость звука в метане при давлении 1,5 МПа и температуре 300 К $c = 445,63$ м/с. Для схемы № 1 длина крайнего луча при угле между лучом и осью трубы $\alpha = 60^\circ$ и диаметре трубы 0,3 м $L = 0,2772$ м.

При средней скорости потока 1 м/с значение скорости на крайнем луче $V_1 = 0,986$ м/с. Тогда разность времен прохождения сигнала в прямом и обратном направлении, оцениваемая по формулам:

$$t_{AB} = \frac{L}{c + V_1 \cdot \cos \alpha},$$

$$t_{BA} = \frac{L}{c - V_1 \cdot \cos \alpha},$$

$$\Delta t = t_{BA} - t_{AB}.$$

будет равна $\Delta t = 1\,376$ нс. Принимая во внимание порядок абсолютной неопределенности, связанной с разностью времен прохождения, $U(\Delta t) \approx 30$ нс, [10], вычислим относительную неопределенность $U_{\text{отн}}(\Delta t) = U(\Delta t) / \Delta t \cdot 100\% \approx 1,5\%$.

При средней скорости потока 0,1 м/с относительная неопределенность составит $U_{\text{отн}}(\Delta t) \approx 15\%$. При скорости 0,01 м/с — $U_{\text{отн}}(\Delta t) \approx 150\%$.

Таким образом, при уменьшении скорости с 1 м/с до 0,1 м/с ошибка вычисления скорости счетчиком, связанная с разностью времен прохождения в прямом и обратном направлении увеличивается с 1,5 % до 15 %. На этом фоне ошибку вычисления скорости счетчиком, связанную с профилем потока (увеличение с 0,8 % до 1,2 %), можно считать относительно малой. При скорости 0,05 м/с она составляет 1,7 %, тогда как при скорости 0,05 м/с ошибка, связанная с разностью времен прохождения составит 30 %.

ЛИТЕРАТУРА

1. Chen, J.; Zhang, K.; Wang, L.; Yang, M. Design of a high precision ultrasonic gas flowmeter. // Sensors — 2020 — № 20(17) — URL: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/32858827>.
2. Fang, L.; Ma, X.; Zhao, J.; Faraj, Y.; Wei, Z.; Zhu, Y. Development of a high-precision and wide-range ultrasonic water meter. // Flow Measurement and Instrumentation. — 2022 — № 84. — URL: <https://doi.org/10.1016/j.flowmeasinst.2021.102118>.
3. Synowiec, P.; Andruszkiewicz, A.; Edrychowicz, W.; Piechota, P.; Wróblewska, E. Influence of flow disturbances behind the 90° bend on the indications of the ultrasonic flow meter with clamp-on sensors on pipelines. // Sensors — 2021 — № 21. — URL: <https://doi.org/10.3390/s21030868>.
4. Dandan Zheng, Dan Zhao, Jianqiang Mei. Improved numerical integration method for flow rate of ultrasonic flowmeter based on Gauss quadrature for non-ideal flow fields. // Flow Measurement and Instrumentation. — 2015. — Т 41. — С. 28–35.
5. Peter Gruber, Thomas Staubli, Thomas Tresch. Optimization of the ADM by adaptive weighting for the gaussian quadrature integration // The 8th International conference on hydraulic efficiency measurement (IGHem-2010), Oct. 21–23. — Roorkee, India, — 2010. — URL: <https://www.ighem.org/Paper2010/TSA03.pdf>.

6. Thomas Tresch, Bruno Lüscher, Thomas Staubli, Peter Gruber. Presentation of optimized integration methods and weighting corrections for the acoustic discharge measurement // The 7th International Conference on Hydraulic Efficiency Measurements. Session 4. Paper 6 (IGHem-2008), Sept. 3–6. — MILANO, — 2008. — URL: <https://www.ighem.org/Paper2008/18.pdf>.
7. B. Wang, Y. Cui, W. Liu, X. Luo. Study of transducer installation effects on ultrasonic flow metering using computational fluid dynamics. // Advanced Materials Research. — 2013 — № 629 — С. 676–681. — doi: 10.4028/www.scientific.net/AMR.629.676.
8. Z. Belligoli, R.P. Dwight, G.J.P. Kok and P. Lucas. A Bayesian study of uncertainty in ultrasonic flow meters under non-ideal flow conditions. // Metrologia — 2017 — № 54 — С. 584–598. — URL: <https://doi.org/10.1088/1681-7575/aa7b8d>.
9. Исаев, И.А. Применение ультразвуковых преобразователей расхода для измерения объёмного расхода попутного нефтяного газа / И.А. Исаев, А.И. Горчев, Р.Р. Замалетдинов // Мир измерений. — 2014. — № 5. — С. 3–6. — EDN SEDUGD.
10. P. Lunde, K-E. Frovsø, M. Vestheim. GERG Project on Ultrasonic Gas Flow Meters, Phase II. GERG TECHNICAL MONOGRAPH 11. Groupe Européen de Recherches Gazières. 2000. URL: <https://www.gerg.eu/wp-content/uploads/2019/10/TM11.pdf>.

Kubenin Aleksandr Sergeevich

Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia
E-mail: kube-n@mail.ru
RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=935093

Alekseev Dmitry Pavlovich

SovTIGaz, Moscow, Russia
E-mail: alekseev210@yandex.ru
RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=687192

On the influence of gas flow velocity on the accuracy of an ultrasonic flow meter

Abstract. The article discusses the principles of operation of an ultrasonic flow meter in a wide range of gas flow rates. In modern industry, especially in gas supply, the accuracy of accounting for the flow of gas transported through gas pipelines is more important than anywhere else. A seemingly small error in measuring gas consumption can ultimately cause large financial losses in gas supplies and sales. To measure gas flow, ultrasonic flow meters are currently becoming increasingly popular. Having no mechanically moving or gas-dynamically loaded structural elements in the flow, such flow meters are reliable, durable, easy to maintain and allow one to calculate volumetric and mass flow rates in commercial gas metering with an accuracy acceptable for industry. Using computational gas dynamics methods using three-dimensional computer modeling, studies of the flow of methane gas in a circular channel were carried out. A comparative analysis of the influence of gas flow velocity on the accuracy of ultrasonic flow meter readings was carried out. The influence of different measurement schemes on flow velocity measurement was studied. The influence of the shape of the flow profile on the accuracy of the flow meter is shown. Graphical dependences of the velocities on the flowmeter beams on the average flow velocity were constructed. It is shown that the magnitude of the flowmeter error decreases with increasing flow velocity. The article presents data from computational experiments showing that the integration error when calculating the average flow velocity by a flow meter tends to zero for a laminar flow regime. It has been shown that at low speeds the influence of the flow profile on the accuracy of flow meter readings can be neglected.

Keywords: gas supply; ultrasonic flow meter; computational gas dynamics; computer modeling; flow profile; flow meter accuracy; Gauss-Chebyshev method