

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

2024, Том 16, № 4 / 2024, Vol. 16, Iss. 4 <https://esj.today/issue-4-2024.html>

URL статьи: <https://esj.today/PDF/09SAVN424.pdf>

DOI: 10.15862/09SAVN424 (<https://doi.org/10.15862/09SAVN424>)

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

Ссылка для цитирования этой статьи:

Кубенин, А. С. Об использовании конфузора для повышения точности ультразвукового расходомера /
А. С. Кубенин, В. Г. Гагарин, Н. В. Павленко, Д. П. Алексеев // Вестник евразийской науки. — 2024. — Т. 16. —
№ 4. — URL: <https://esj.today/PDF/09SAVN424.pdf> DOI: 10.15862/09SAVN424

For citation:

Kubenin A.S., Gagarin V.G., Pavlenko N.V., Alekseev D.P. On the use of a confuser to improve the accuracy of an
ultrasonic flow meter. *The Eurasian Scientific Journal*. 2024;16(4): 09SAVN424. Available at:
<https://esj.today/PDF/09SAVN424.pdf>. (In Russ., abstract in Eng.) DOI: 10.15862/09SAVN424

Кубенин Александр Сергеевич

ФГБУ «Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии
архитектуры и строительных наук», Москва, Россия

Ведущий научный сотрудник

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

Кандидат технических наук

E-mail: kube-n@mail.ru

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

Гагарин Владимир Геннадьевич

ФГБУ «Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии
архитектуры и строительных наук», Москва, Россия

Заведующий лабораторией

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

Доктор технических наук, профессор

E-mail: gagarinv@yandex.ru

РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=292976

Павленко Наталья Викторовна

ФГБУ «Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии
архитектуры и строительных наук», Москва, Россия

Старший научный сотрудник

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

Кандидат технических наук, доцент

E-mail: nv-pavlenko@mail.ru

РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=556985

Алексеев Дмитрий Павлович

ООО «СовТИГаз», Москва, Россия

Главный специалист

E-mail: alekseev210@yandex.ru

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

**Об использовании конфузора для
повышения точности ультразвукового расходомера**

Аннотация. В отличие от обычных счетчиков газа, ультразвуковые расходомеры обладают такими преимуществами, как бесконтактный режим работы, минимальные потери давления и высокая точность. Использование методов интегрирования в теории ультразвуковых расходомеров накладывают также свои требования к профилям скорости потока газа, проходящего через расходомер. Для выравнивания профилей потока могут быть использованы такие устройства как выпрямители потока в форме перфорированных дисков или дисков с направляющими лопастями, а также изменения геометрической формы проточной части расходомера. В работе проводится анализ влияния сужения проточной части двухлучевого ультразвукового расходомера на точность измерений. Показано влияние сужающейся части расходомера на точность его показаний. В статье проведено сравнение ошибок интегрирования в расходомере при разных диаметрах проточной части, а также при разном количестве лучей расходомера при разных числах Рейнольдса. Продемонстрировано, что трехлучевые и четырехлучевые схемы интегрирования являются более точными, чем схема с двумя лучами. Проведено сравнение профилей скорости потока в расходомере. Показано, что сужение проточной части расходомера улучшает точность измерений снижая ошибку интегрирования. Влияние изменения формы профиля потока в результате сужения проточной части УЗПР оценивается в 0,1–0,3 % на всем диапазоне работы расходомера. При этом выявлена зона в области ламинарно-турбулентного перехода, в которой сужение проточной части расходомера оказывает негативное воздействие на точность измерений. Указаны критические скорости, соответствующие данной области. Показано, что количество лучей не влияет на существование выявленной области.

Ключевые слова: газоснабжение; ультразвуковой расходомер; вычислительная газодинамика; компьютерное моделирование; профиль потока; точность расходомера; метод Гаусса-Чебышева; геометрия расходомера; много-лучевые ультразвуковые расходомеры

Введение

Измерение расхода имеет важное значение в области машиностроения [1–3]. Устройства для измерения расхода отличаются принципом действия и имеют свои плюсы и минусы. В качестве расходомера могут быть использованы турбинные счетчики, диафрагмы, электромагнитные и вихревые устройства. Тем не менее, ультразвуковой расходомер в настоящее время становится все более популярным при использовании в измерительных узлах, поскольку имеет много преимуществ [4; 5]. В отличие от обычных счетчиков газа, ультразвуковые расходомеры обладают такими преимуществами, как бесконтактный режим работы, минимальные потери давления и высокая точность [6]. Принцип работы ультразвуковых расходомеров основан на вычислении времени движения в прямом и обратном направлении ультразвуковой волны, испускаемой ультразвуковым преобразователем, в рабочую среду [7]. Разница времен прохождения ультразвуковой волны в направлении по потоку и против потока позволяет вычислить скорость потока в плоскости установки ультразвуковых преобразователей [8].

Несмотря на обширный ряд преимуществ, такие устройства обладают и недостатками, связанными с требованиями по точности расходомеров для коммерческого учета газа, а также со спецификой работы ультразвуковых систем, чувствительности таких систем к искажениям профилей потока, допущениях и упрощениях, связанных с теорией ультразвуковых расходомеров [9]. Использование методов интегрирования в теории ультразвуковых расходомеров накладывают также свои требования к профилям скорости потока газа, проходящего через расходомер. Сильно искривленные профили приводят к большим погрешностям при измерении расхода газа, поэтому так важно использовать любые возможности для стабилизации и выравнивания профилей скорости потока на входе в

расходомер. Для этого могут быть использованы разные выпрямители потока в форме перфорированных дисков, а также изменения геометрической формы проточной части расходомера. В работе поставлена задача анализа влияния сужения проточной части двухлучевого ультразвукового расходомера на точность измерений. Также в работе уделено внимание исследованию точности расходомера на малых числах Рейнольдса.

Исходные данные и метод решения

Результаты получены для метана, движущегося при давлении 1,5 МПа и температуре 300 К (плотность 9,8955 кг/м³, динамическая вязкость 1,1338E-05 Па*с), а также при давлении 6 МПа и температуре 300 К (плотность 42,6447 кг/м³, динамическая вязкость 1,2336E-05 Па*с) в канале круглого сечения диаметром 301 мм с сужением до 255 мм при условии полностью развитого турбулентного течения.

Течение внутри расходомера сформировано при максимальной измеряемой скорости 35 м/с и при минимальной измеряемой скорости 0,01 м/с, что соответствует диапазону чисел Рейнольдса от 2,2Е3 до 3Е7.

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.

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. А средняя скорость потока при этом вычисляется как [10].

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

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.

Действительная средняя скорость потока $V_{\text{потока}}$ получена путем осреднения поля скорости по площади поперечного сечения канала.

Для измерения скоростей использована двухлучевая схема с весами и координатами лучей, рассчитанных методом Гаусса-Чебышева (рис. 1). Лучи расположены в широкой и узкой части расходомера для проведения сравнительного анализа.

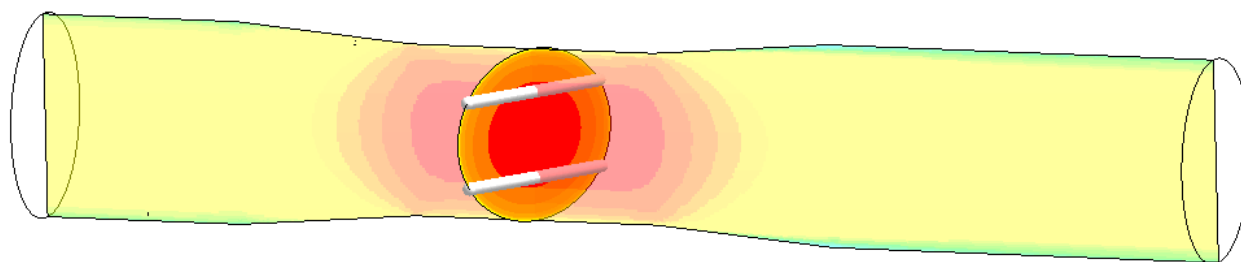


Рисунок 1. Лучи двухлучевого расходомера (разработано авторами)

Результаты моделирования

В результате моделирования получены скалярные поля скорости потока в расходомере, а также интегральные характеристики потока: средние осевые скорости в сечениях диаметрами 301 мм (широкая часть) и 255 мм (узкая часть), средние скорости на лучах для двухлучевой схемы в сечениях 301 и 255 мм, профили осевой скорости в сечениях 301 и 255 мм при различных числах Рейнольдса и скоростях потока.

На рисунке 2 представлено сравнение профилей осевой скорости для всех исследуемых вариантов

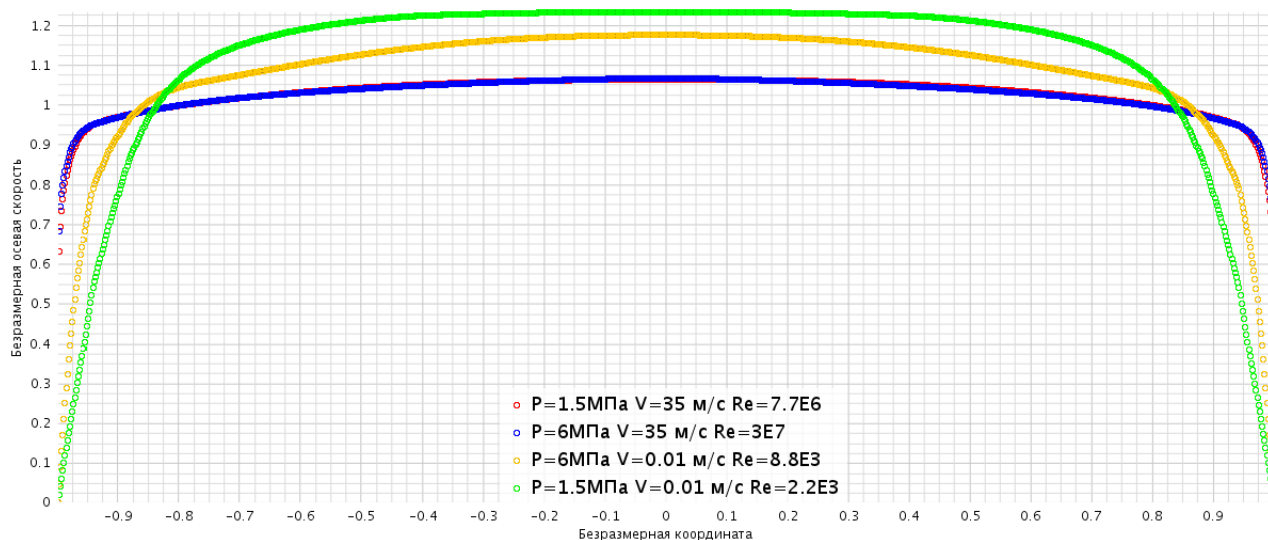


Рисунок 2. Профили скорости в поперечном сечении расходомера при разных числах Рейнольдса: красный цвет — $P = 1,5 \text{ МПа}$, $V = 35 \frac{\text{м}}{\text{с}}$, $Re = 7,7E6$; синий цвет — $P = 6 \text{ МПа}$, $V = 35 \frac{\text{м}}{\text{с}}$, $Re = 3E7$; желтый цвет — $P = 6 \text{ МПа}$, $V = 0,01 \frac{\text{м}}{\text{с}}$, $Re = 8,8E3$; зеленый цвет — $P = 1,5 \text{ МПа}$, $V = 0,01 \frac{\text{м}}{\text{с}}$, $Re = 2,2E3$ (разработано авторами)

Как видно из графика, с увеличением числа Рейнольдса профиль скорости потока становится менее вытянутым и более плоским. Примерно после значения $Re = 1E6$ форма профиля потока практически перестает зависеть от числа Рейнольдса. В диапазонах чисел Re , ниже $1E6$ и далее, близких к области ламинарного режима течения, профиль потока становится более вытянутым, его форма меняется с изменением числа Рейнольдса.

Результаты моделирования при давлении 1,5 МПа и скорости 35 м/с

На рисунке 3 показано скалярное поле осевой скорости в проточной части канала.

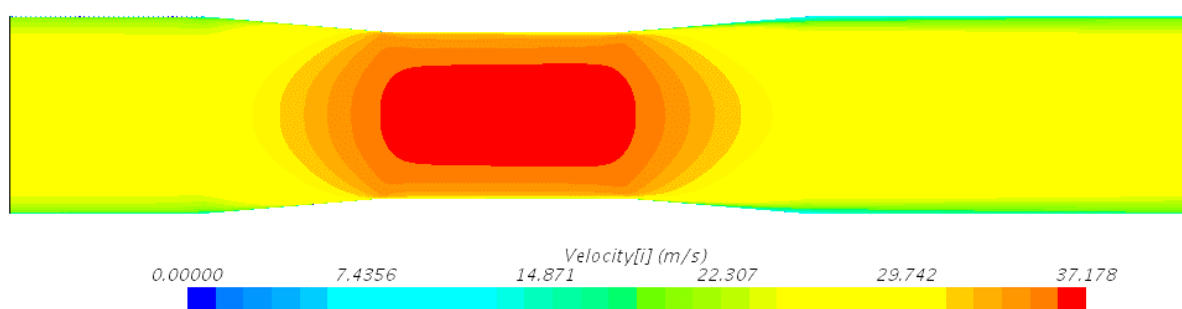
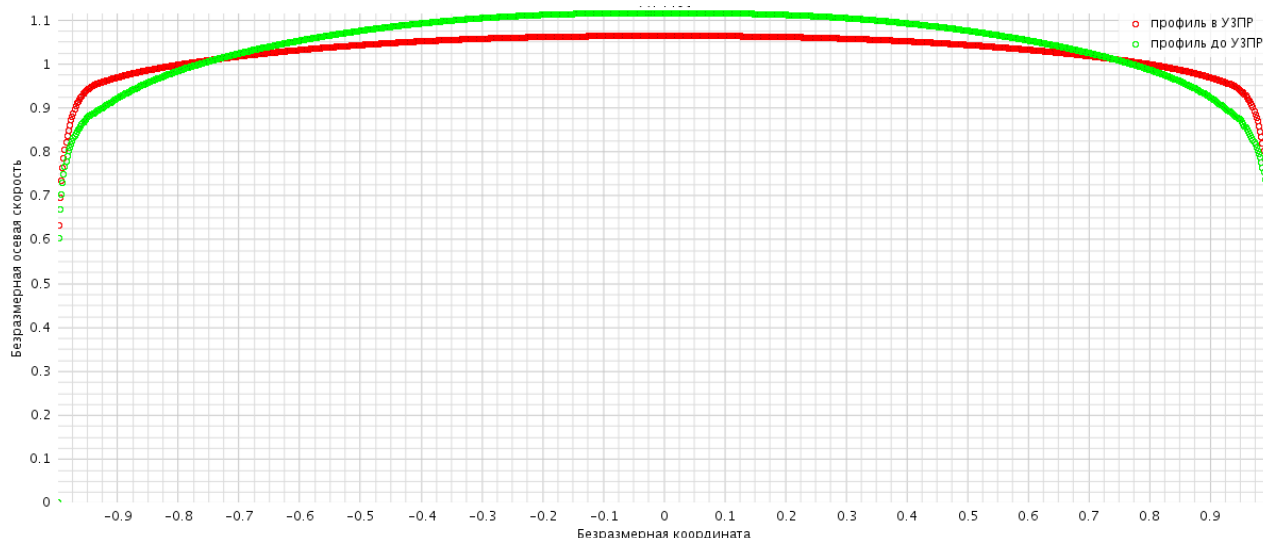


Рисунок 3. Скалярное поле скорости при числе Рейнольдса $Re = 7,7E6$ (разработано авторами)

На вход в расходомер подается поток, имеющий полностью развитый турбулентный профиль, характеризующийся числом Рейнольдса $Re = 7,7E6$.

Вследствие наличия сужения, поток ускоряется со средней скорости 25 м/с до скорости 35 м/с, при этом профиль потока деформируется и становится более плоским (рис. 4).



Зеленый цвет — диаметр 301 мм; красный цвет — диаметр 255 мм

Рисунок 4. Сравнение профилей потока внутри расходомера (разработано авторами)

Значение скорости, вычисленной по (1) составило $V_{узпр} = 35,15$ м/с. Средняя по сечению скорость потока $V_{потока} = 34,98$ м/с.

Как видно из таблицы 1 ошибка показаний расходомера, вычисляемая по формуле

$$E_{узпр} = \frac{V_{узпр} - V_{потока}}{V_{потока}} * 100 \%,$$

где $V_{узпр}$ — средняя скорость потока, измеренная расходомером; $V_{потока}$ — средняя действительная скорость газа в поперечном сечении канала для данного случая составляет 0,5 %. При внутреннем диаметре расходомера 301 мм отношение $K = V_{потока}/V_{узпр}$, характеризующее ошибку интегрирования для расходомера, составило $K = 0,9937$. В случае внутреннего диаметра расходомера 255 мм значение $K = 0,9951$. Различие в показаниях расходомера вследствие изменения профиля потока в результате сужения $E_{суж}$ составляет 0,11 %.

Таблица 1

**Ошибка интегрирования при разных диаметрах
расходомера при давлении 1,5 МПа и скорости 35 м/с**

Диаметр сечения, мм	$V_{узпр}$, м/с	$V_{потока}$, м/с	K	$E_{узпр}$, %	$E_{суж}$, %
255	35,15	34,98	0,9951	0,486	0,11
301	25,26	25,11	0,9937	0,597	

Разработано авторами

Результаты моделирования при давлении 6 МПа и скорости 35 м/с

На рисунке 5 показано скалярное поле осевой скорости в проточной части канала.

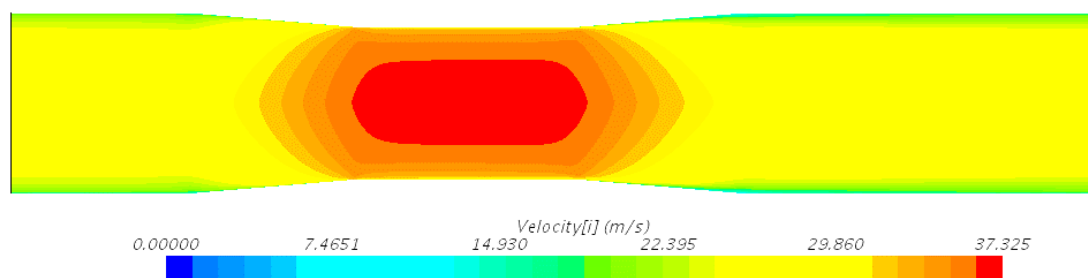
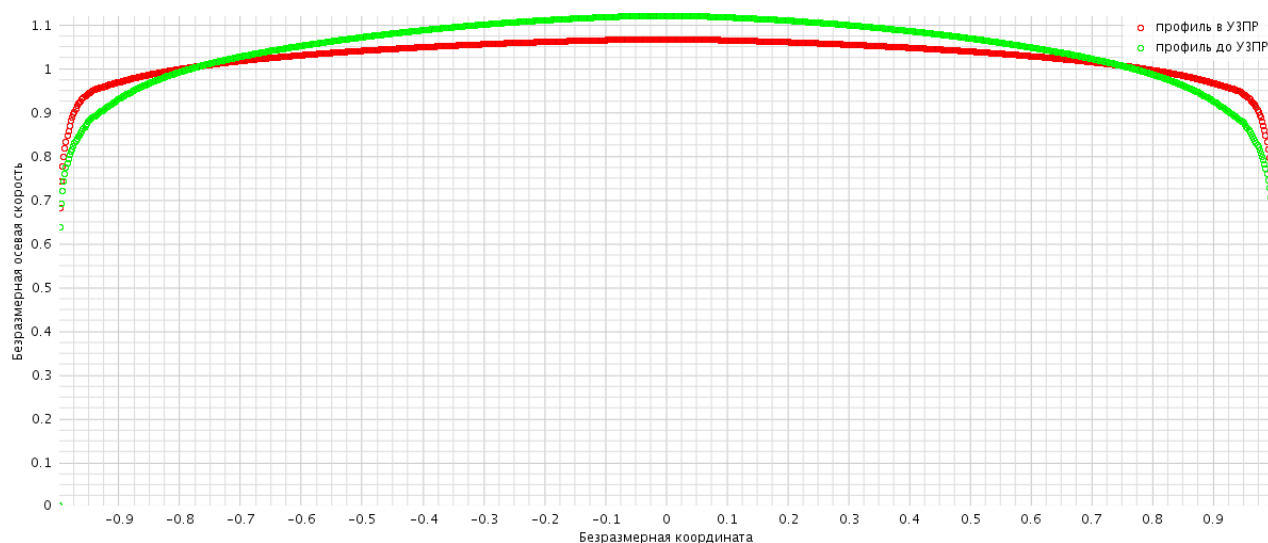


Рисунок 5. Скалярное поле скорости
при числе Рейнольдса $Re = 3E7$ (разработано авторами)

На вход расходомера подается поток, имеющий полностью развитый турбулентный профиль, характеризующийся числом Рейнольдса $Re = 3E7$.

Вследствие наличия сужения, поток ускоряется со средней скорости 25 м/с до скорости 35 м/с, при этом профиль потока деформируется и становится более плоским (рис. 6).



Зеленый цвет — диаметр 301 мм; красный цвет — диаметр 255 мм

Рисунок 6. Сравнение профилей потока внутри
расходомера при числе Рейнольдса $Re = 3E7$ (разработано авторами)

При этом значение скорости, вычисленной по (1), составило $V_{узпр} = 35,16$ м/с. Средняя по сечению скорость потока $V_{потока} = 35,01$ м/с.

Как видно из таблицы 2 ошибка показаний расходомера для данного случая составляет 0,4 %. При внутреннем диаметре расходомера 301 мм отношение $K = V_{потока}/V_{узпр}$ составило бы $K = 0,9947$. В случае внутреннего диаметра расходомера 255 мм значение $K = 0,9960$. Различие в показаниях расходомера вследствие изменения профиля потока в результате сужения $E_{суж}$ составляет 0,09 %.

Таблица 2

**Ошибка интегрирования при разных диаметрах
расходомера при давлении 6 МПа и скорости 35 м/с**

Диаметр сечения, мм	$V_{узпр}$, м/с	$V_{потока}$, м/с	K	$E_{узпр}$, %	$E_{суж}$, %
255	35,16	35,01	0,9960	0,428	0,09
301	25,26	25,13	0,9947	0,517	

Разработано авторами

Результаты моделирования при давлении 6 МПа и скорости 0.01 м/с

На рисунке 7 показано скалярное поле осевой скорости в проточной части канала.

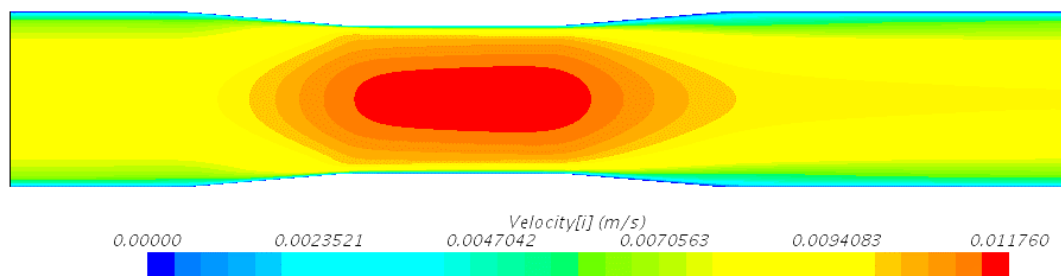
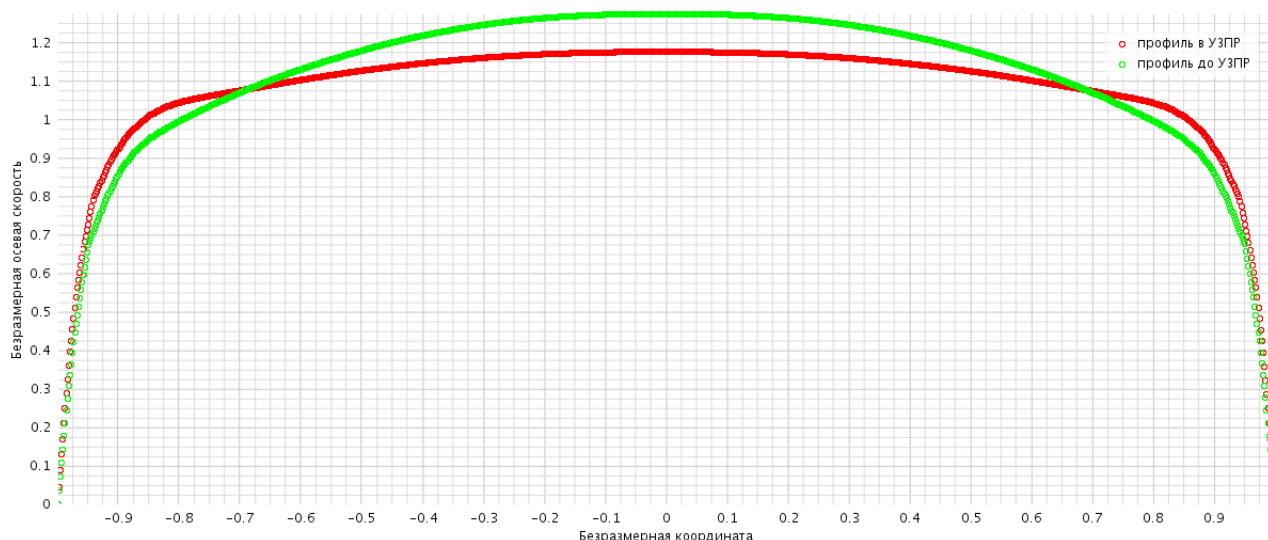


Рисунок 7. Скалярное поле скорости
при числе Рейнольдса $Re = 8,8E3$ (разработано авторами)

На вход расходомера подается поток, имеющий полностью развитый турбулентный профиль, характеризующийся числом Рейнольдса $Re = 8\,800$.

Вследствие наличия сужения, поток ускоряется со средней скорости 0,0072 м/с до скорости 0,01 м/с, при этом профиль потока деформируется и становится более плоским (рис. 8).



Зеленый цвет — диаметр 301 мм; красный цвет — диаметр 255 мм

Рисунок 8. Сравнение профилей потока внутри
расходомера при числе Рейнольдса $Re = 8,8E3$ (разработано авторами)

При этом значение скорости, вычисленной по (1) составило $V_{узпр} = 0,01022$ м/с. Средняя по сечению скорость потока $V_{потока} = 0,009992$ м/с.

Таблица 3

Ошибка интегрирования при разных диаметрах расходомера при давлении 6 МПа и скорости 0,01 м/с

Диаметр сечения, мм	$V_{узпр}$, м/с	$V_{потока}$, м/с	K	$E_{узпр}$, %	$E_{суж}$, %
255	0,01022	0,009992	0,9780	2,28	0,27
301	0,007317	0,007173	0,9947	2,01	

Разработано авторами

Как видно из таблицы 3 ошибка показаний расходомера для данного случая составляет 2,3 %. При внутреннем диаметре расходомера 301 мм отношение $K = V_{\text{потока}}/V_{\text{узпр}}$ составило бы $K = 0,9803$. В случае внутреннего диаметра расходомера 255 мм значение $K = 0,9780$. Различие в показаниях расходомера вследствие изменения профиля потока в результате сужения $E_{\text{суж}}$ составляет 0,27 %.

Результаты моделирования при давлении 1,5 МПа и скорости 0,01 м/с

На рисунке 9 показано скалярное поле осевой скорости в проточной части канала.

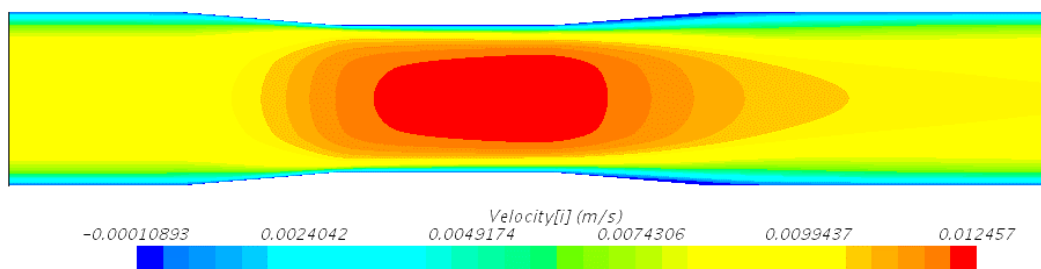
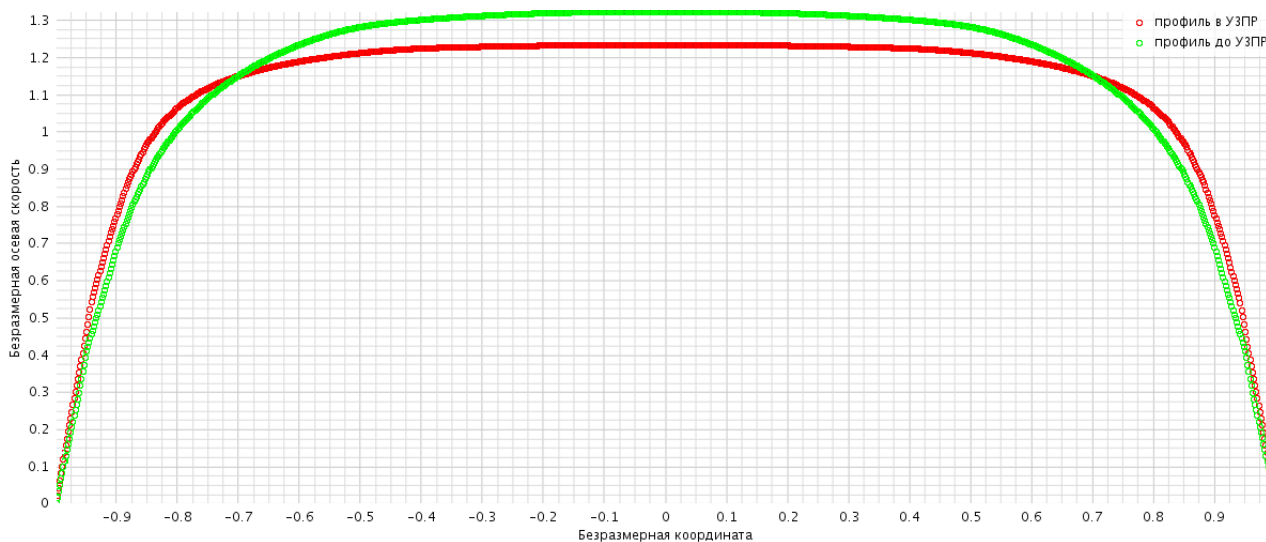


Рисунок 9. Скалярное поле скорости
при числе Рейнольдса $Re = 2,2E3$ (разработано авторами)

На вход расходомера подается поток, имеющий полностью развитый турбулентный профиль, характеризующийся числом Рейнольдса $Re = 2\,200$.

Вследствие наличия сужения, поток ускоряется со средней скорости 0,0072 м/с до скорости 0,01 м/с, при этом профиль потока деформируется и становится более плоским (рис. 10).



Зеленый цвет — диаметр 301 мм; красный цвет — диаметр 255 мм

Рисунок 10. Сравнение профилей потока внутри
расходомера при числе Рейнольдса $Re = 2,2E3$ (разработано авторами)

При этом значение скорости, вычисленной по (1), составило $V_{\text{узпр}} = 0,01048$ м/с. Средняя по сечению скорость потока $V_{\text{потока}} = 0,01002$ м/с.

Как видно из таблицы 4 ошибка показаний расходомера для данного случая составляет 4,6 %. При внутреннем диаметре расходомера 301 мм отношение $K = V_{\text{потока}}/V_{\text{узпр}}$ составило

бы $K = 0,9537$. В случае внутреннего диаметра расходомера 255 мм значение $K = 0,9557$. Таким образом, различие в показаниях расходомера вследствие изменения профиля потока в результате сужения $E_{суж}$ составляет 0,26 %.

Таблица 4

**Ошибка интегрирования при разных диаметрах
расходомера при давлении 1,5 МПа и скорости 0,01 м/с**

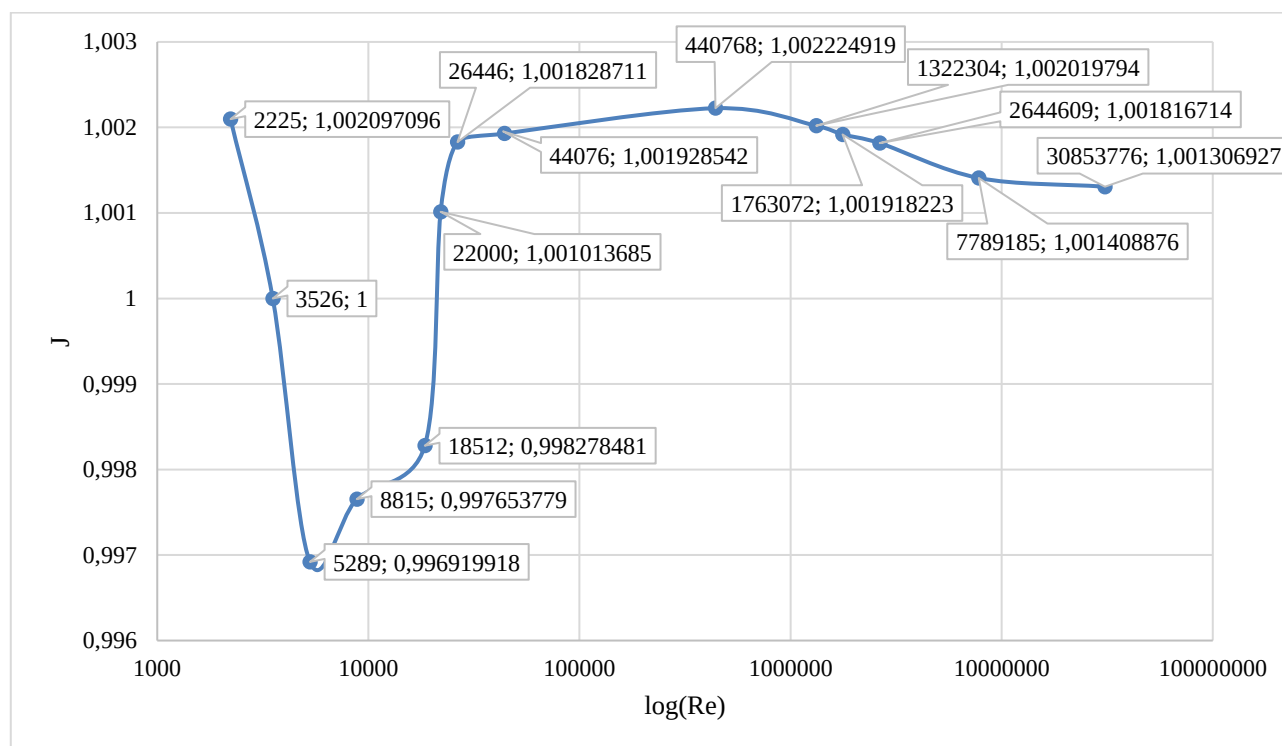
Диаметр сечения, мм	$V_{узпр}$, м/с	$V_{потока}$, м/с	K	$E_{узпр}$, %	$E_{суж}$, %
255	0,01048	0,01002	0,9557	4,59	0,26
301	0,007543	0,007194	0,9537	4,85	
$Re = 2\ 200$					

Разработано авторами

Согласно приведенным результатам коэффициент K при числах Рейнольдса $Re = 2\ 200$, $Re = 7,7E6$, $Re = 3E7$ в сечении диаметром 255 мм принимает значения большие, чем в сечении диаметром 301 мм и отношение поправочных коэффициентов $J = K_{255}/K_{300}$ в этих сечениях $J > 1$, а при $Re = 8\ 800$ ситуация изменяется в обратную сторону, так, что $J < 1$.

Ниже представлены результаты расчетов нескольких дополнительных точек в диапазоне чисел Рейнольдса $Re = 2\ 200 - 44\ 000$.

На рисунке 11 показана графическая зависимость отношения коэффициента J от числа Рейнольдса.



**Рисунок 11. Изменение коэффициента J
в зависимости от числа Рейнольдса Re (разработано авторами)**

Из рисунка видно, что при числах Re больше $1E5$ кривая убывает, стремясь к значению 1. Эта область кривой соответствует диапазону чисел Рейнольдса, при которых форма профиля потока становится почти постоянной, не зависящей от Re . В левой части графика виден ярко выраженный провал седловидной формы. Область малых чисел Рейнольдса и околосламинарного течения характеризуется резким уменьшением J .

Такая тенденция могла быть связана, например, с плохой работой двухлучевой схемы расходомера (для которой приведены результаты) при сильных изменениях формы профиля или же с плохой работой модели турбулентности в окололаминарной области течения.

Влияние количества лучей на ошибку интегрирования

Для проверки влияния этих факторов получены результаты расчета точки $Re = 8\,800$ для трехлучевой и четырехлучевой схем расходомера (рис. 12 а–в).

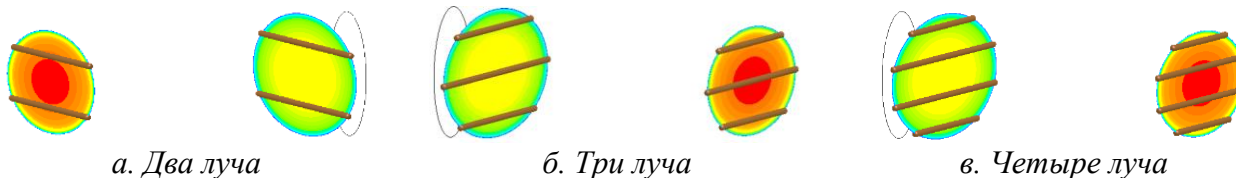


Рисунок 12. Лучевые схемы расходомера (разработано авторами)

Таблица 5

Ошибка интегрирования при разных диаметрах расходомера и разном количестве лучей

Схема	K255	K300	K255/K300
Двухлучевая	0,97797	0,98032	0,997603
Трехлучевая	0,98552	0,99004	0,995435
Четырехлучевая	0,9909	0,99338	0,997503

Разработано авторами

Из таблицы 5 видно, что при любой схеме на данном числе Рейнольдса коэффициент $J < 1$, т. е. тенденция сохраняется при любой схеме расположения лучей.

Тенденция сохранилась и при использовании в расчете модели ламинарно-турбулентного перехода, предназначенная для более точной работы моделей турбулентности на окололаминарных режимах течения.

Провал кривой на рисунке 11 может быть следствием только изменения формы профиля скорости в сторону более вытянутого при малых числах Рейнольдса.

На рисунке 13 показаны профили скорости во всем исследуемом диапазоне чисел Re .

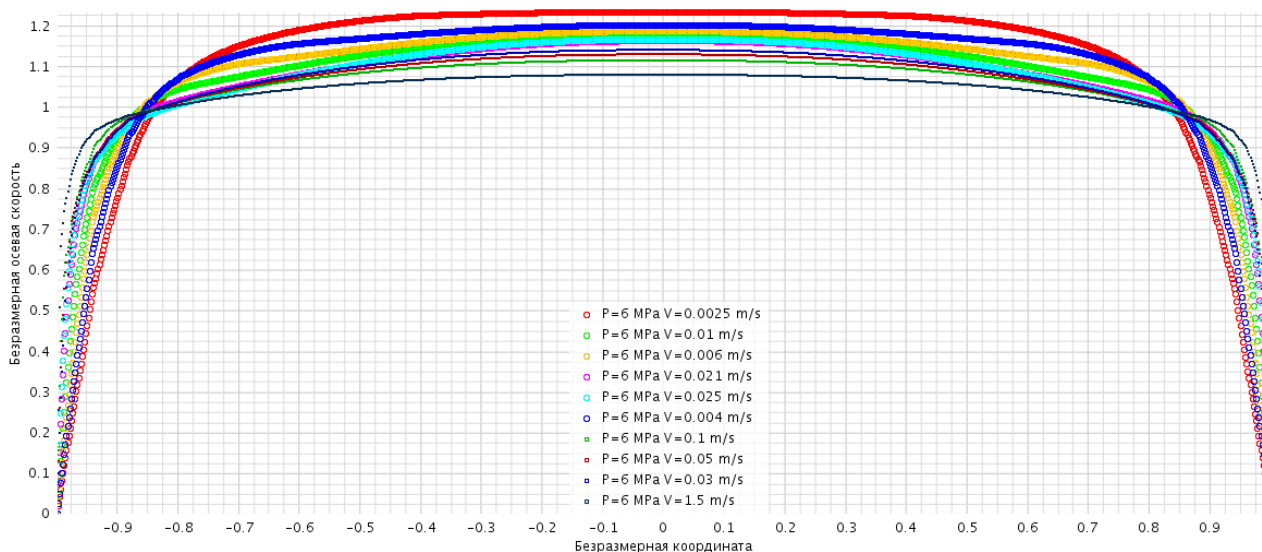


Рисунок 13. Профили скорости при различных значениях числа Рейнольдса (разработано авторами)

Группа профилей, обозначенных тонкими линиями, соответствует области высоких чисел Рейнольдса, при которых форма профиля практически неизменна. Профили, обозначенные толстыми линиями, относятся к области $J < 1$.

Ниже (рис. 14) показаны зависимости коэффициента J от скорости потока при разных значениях давления

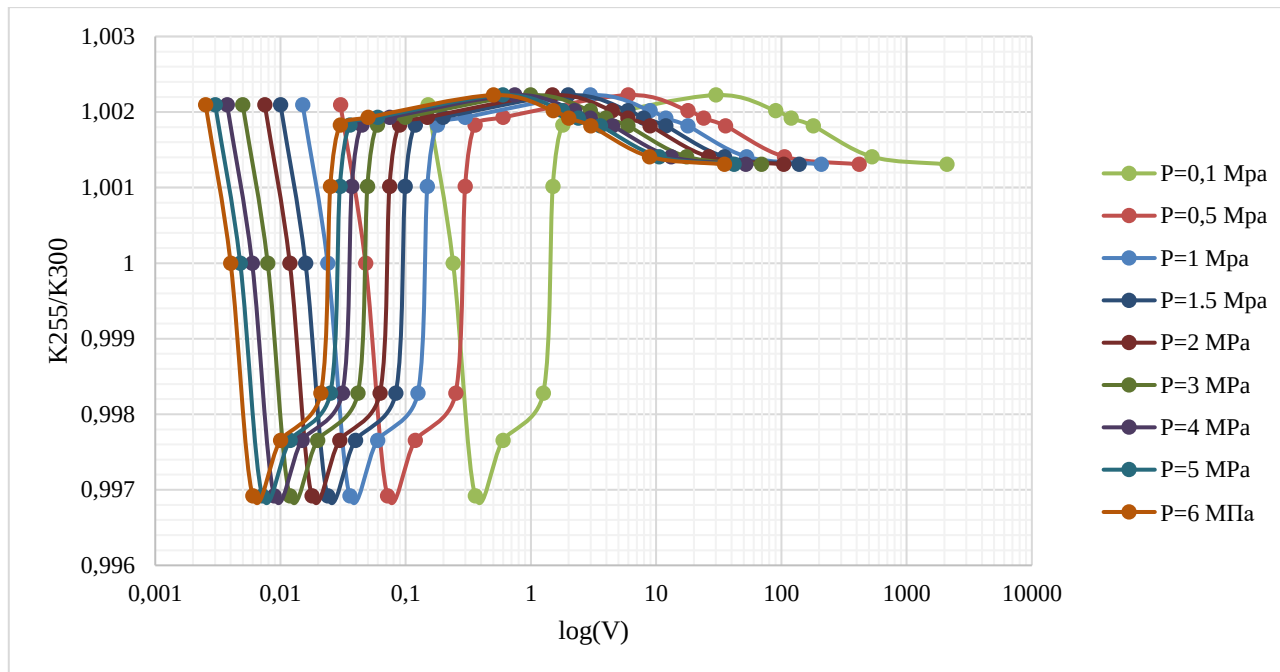


Рисунок 14. Изменение коэффициента J в зависимости от логарифма скорости (разработано авторами)

На рисунке 15 эти зависимости показаны без логарифма скорости.

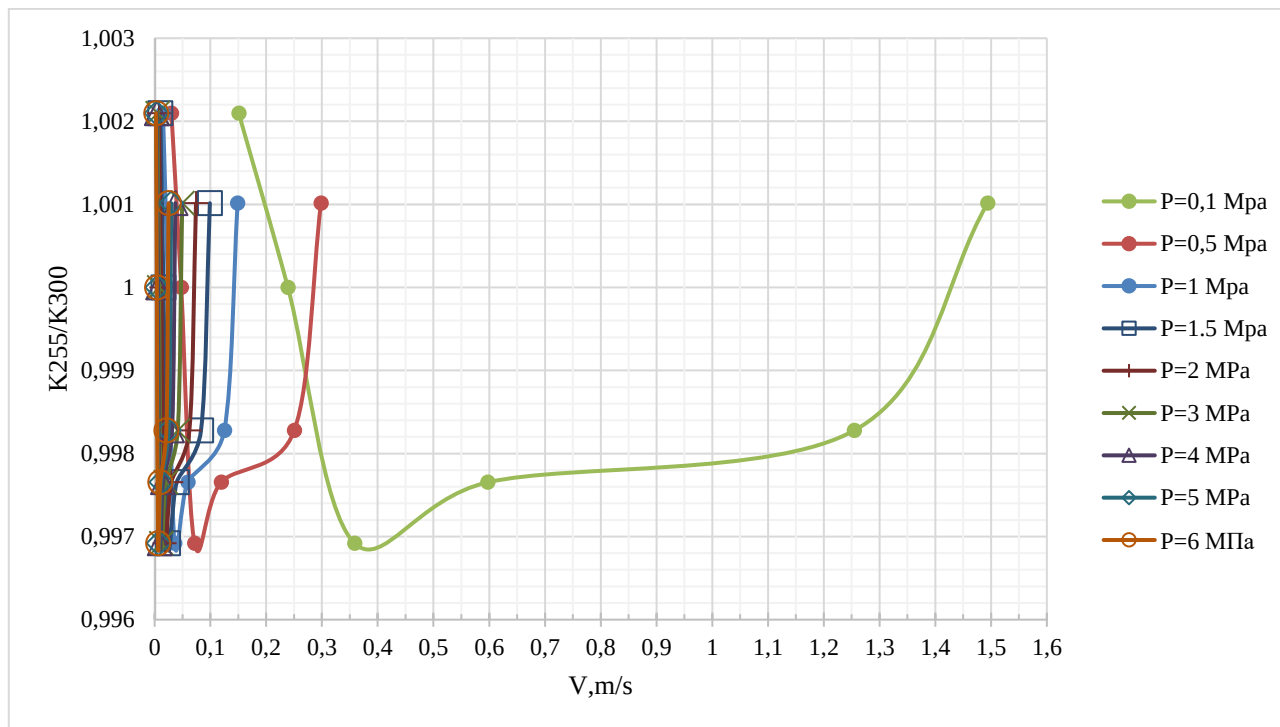


Рисунок 15. Изменения коэффициента J в зависимости от скорости в области седловидного провала (разработано авторами)

Критические скорости, при которых начинается провал, в зависимости от давления в потоке показаны на рисунке 16.

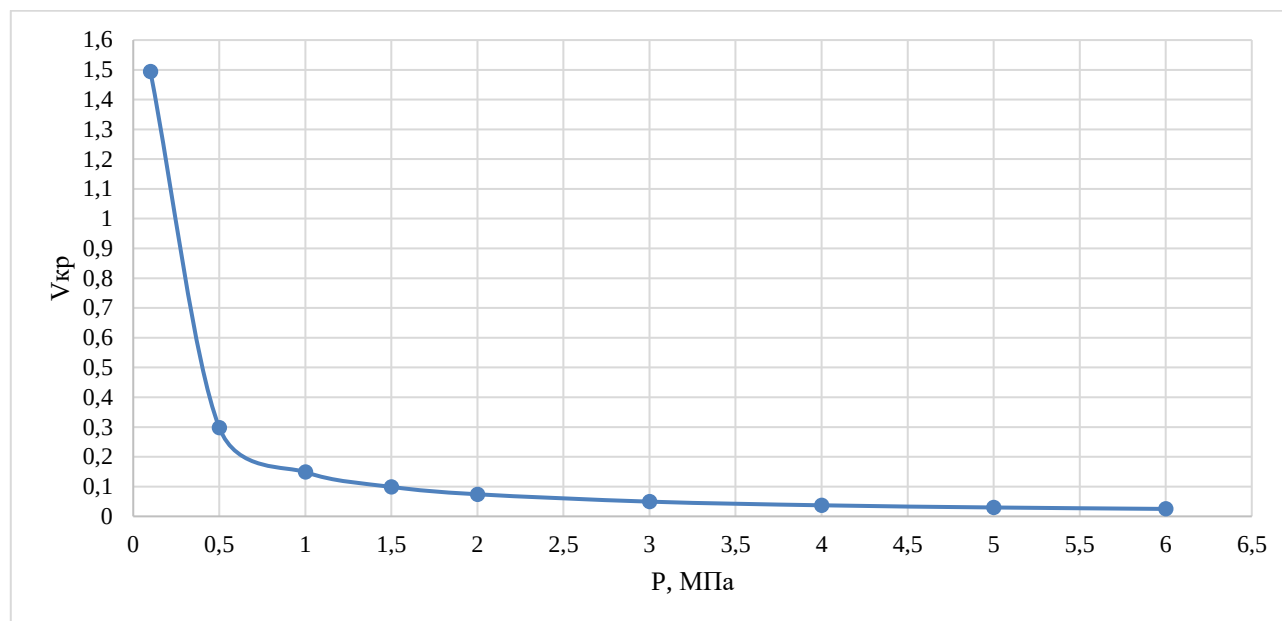


Рисунок 16. Зависимость критической скорости от давления в потоке (разработано авторами)

Заключение

Влияние изменения формы профиля потока в результате сужения проточной части УЗПР оценивается в 0,1–0,3 % на всем диапазоне работы расходомера. Такое улучшение в точности измерений при требованиях 0,7 % по точности расходомера для коммерческого учета газа является достаточно хорошим результатом. Исследования проведены для расходомера с двухлучевой схемой установки датчиков. Такие схемы могут быть использованы в расходомерах малых диаметров, где отсутствует физическая возможность установки чытерх- и более лучевых схем в силу конструкционных размеров ультразвуковых датчиков. Следует также отметить, что описанные исследования затрагивают только газодинамическую сферу работы ультразвукового расходомера, а показанные ошибки никак не связаны с работой ультразвуковых датчиков, которые могут вводить и свою относительную погрешность в точность измерений. Кроме того, в работе выявлена и показана область малых чисел Рейнольдса, а также критическая скорость, при которой сужение перестает повышать точность измерений расходомера и начинает ухудшать их.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ferrari, A.; Pizzo, P.; Rundo, M. Modelling and experimental studies on a proportional valve using an innovative dynamic flow-rate measurement in fluid power systems. — Proc. Inst. Mech. Eng. Part C: J. Mech. Eng. Sci. 2018, Vol. 232, pp. 2404–2418. URL: <https://doi.org/10.1177/0954406217721259>.
2. Mohammed, S.; Abdulkareem, L.; Roshani, G.H.; Eftekhari-Zadeh, E.; Haso, E. Enhanced multiphase flow measurement using dual non-intrusive techniques and ANN model for void fraction determination. Processes 2022, Vol. 10, p. 2371. URL: <https://doi.org/10.3390/pr10112371>.

3. Aljabarin, N.; Al-Amayreh, M.; Alahmer, A.; Alsaqoor, S. Experimental determination of a minimum spouting velocity for ceramic-coated bearings in conical-cylindrical spouted beds. *J. Porous Media* 2022, Vol. 25, pp. 1–13. URL: <https://doi.org/10.1615/JPorMedia.2021035189>.
4. Lynnworth, L.C.; Liu, Y. Ultrasonic flowmeters: half-century progress report. — *Ultrasonics* 2006, Vol. 44, pp. 1371–1378. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ultras.2006.05.046>.
5. Qiu, Y.; Chen, H.; Li, W.; Wu, F.; Li, Z. Optimization of the tracer particle addition method for PIV flowmeters. *Processes* 2021, 9, p. 1614. URL: <https://doi.org/10.3390/pr9091614>.
6. Fonseca, G.E.; Dube, M.A.; Penlidis, A. A Critical overview of sensors for monitoring polymerizations. — *Macromol. React. Eng.* 2009, 3, pp. 327–373. URL: <https://doi.org/10.1002/mren.200900024>.
7. 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, Vol. 84 URL: <https://doi.org/10.1016/j.flowmeasinst.2021.102118>.
8. 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. Vol 41. pp. 28–35.
9. Chen, J.; Zhang, K.; Wang, L.; Yang, M. Design of a high precision ultrasonic gas flowmeter. *Sensors* 2020, 20. URL: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/32858827>.
10. B. Wang, Y. Cui, W. Liu, X. Luo. Study of transducer installation effects on ultrasonic flow metering using computational fluid dynamics. — *Advanced Materials Research*. Vol. 629 (2013), pp. 676–681. URL: doi: 10.4028/www.scientific.net/AMR.629.676.

Kubenin Aleksandr Sergeevich

Research Institute of Building Physics Russian Academy of Architecture and Building Sciences, Moscow, Russia
Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia
E-mail: kube-n@mail.ru
RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=935093

Gagarin Vladimir Gennadevich

Research Institute of Building Physics Russian Academy of Architecture and Building Sciences, Moscow, Russia
Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia
E-mail: gagarinv@gmail.com
RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=292976

Pavlenko Natalya Viktorovna

Research Institute of Building Physics Russian Academy of Architecture and Building Sciences, Moscow, Russia
Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia
E-mail: nv-pavlenko@mail.ru
RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=556985

Alekseev Dmitry Pavlovich

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

On the use of a confuser to improve the accuracy of an ultrasonic flow meter

Abstract. Unlike conventional gas meters, ultrasonic flow meters have advantages such as non-contact operation, minimal pressure loss and high accuracy. The use of integration methods in the theory of ultrasonic flow meters also imposes its own requirements on the profiles of the gas flow velocity passing through the flow meter. To level the flow profiles, devices such as flow straighteners in the form of perforated disks or disks with guide blades, as well as changes in the geometric shape of the flow part of the flowmeter, can be used. The work analyzes the influence of the narrowing of the flow part of a two-beam ultrasonic flow meter on the accuracy of measurements. The influence of the tapering part of the flow meter on the accuracy of its readings is shown. The article compares integration errors in a flow meter for different diameters of the flow path, as well as for different numbers of flow meter beams at different Reynolds numbers. It has been demonstrated that three-beam and four-beam integration schemes are more accurate than the two-beam scheme. The flow velocity profiles in the flow meter were compared. It has been shown that narrowing the flow part of the flow meter improves the measurement accuracy by reducing the integration error. The effect of changing the shape of the flow profile as a result of narrowing the flow part of the ultrasonic filter is estimated at 0,1–0,3 % over the entire operating range of the flow meter. At the same time, a zone was identified in the region of the laminar-turbulent transition, in which the narrowing of the flow part of the flow meter has a negative impact on the measurement accuracy. The critical speeds corresponding to this area are indicated. It is shown that the number of rays does not affect the existence of the identified region.

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