

ГРАНИЦА ТОЧНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ПЕРЕПАДА ДАВЛЕНИЯ В СУЖАЮЩИХ УСТРОЙСТВАХ

Стариков В.П., Владимирова Н.А.

Как известно, для измерения расхода веществ применяют расходомеры, основанные на различных принципах действия: расходомеры переменного и постоянного перепада давлений, переменного уровня, вихревые, силовые, тепловые, турбинные, электромагнитные, ультразвуковые, оптические, ионизационные, меточные, концентрационные, ядерно-магнитные, парциальные и т.д. (см., например, [1]). В общем случае измерение расхода и количества жидкости или газа является достаточно сложной задачей, поскольку на показания приборов влияют физические свойства измеряемых потоков: плотность, вязкость, температура, давление, уровень турбулентного перемешивания, соотношение фаз в потоке и т. п.

Сужающие устройства – расходомеры переменного перепада
давления

Эволюционный ряд сужающих устройств

Диафрагмы → Сопла → Сопла
Вентури → Трубы
Вентури → **«Струя»**

Сделаем небольшой экскурс в теорию расходомеров переменного перепада давления – стандартных сужающих устройств. Сужающие устройства используются для расчета расхода и количества жидкостей и газов, протекающих в полностью затопленных трубопроводах круглого сечения. Действие этих расходомеров основано на возникновении перепада давлений на сужающем

устройстве в трубопроводе при движении через него потока жидкости или газа.

При изменении расхода величина этого перепада давлений также изменяется.

Принцип измерения расхода сужающим устройством заключается в измерении разности давлений до сужающего устройства, установленного в сечении трубопровода, и после него. Сужающие устройства позволяют измерять расход, как правило, в трубопроводах с диаметром от 50 мм до 1600 мм.

Рассмотрим коротко гидродинамические особенности и метрологические возможности стандартных сужающих устройств, технические требования к которым зафиксированы в ГОСТ [2-6] – диафрагм, сопел, сопел Вентури и труб Вентури.

Точность измерений расхода с помощью *диафрагм* существенно зависит от качества их установки и наличия перед ними участков труб расчетного диаметра без дополнительных источников возмущений (заусенцы, сварные швы, колена, тройники, запорная арматура). Основным недостатком диафрагмы является то, что она обладает большим гидравлическим сопротивлением и вызывает значительные потери напора и рабочего давления.

Точность измерения расхода *соплами* несколько выше благодаря отсутствию дополнительной погрешности на недостаточную остроту входной кромки и срывных явлений в «затопленной» струе. Сопла в качестве сужающих устройств для расходомеров распространения не получили, так как потери напора в них немногим меньше, чем в диафрагмах, а изготовление их значительно сложнее.

Сужающим устройством, обладающим более высокой точностью измерения расхода и не создающим больших потерь напора, является *сопло Вентури*.

Ранее других сужающих устройств были предложены *трубы Вентури*. Прямые потери рабочего давления в трубах Вентури в общем случае составляет от 5 до 20%.

Статистика показывает, что погрешность измерений расхода сужающими устройствами при выполнении требований к длинам прямолинейных участков трубопроводов составляет не менее 1,5 %. Кроме этого, имеются проблемы с измерениями «малых» расходов. Добиться более высокой точности при измерении расхода перечисленными стандартными сужающими устройствами – весьма проблематично.

Объяснение такой невысокой точности формирования и измерения перепада давления стандартными сужающими устройствами заключается в том, что все они «погружаются» в поток и имеют так называемый «открытый» выход – истечение жидкой или газовой струи в «затопленное» пространство, которым является основной поток в трубопроводе. На границе «затопленной» струи с базовым потоком возникают слои смешения и зоны отрывов, в которых преобладают эффекты турбулентного перемешивания и взаимодействия потоков, случайные и нестационарные по своей природе. Для сужающих устройств с «открытым» выходом и «затопленной» струей оценить влияние возникающих срывных явлений на точность формирования перепада давления очень трудно. Ясно, что точность формирования перепада давления для «затопленных» струй невелика, кроме того, весьма значительны прямые потери давления.

В «эволюционном» ряду типовых сужающих устройств диафрагмы – сопла – сопла Вентури – трубы Вентури отдельное место занимает новый разрабатываемый **расходомер-формирователь «Струя»** [7-8]. Формирователь «Струя» непосредственно врезается в трубопровод и не имеет «открытого» выхода. Конструктивная схема формирователя «Струя» позволяет выделить и количественно оценить процессы, происходящие непосредственно в зоне формирования перепада давления.

Результаты проведенных ранее численных исследований гидродинамических процессов течения жидкости в расходомере-формирователе «Струя», изложенные в работах [9-14], показали следующее:

- во всем заданном диапазоне изменения рабочих параметров внутри контура формирователя «Струя» формируется устойчивое течение жидкости с низким уровнем гидравлических потерь давления по всей длине тракта (0.06% – 0.35% от рабочего давления в функции от вязкости и плотности среды), что позволяет с высокой точностью определять параметры потока жидкости в сопле по измерениям давления в камере отбора давления (величина мгновенной погрешности составляет 0.05% – 0.15%; постоянная времени, определяемая по характерному размеру сопла и скорости потока, составляет величину порядка 0.1-0.5 с);

- формирователь «Струя» обеспечивает выравнивание входного распределения скорости до получения равномерного и однородного потока в сечениях сопла, измерительного участка, диффузора и выходного участка формирователя;
- процессы стратификации взвеси воды в жидкости не «успевают» повлиять на результаты измерения показателей качества и состава потока жидкости в формирователе «Струя».

Сформулированные на основании проведенных расчетов выводы составляют основу *гидродинамической теории* формирователя «Струя». Наличие достаточно малой, но не нулевой погрешности при определении параметров потока и перепада давления в сопле по измерениям давления в камере отбора давления и механизм возникновения этой погрешности объясняется следующим образом. Измерительный участок, следующий за соплом, выполнен расширяющимся с фиксированным углом раскрытия конуса 1° . Это сделано с целью компенсации толщины вытеснения пограничного слоя таким образом, чтобы основной поток жидкости оставался практически цилиндрическим на всей длине измерительного участка с камерами отбора давления и пробы. Понятно, что такая конструкция сопла и диффузора формирователя «Струя» является оптимальной лишь для одного единственного режима течения с определенным набором кинематических и динамических параметров, при котором поток остается цилиндрическим на всей длине измерительного участка диффузора, и погрешность измерения давления при этом стремится к нулю. При любых других величинах параметров потока (скорость, давление, температура, вязкость, плотность и т.д.) имеет место отклонение от «оптимальности», диффузор с заданным углом раскрытия не обеспечивает 100-процентной цилиндричности потока за соплом, что приводит к возникновению незначительных (0.05% – 0.15%) погрешностей при измерениях. Гидродинамическая природа зарождения этой погрешности состоит в наличии «противодавления» в диффузорной части измерительного отсека, что отчетливо выражается в прогибе изобар (линий равного давления) «навстречу» потоку (Рисунок 1).

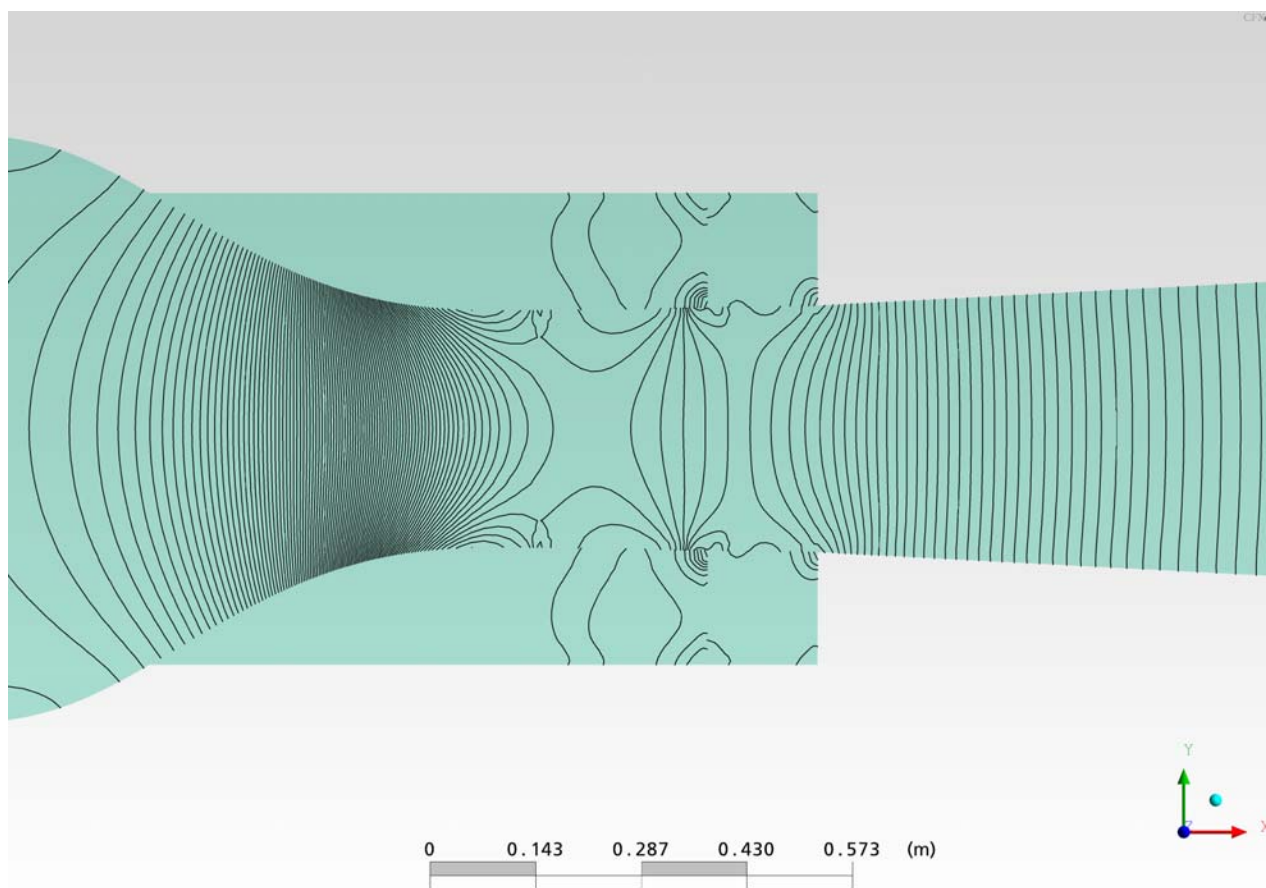


Рисунок 1. Картина изобар в сопле и диффузоре формирователя «Струя»

Можно сделать вывод, что существует предел точности формирования и измерения перепада давления сужающим устройством. Формирователь «Струя» из всех известных и используемых сужающих устройств является лучшим по качеству формирования и предельным по достижимой точности формирования перепада давления. Формирователь «Струя» является на сегодняшний день единственным сужающим устройством, способным обеспечить реальные значения «мгновенной» погрешности формирования перепада давления. Существующие стандартные сужающие устройства либо вообще не позволяют определить эти величины, либо имеют очень высокий уровень погрешности. В связи с этим необходимо создание новых технических требований для формирователя «Струя» в соответствии с нормами Госстандартов и Международных стандартов ISO.

Литература

1. Кремлевский П.П. Расходомеры и счетчики количества. Л.: Машиностроение, 1989, 771 с.
2. Измерение расхода и количества жидкостей и газов с помощью стандартных сужающих устройств. Часть 1. Принцип метода измерений и общие требования. ГОСТ 8.586.1-2005 (ISO 5167-1:2003).
3. Измерение расхода и количества жидкостей и газов с помощью стандартных сужающих устройств. Часть 2. Диафрагмы. Технические требования. ГОСТ 8.586.2-2005 (ISO 5167-2:2003).
4. Измерение расхода и количества жидкостей и газов с помощью стандартных сужающих устройств. Часть 3. Сопла и сопла Вентури. Технические требования. ГОСТ 8.586.3-2005 (ISO 5167-3:2003).
5. Измерение расхода и количества жидкостей и газов с помощью стандартных сужающих устройств. Часть 4. Трубы Вентури. Технические требования. ГОСТ 8.586.4-2005 (ISO 5167-4:2003).
6. Измерение расхода и количества жидкостей и газов с помощью стандартных сужающих устройств. Часть 5. Методика выполнения измерений. ГОСТ 8.586.5-2005.
7. Стариков В.П. Измеритель расхода газа «Струя». Патент РФ № 2186341, приоритет от 22.05.2000, опубл. 27.07.2002, бюлл. № 21.
8. Стариков В.П. Измеритель расхода газа «Струя». Патент РФ № 2193756, приоритет от 15.08.2000, опубл. 27.11.2002, бюлл. № 33.
9. Стариков В.П. Измеритель расхода жидкости и газов «Струя». Материалы 12-ой конференции «Совершенствование измерений расхода жидкости, газа и пара», 23-25 апреля 2002 г., СПб.: Борей-Арт, с. 13-21.
10. Стариков В.П., Владимирова Н.А. Расходометрические характеристики формователя "Струя": расчет течения жидкости и гидравлических потерь. Материалы 24-ой международной научно-практической конференции

- «Коммерческий учет энергоносителей», 21-22 ноября 2006 г., СПб.: Борей-Арт, с. 120-126.
11. Стариков В.П., Владимирова Н.А. Анализ влияния входного профиля скорости на качество потока в тракте формирователя "Струя" и расчет скорости стратификации мелкодисперсной жидкой примеси. Материалы 24-ой международной научно-практической конференции «Коммерческий учет энергоносителей», 21-22 ноября 2006 г., СПб.: Борей-Арт, с. 113-119.
 12. Стариков В.П., Владимирова Н.А. Формирователь непрерывной репрезентативной пробы на базе технологии «Струя». Материалы 24-ой международной научно-практической конференции «Коммерческий учет энергоносителей», 21-22 ноября 2006 г., СПб.: Борей-Арт, с. 107-112.
 13. Стариков В.П., Владимирова Н.А. Представительность пробы по составу в формирователе «Струя» при прохождении многокомпонентной смеси ньютоновских жидкостей. Материалы 25-ой международной научно-практической конференции «Коммерческий учет энергоносителей», 22-24 мая 2007 г., СПб.: Борей-Арт, с. 158-164.
 14. Стариков В.П., Владимирова Н.А. Вопросы метрологической корректности формирователя "Струя". Материалы 25-ой международной научно-практической конференции «Коммерческий учет энергоносителей», 22-24 мая 2007 г., СПб.: Борей-Арт, с. 149-158.

Сведения об авторах:

Стариков Владислав Петрович, к.т.н., Генеральный директор ООО НПП «Высокие инженерные технологии», 117335, г. Москва, ул. Архитектора Власова, д. 21, корп. 3, тел. (495)767-53-31, факс (495)775-38-22; e-mail: starikovit@mail.ru.

Владимирова Наталья Алексеевна, к.ф.-м.н., главный научный сотрудник ООО НПП «Высокие инженерные технологии», 117335, г. Москва, ул. Архитектора Власова, д. 21, корп. 3, тел. (916)601-47-48, факс (495)775-38-22; ведущий научный сотрудник ФГУП «Центральный аэрогидродинамический институт имени профессора Н.Е. Жуковского», 140180, г. Жуковский Московской обл., ул. Жуковского, 1, тел. (495)556-41-22; e-mail: vlana@progtech.ru.