

О ВИХРЕВОЙ РАСХОДОМЕТРИИ НА ПРИМЕРЕ РАСХОДОМЕТРА-СЧЕТЧИКА ВИХРЕВОГО «ИРГА-РВ»

НЕМНОГО ИСТОРИИ

Вихревой принцип измерения расходов жидких и газообразных сред стал известен с середины прошлого века. К 60 годам XX века были разработаны термический и термоанемометрический методы детектирования вихрей для измерения расхода в трубопроводах. Так появились первые вихревые расходомеры.

В период 70–80-х годов развитие вихревой расходометрии происходило весьма быстро, было разработано множество методов возмущения потока (вихреобразования) и детектирования вихрей, на мировом рынке появилось большое количество приборов.

Активное развитие вихревой расходометрии как альтернативы традиционному методу переменного перепада давления на стандартных СУ в России началось с 80-х гг. XX века. Расходомеры для жидкостей начали разрабатывать раньше газовых. Первым разработчиком вихревого расходомера был НИИ-Теплоприбор. А первым в России производителем стал завод Старорусприбор. При разработке расходомера для воды, в т.ч. теплофикационной, и водных растворов ставка была сделана на ультразвуковой («акустический») принцип съема сигнала, в то время как большинство разработчиков и производителей вихревых расходомеров предпочли «считать вихри» с помощью постоянного магнитного поля, что давало преимущество в простоте конструкции и цене.



Бесфланцевые расходомеры-счетчики вихревые «Ирга-РВ»
(правый для измерения пара)

ИЗ ДОСЬЕ ПРЕДПРИЯТИЯ

ООО «Глобус», существующее с 1989 года разработало свой вариант вихревого расходомера в 2003 году. Оно было третьим или четвертым [1] предприятием в России наладившим выпуск расходомера на вихревом принципе измерения расхода

жидких и газообразных сред. Вихревой расходомер «Ирга-РВ» совершенствовался все прошедшие годы. В настоящее время предприятие выпускает помимо классического полнопроходного варианта погружной расходомер и вариант облегченного бесфланцевого расходомера, со съемным телом вихреобразования. Кроме газа и пара добавилась в качестве измеряемой среды и жидкость. Таким образом, вихревой расходомер «Ирга-РВ» стал универсальным и измеряет и жидкие, и газообразные среды, включая пар.

И НЕМНОГО ТЕОРИИ

Вихревой метод измерения расходов основан на образовании за плохообтекаемым телом, помещенным в поток среды, регулярной вихревой дорожки, которая называется так же дорожкой Кармана, по имени австрийского исследователя, венгерского происхождения Теодора фон Кармана. Как уже упоминалось чешский физик Винсент Струхаль доказал зависимость частоты образования колебаний за телом, помещенным в поток от скорости потока и характерного размера этого тела. Эта зависимость описывается формулой:

$$f = St \cdot W / d,$$

где f – частота вихреобразования,

St – число Струхаля,

W – средняя скорость потока,

d – характерный размер тела вихреобразования.

Для характеристики вихревых расходомеров вместо числа Струхаля используется К-фактор. Производители под К-фактором подразумевают либо:

число вихрей, приходящихся на единицу объема среды:

$$K_f = n / V$$

объем среды, приходящийся на один вихрь:

$$K_f = V / n$$

где n – число вихрей за время t ;

V – объем среды за время t .

Основное уравнение вихревого расходомера:

$$f = K_f \cdot W / d$$

К-фактор условно постоянен в определенном диапазоне чисел Re и не зависит от плотности, вязкости, скорости потока и др. свойств среды. Диапазон чисел Рейнольдса, при которых К-фактор постоянен, называется рабочей областью (областью измерений) вихревых расходомеров.

КАК УСТРОЕН ВИХРЕВОЙ РАСХОДОМЕР

Устройство полнопроходного вихревого расходомера схематично представлено на Рис.1. Корпус представляет собой отрезок трубы с приваренными на торцах фланцами либо без них. В первой трети корпуса расходомера перпендикулярно потоку, измеряемой среды находится сравнительно массивное металлическое тело для образования вихрей. Далее по потоку находится детектор вихрей. Некоторые производители размещают детектор в самом вихреобразующем теле. Часто производители предусматривают размещение датчика давления и датчика температуры в корпусе расходомера. В случае маленького внутреннего диаметра расходомера датчик температуры размещают вне его корпуса в расширителе на прямом участке после расходомера.

В общем виде, вихревой расходомер состоит из двух частей: первичного преобразователя и вторичного преобразователя (электронного блока или конвертера).

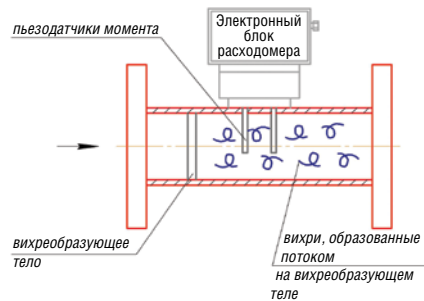


Рис.1.
Элементы конструкции вихревого расходомера

Первичный преобразователь и вся механическая часть расходомера описана выше. Электронный блок состоит из фильтра, усилителя, АЦП и блока формирования выходных сигналов. С развитием микропроцессорной электроники появились интеллектуальные вихревые расходомеры, в которых сигнал с АЦП проходит обработку. Помимо улучшения точности измерения и сведения к минимуму влияний факторов температуры, давления, нелинейности К-фактора, неравномерности потока и др., появилась возмож-

ность использования цифровой коммуникации и добавления дополнительной функциональности (например, функции вычислителя-счетчика) в расходомере.

ПРОБЛЕМЫ РАЗРАБОТКИ ВИХРЕВОГО РАСХОДОМЕРА

Разработчику вихревого расходомера приходится находить решение нескольких задач. Во-первых, нужно выбрать форму вихреобразующего тела и способ крепления его в корпусе расходомера. В целом, при выборе оптимального вихреобразователя, производители расходомеров руководствуются следующими требованиями:

- вихри не должны пересекаться для их однозначного детектирования;
- генерация вихрей должна быть стабильна (постоянство числа Струхале) в широком диапазоне чисел Рейнольдса;
- вихри должны быть достаточно сильными для детектирования, должно быть высокое соотношение сигнал-шум;
- форма и структура тела обтекания должна быть достаточно простой и технологичной в изготовлении;
- геометрия и материал исполнения тела обтекания должны исключать влияние коррозии и температуры на метрологические характеристики прибора;
- спектр частот вихрей как жидкостей так и газов не должен перекрываться со спектром естественных и промышленных частот (вибрация трубопровода, частота самовозбуждения сенсора и др.).

Существует достаточно большое число разновидностей вихреобразователей, которые можно разделить на две группы: состоящие из одной части и состоящие из двух и более частей.

Наиболее распространенными являются вихревые тела, состоящие из одной части, имеющие сечение цилиндрическое, прямоугольное, треугольное и трапециевидное (Рис. 2).

Некоторые производители используют более сложные вихреобразующие тела (Рис. 3).

Во-вторых, нужно выбрать метод детектирования вихрей. Их достаточно

много, однако наибольшее распространение получили следующие:

- детектирование пульсации вихрей (вихревые расходомеры пульсаций давления и вихревые расходомеры изгибных напряжений);
- детектирование вихрей с помощью изменения электрической емкости чувствительного элемента (вихревые емкостные расходомеры);
- детектирование вихрей с помощью ультразвуковых волн (вихреакустические расходомеры);
- термо-резистивный и термоанемометрический метод детектирования (термальные вихревые расходомеры);
- электромагнитное детектирование вихрей (вихревые электромагнитные расходомеры).

Чаще всего отечественные производители используют пьезоэлектрические датчики давления и термоанемометры или терморезисторы. Остальные методы используются значительно реже, вследствие дороговизны и не универсальности этих методов.

В любом случае, датчик вихрей преобразует механический сигнал от вихрей в электрический, который поступает в электронный блок расходомера, где сигнал проходит обработку – фильтруется от паразитных сигналов и усиливается. В дальнейшем он поступает в корректор или вычислитель. Туда же поступают сигналы от датчиков давления и температуры. Корректор (вычислитель) производит перерасчет объемов и расходов к стандартным условиям и либо передает полученные и вычисленные данные на внешнее устройство, либо демонстрирует на своем экране.

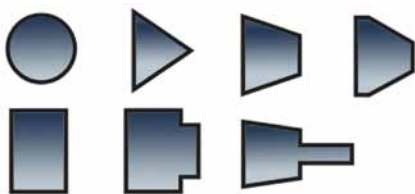


Рис.2.
Простые вихреобразующие тела

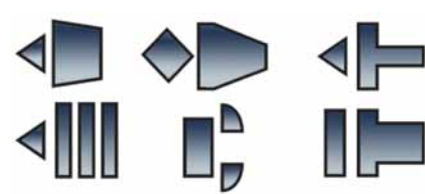


Рис.3.
Сложные составные вихреобразующие тела



Расходомер-счетчик вихревой для измерения высокотемпературного (до 300°C) пара

И, наконец, нужно избавиться от посторонних вибраций не несущих информацию о расходе среды.

СУЩЕСТВУЮЩИЕ МЕТОДЫ ПОДАВЛЕНИЯ ВЛИЯНИЯ ВИБРАЦИИ

Существующие методы подавления влияния вибраций можно условно разделить на конструктивные и математические. Конструктивные методы обычно представляют собой балансировку сенсоров, такую как, например, у последних емкостных моделей, либо встроенную компенсацию за счет сегментирования и специальной схемы подключения сегментов сенсоров, как это сделано в расходомерах digitalYEWFL0. Однако эти методы в отдельности недостаточно надежны без применения дополнительного математического аппарата.

Существующие вихревые расходомеры можно условно разделить на 2 класса по их защите от вибраций: а) расходомеры без специальной защиты или с простейшими уровнями защиты, такими как полосовой фильтр и порог по амплитуде, б) расходомеры с динамически подстраиваемым аппаратом под меняющиеся условия вибрации.

1. Расходомеры с простейшими уровнями защиты от вибрации. Большинство производителей вихревых расходомеров останавливаются на простейших вариантах защиты от вибрации и в крайних случаях рекомендуют прибегать к вращению расходомера вдоль оси трубопровода. Следует отметить, что это дает более-менее надежные результаты при фиксированных условиях вибрации. Обычно их настройки производятся при нулевом расходе так, чтобы показания расходомера свелись к нулю. Естественно здесь есть существенный недостаток: в этих случаях не учитывается динамическая составляющая вибрации, меняющаяся с расходом. Обычно источниками такой вибрации являются возмущающие поток элементы схемы, такие как клапана, вентили, изгибы труб, шероховатости и т.п. Таким образом, получается, что Вы не можете гарантировать достоверность показаний при реальном расходе в ваших условиях установки расходомера. Обычно такие расходомеры применяются для измерения расхода жидко-

сти на небольших скоростях потока при отсутствии или минимальной вибрации. Они требуют обязательной дополнительной настройки после установки. Такие расходомеры не рекомендуется использовать для коммерческого учета.

2. Расходомеры с динамически подстраиваемым аппаратом под меняющиеся условия вибрации. Аппарат динамической подстройки под меняющиеся условия вибрации достаточно сложен в реализации, в связи, с чем очень немногие производители применяют его в своих приборах. Благодаря этому аппарату такие расходомеры очень удобны в установке, так как не требуют никакой дополнительной настройки после установки на позицию, а также их показания более достоверны в рабочих условиях. Поэтому именно такие приборы желательно применять для коммерческого учета.

ИЗ ДОСЬЕ РАСХОДОМЕРА-СЧЕТЧИКА ВИХРЕВОГО «ИРГА-РВ»

При разработке вихревого расходомера «Ирга-РВ» были разработаны новаторские способы избавления от посторонних колебаний, которые включают в себя как конструктивные новации, так и методы обработки сигнала. Так для обработки сигналов с пьезодатчиков вихревого расходомера используется не имеющее прототипов аналогово-цифровое устройство с алгоритмом распознавания полезного сигнала при большом уровне помех и вибрации. В частности, при обработке сигнала от вихревого расходомера вычислителем «Ирга-2» происходит коррекция расхода по числу Рейнольдса, благодаря чему удалось уменьшить погрешность измерения до $\pm 1,0\%$ в диапазоне $Q_{min}:Q_{max}=1:20$.

НЕДОСТАТКИ ВИХРЕВОГО МЕТОДА ИЗМЕРЕНИЯ РАСХОДА СРЕД

Так как вихревой метод расходомерии чаще всего базируется на определении частоты образования вихрей, то главным недостатком метода являются паразитные промышленные колебания. Их устранение достигается электронной фильтрацией поступающего в электронный блок сигнала. Эта задача более-менее успешно решается у всех производителей вихревых расходомеров.

Следующим недостатком все авторы отмечают невозможность измерения этими расходомерами малых расходов. Этот недостаток обусловлен тем, что при низких скоростях потока вихри перестают образовываться. Кроме того, как ниже, так и выше рабочего диапазона график зависимости К-фактора от числа Рейнольдса не является прямой линией. На практике это означает, что при измерении расходов за пределами прямолинейной зависимости растет погрешность измерений. Производители знают об этом и ограничивают диапазоны измерения расходов определенным диапазоном чисел Рейнольдса. Как правило, это не более чем от $3 \cdot 10^3$ до 10^6 значений чисел Рейнольдса.

Многokrатно повторяющееся замечание о нестабильности коэффициента преобразования в рабочем диапазоне вихревого расходомера требует подробного разбора в отдельной статье. Здесь же обозначим подходы к вопросу. В конечном итоге, расходомер должен производить измерения расходов, не выходя за пределы погрешности измерения, декларированные производителем. Из этого следует, что если в реальных условиях измерения показания вихревого расходомера и расходомера, работающего на другом принципе, будут совпадать в пределах погрешностей обоих расходомеров, то это будет существенным доводом против такого уж решающего влияния нестабильности коэффициента преобразования в рабочем диапазоне. Дополнительным доводом будет проверка вихревого расходомера на поверочной установке, которая позволяет изменять давление и температуру среды. В апреле 2006 года два расходомера «Ирга-РВ» проходили испытания на поверочной установке 32 Государственного научно-исследовательского испытательного института МО РФ. Испытания повторялись при нескольких давлениях измеряемой среды. При этом погрешность «Ирга-РВ» оставалась в пределах заявленной в паспорте прибора.

Кочующее из статьи в статью утверждение о том, что вихревые расходомеры характеризуются большими потерями давления, было подробно разобрано ранее [2]. В этой статье говорится, что рассматривать потери давления в отры-

ве от производительности расходомера неинформативно. При сравнении потерь давления, соотнесенных к производительности, потери вихревых расходомеров оказываются меньше, чем у турбинных расходомеров. Работа вихревого расходомера с загрязнениями в его проточной части была подробно описана на примере расходомера «Ирга-РВ» [3]. В последней работе показано, что работа расходомера «Ирга-РВ» с загрязнениями в проточной части незначительно (в пределах погрешности измерения) отличается от работы его же чистого. Тем самым опровергнута критика вихревого расходомера в части невозможности измерения вихревым методом загрязненных сред. На примере двух последних недостатков видно, что вихревые расходомеры часто критикуются огульно, без подтверждения критики опытом.

ДОСТОИНСТВА ВИХРЕВЫХ РАСХОДОМЕРОВ

1. Вихревые расходомеры не имеют движущихся частей, поэтому менее подвержены износу и поломкам, чем расходомеры, в которых что-либо движется (турбинные и роторные расходомеры). С отсутствием движущихся частей связано еще одно достоинство вихревых расходомеров – отсутствие смазки в проточной их части. Здесь, собственно говоря, два преимущества: во-первых, не нужно производить периодическую смазку прибора и вихревые расходомеры можно использовать для измерения расходов кислорода.

2. Универсальность вихревых расходомеров. Они могут применяться для измерения расходов как жидких, так и газообразных сред включая пар.
3. Широкий динамический диапазон вихревых расходомеров. Этот диапазон составляет от 1:10 до 1:50 при высокой точности измерений до 1,0, а в некоторых случаях до 0,5.
4. Точность измерения не зависит от изменения состава среды, температуры, давления и других свойств измеряемой среды.
5. Вихревые расходомеры отличаются простотой конструкции измерительной части и сенсора и, сравнительно, невелики по стоимости, как самого прибора, так и его монтажа и эксплуатационных затрат.
6. Вихревые расходомеры устойчивы к гидро- и термоударам.
7. Высокая стабильность во времени метрологических характеристик.
8. Возможна беспроточная методика поверки.

ИЗ ДОСЬЕ «ИРГА-РВ»

Расходомер «Ирга-РВ» установлен и работает на следующих средах:

- природный газ;
- попутный нефтяной газ (ПНГ);
- насыщенный и перегретый пар;
- агрессивные и легковоспламеняющиеся газы – кислород и водород;
- воздух, азот, инертные газы, углекислый газ;
- нефть, компрессорное масло.



Самый большой из выпущенных ООО «Глобус» расходомеров-счетчиков вихревых «Ирга-РВ» с ДПЧ 510 мм

ЛИТЕРАТУРА:

1. Богуш М.В., Развитие вихревой расходомерии в России.// Датчики и системы.– 2007–№9. – с. 2–9.
2. Хоружев Г.М., О потерях давления в вихревых расходомерах.// Датчики и системы. – 2009 – №1 – с. 31–32.
3. Горбунов И.А., Безуглов Д.А., Хоружев Г.М., К вопросу о метрологических характеристиках расходомера-счетчика вихревого «Ирга-РВ» с загрязнениями в его проточной части.// Главный метролог.– №1– 2009, – с. 56–59. ■



**производитель промышленных счетчиков
газа, пара, жидкости, тепловой энергии**
www.irga.ru

Расходомер-счетчик вихревой «Ирга-РВ» хорошо работает не только на природном газе, но и при измерении расходов попутных нефтяных газов:

- измеряемые среды – газы, пар, жидкости, в том числе загрязненные примесями;
- типоразмеры Ду от 25 до 700 мм; рабочее давление до 30 МПа;
- относительная погрешность измерения расхода не более $\pm 1\%$ в диапазоне 1:20;
- межповерочный интервал 4 года.

На базе вихревого расходомера и вычислителя «Ирга-2» выпускаются **счетчик газа ТРСГ-ИРГА** и **счетчик пара «Ирга-2.3С»** (температура пара до **+575°C**).

Расходомер-счетчик струйный «Ирга-РС» хорошо подходит для учета кислорода и водорода:

- измеряемые среды – газы, пар, жидкости; трубопроводы Ду от 10 до 3000 мм;
- динамический диапазон расходов Q_{min}/Q_{max} не менее 1:30;
- относительная погрешность измерения расхода не более $\pm 0,5\%$ в диапазоне от 3 до 100% Q_{max} .

Системы телеметрии для мониторинга бытовых счетчиков газа и для ГРС.

По желанию Заказчика выполним проект, монтаж, пуско-наладку.

308023, Россия, г. Белгород, ул. Садовая 45-а, тел./факс (4722) 26-42-50, 26-18-46, 31-33-76, globus@irga.ru, sale@irga.ru