

ВИХРЕВЫЕ РАСХОДОМЕРЫ digital YEWFL0 КОМПАНИИ “ИОКОГАВА”

YOKOGAWA 

Точный учет расхода тепло- и энергоресурсов становится все более актуальным из-за неуклонного роста тарифов. Возрастающие требования к точности измерений на узлах коммерческого учета влекут за собой замену устаревших приборов на современные, обладающие компьютерным интерфейсом, удобные для монтажа и эксплуатации. Вихревые расходомеры являются оптимальным решением для учета расхода жидкости, газа и особенно пара.

Компания Июкогава имеет более чем 30-летний опыт по разработке, пусконаладочным работам и обслуживанию вихревых расходомеров в условиях производства. Еще в 1968 г. был представлен прототип первого в мире вихревого расходомера, таким образом, компания стала первым крупным производителем контрольно-измерительного оборудования, предложившим такой инструмент для измерений расхода. Начиная с 1979 г. в мире установлено более 200 тыс. вихревых расходомеров серии YEWFL0. В 2001 на мировой рынок выпущена новая серия вихревых расходомеров digital YEWFL0.

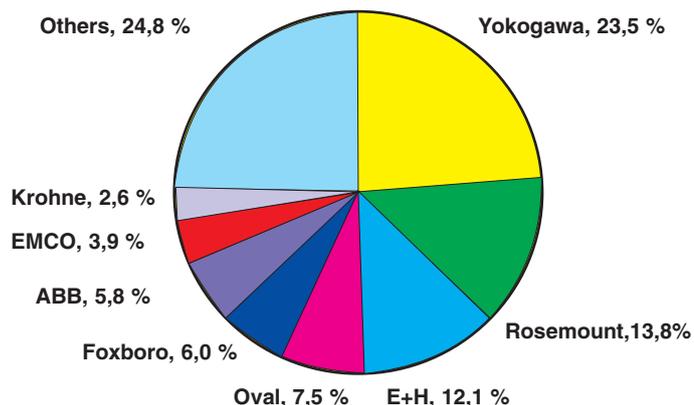


Диаграмма 1. Глобальное разделение мирового рынка поставок вихревых расходомеров

Источник: Ducker Research Company, Inc., 2001 г.

На сегодняшний момент компания Июкогава занимает первое место в мире по поставкам вихревых расходомеров (см. Диаграмму 1).

В данной статье мы постараемся рассказать о принципе работы и основных принципиальных нюансах применения вихревых расходомеров, а также о том, почему вихревые расходомеры фирмы Июкогава занимают лидирующее положение в мире.

Принцип работы вихревых расходомеров

В 1911 году Карман опубликовал работу, посвященную математическому анализу перемежающегося двойного ряда вихрей, образующегося после тела обтекания в турбулентном потоке жидкости.

Важными чертами этого явления являются стабильность и высокая периодичность вихрей. Сейчас эта

структура именуется дорожкой Кармана и является одним из наиболее известных и хорошо изученных явлений в гидродинамике.

Суть эффекта заключается в том, что образование вихрей происходит попеременно на противоположных ребрах тела обтекания. При этом частота образования вихрей прямо пропорциональна скорости потока:

$$f = St (v/d), (1)$$

где f - частота образования вихрей Кармана, St - число Струхалия, v - скорость потока среды, d - ширина тела обтекания.

Число Струхалия - эмпирическая величина, определенная геометрией расходомера и свойствами среды.

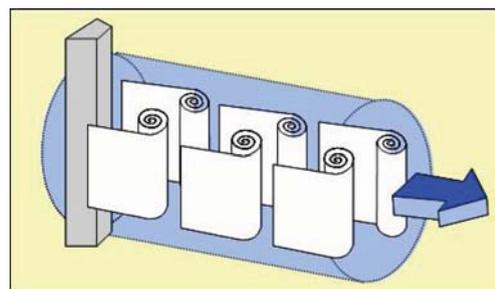


Рис.1. Образование вихрей на теле обтекания

Однако данный эффект имеет естественные ограничения. При малых скоростях поток ламинарно огибает препятствие без образования вихрей. Упорядоченное образование вихрей начинается только с определенного порога.

ламинарный
поток

переходной
поток

турбулентный
поток

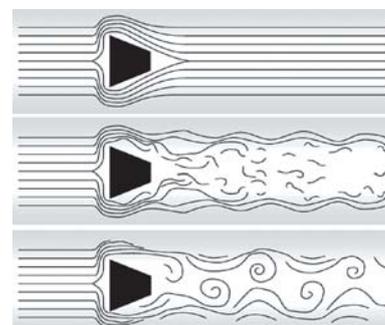


Рис.2. Режимы течения потока

Известная величина в гидродинамике - число Рейнольдса позволяет привести все среды к одному безразмерному параметру, который характеризует турбулентность течения потока:

$$Re = (\rho v / \mu) / D, (2)$$

где v - скорость среды;

μ - ее вязкость;
 ρ - плотность среды;
 D - диаметр трубопровода.

При малом Re , порядка нескольких десятков, течение ламинарно, при $Re >$ нескольких тысяч устанавливается развитый турбулентный режим. В вихревых расходомерах используется тот эффект, что в определенном диапазоне чисел Рейнольдса число Струхала St практически равно константе (2), благодаря чему получается, что коэффициент преобразования скорости потока в частоту вихрей становится не зависящим ни от плотности, ни от вязкости измеряемой среды и одинаков для всех типов сред.

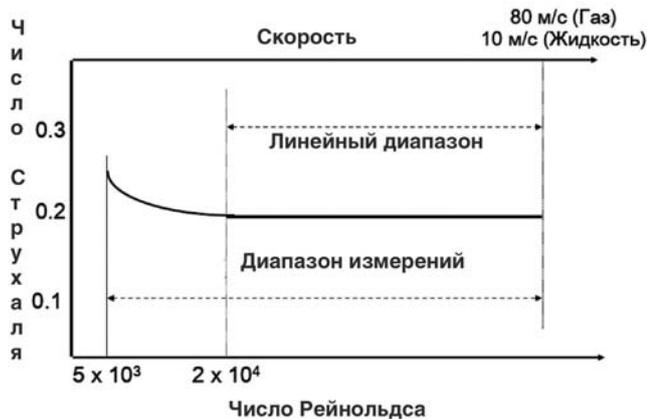


Рис. 3. Зависимость числа Струхала от числа Рейнольдса

При этом следует отметить, что в силу природы эффекта при числах Рейнольдса ниже 20000 вихревые расходомеры не гарантируют точность измерений, так как число Струхала в этом диапазоне значительно варьируется, хотя некоторые расходомеры, такие как digital YEWFLOW имеют специальный инструмент для индивидуальной калибровки в диапазоне $5000 < Re < 20000$, чтобы измерять с хорошей точностью и здесь.

Также следует отметить, что в реальности число Струхала не строго постоянно с изменением Re . Естественно, оно меняется в определенных границах, ширина которых зависит от геометрии тела обтекания: на рисунке 4 приведена зависимость числа Струхала от Re для цилиндрического тела обтекания (сплошная линия) и для дельта-образного тела обтекания (прерывистая линия). Соответственно, этой геометрией и определяется точность, которую можно достичь конкретным расходомером.

Рассмотрим более подробно условия применения вихревых расходомеров:

Физические ограничения применения вихревого принципа измерений

Ограничения по скорости потока

Помимо принципиального ограничения эффекта Кармана в области малых чисел Рейнольдса, есть еще другие факторы, определяющие нижнюю границу измерений по скорости. Главным образом это связано с тем, что большинство систем детектирования вихрей пассивны, и они используют кинетическую энергию среды.

В случае жидкостей, минимально возможная скорость обычно лежит в диапазоне 0,3-0,6 м/с (в зависимости от конструкции расходомера). Плотность также влияет на ограничение минимальной скорости, но, так как большинство жидкостей имеет удельную массу $\sim 0,8-1,2$, ограничение по скорости сильно не зависит от типа жидкости.

В случае же газов, где плотность может различаться на порядки, следует также очень внимательно смотреть на ограничения по плотности среды, так как кинетическая энергия также определяется и массой, и для детектирования вихрей необходимо также, чтобы среда также обладала достаточной массой для воздействия на сенсор.

Максимальные скорости в основном ограничиваются возможностью механических повреждений расходомера, возникновением кавитации и эффектами второго порядка (генерация вихрей стенками трубопровода).

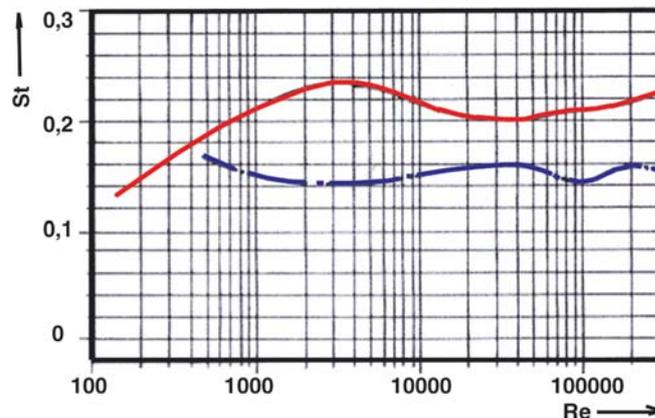


Рис. 4. Зависимость числа Струхала от числа Рейнольдса для цилиндрического тела обтекания и для дельта-образного тела обтекания

В случае жидкостей, эта величина варьируется от 5 до 10 м/с, но обычно резко уменьшается с ростом удельной массы выше. В случае газов, где опять же плотности изменяются значительно, эти данные должны сообщаться производителем расходомеров. Обычно для газов этот предел лежит в диапазоне от 30 до 80 м/с. В диапазоне $5000 < Re < 20000$ зависимость числа Струхала от Re нелинейна, но если вязкость и плотность среды остаются постоянными, то для компенсации нелинейности измерений вводится корректирующий множитель.

Кавитация

Вихревые расходомеры обычно применяются в технологических процессах с потоками, где скорости (числа Рейнольдса) в желаемом диапазоне измерений выше минимальных. В случае измерения расхода жидкости при локальном понижении давления после вихреобразователя ниже давления насыщенных паров жидкости возможно локальное образование газовой фазы.

Этот эффект называется кавитацией. При его возникновении измерения становятся невозможными, а также возникает опасность преждевременного разрушения расходомера. Поэтому каждый производитель также предоставляет формулы расчета условий возникновения кавитации для оценки применимости расходомера.

Вязкие жидкости

Измерения обычно применяются в потоках низковязких жидкостей, которые имеют достаточно высокие числа Рейнольдса, или в сжатых газах, имеющие высокие плотности при рабочих условиях. Знание того, будет ли величина расхода варьироваться в широком или узком диапазоне, очень полезно. Зачастую применение вихревых расходомеров возможно в условиях высоковязких жидкостей, когда ограничение по числам Рейнольдса удовлетворяет для данного расходомера, а отношение ВПИ/НПИ не так важно.

Существующие принципы детектирования вихрей

При том, что все вихревые расходомеры используют в своей основе одно и то же физическое явление, расходомеры разных производителей имеют отличающиеся как технические характеристики, так и надежность и требования по установке. В основе этих отличий лежат в первую очередь разные принципы детектирования вихрей. В данном разделе мы опишем некоторые наиболее популярные из них.

1. Манометрический (Метран 335, 336, Foxboro)

Изменяющееся давление, приложенное к телу обтекания, измеряется встроенным датчиком давления. Датчики давления имеют непосредственный контакт с технологической средой, что увеличивает вероятность его выхода из строя.

2. Термальный

Давление, приложенное к телу обтекания, отводится через сквозной канал, проходящий от одной грани тела обтекания к другой. В результате генерируются колебания среды внутри этого канала, а термодатчик используется для измерений колебаний. В вариантах конструкции датчик расположен внутри тела обтекания для измерений изменения скорости благодаря образованию вихрей. Этот принцип измерений имеет два существенных недостатка: с одной стороны, канал может засоряться, с другой стороны - полости внутри вихреобразователя не позволяют применить достаточно твердый материал и сами по себе ослабляют вихреобразователь. Это может приводить к частым поломкам вихреобразователей при гидроударах, газовых или жидкостных пробках.

3. Осциллирующий диск

Образование вихрей вызывает возникновение переменного давления, приложенного с той же частотой к телу обтекания. Давление передается через канал внутри завихрителя к чувствительному диску или диафрагме. Таким образом, диск осциллирует частотой изменения локального давления. Осцилляции диска измеряются магнитным датчиком положения, расположенным непосредственно вблизи диска. Недостатком данного метода является возможность закупоривания канала, а также возможность выхода из строя как диска, так и магнитного датчика.

4. Электромагнитный (ВЭПС)

В электромагнитных вихревых расходомерах детектирование вихрей осуществляется благодаря явлению электромагнитной индукции: жидкость, движущаяся в постоянном магнитном поле, создает ЭДС, частота которой прямо пропорциональна частоте вихреобразования. Недостатками данного метода является возможность измерения расхода только жидкостей, подверженность электродов загрязнению магнитными примесями, чувствительность к электромагнитным помехам.

5. Ультразвуковой (Метран 300ПР, Метран 320, Метран 305ПР, Метран 303ПР)

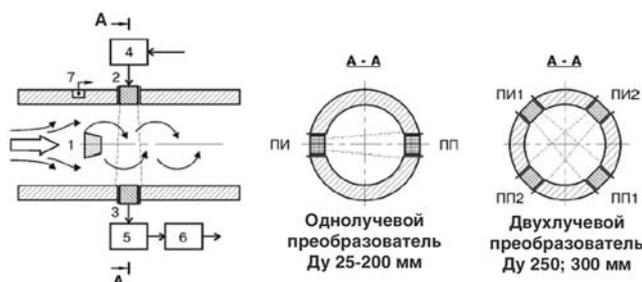


Рис. 6

Вихри, образующиеся вблизи тела обтекания, усиливаются и достигают своего развития ниже по потоку, где происходит их детектирование ультразвуковым методом. Ультразвуковой сигнал излучается с одной стороны трубопровода перпендикулярно течению жидкости и принимается с противоположной. Из анализа амплитудно модулированного ультразвукового сигнала определяется величина объемного расхода. Применение в случае газовых сред проблематично из-за особенностей поглощения ультразвука газом. метод позволяет измерять объемный расход с лучшей точностью (до 0,5%), однако вихревые расходомеры с ультразвуковым сенсором показали себя достаточно сложными в обслуживании.

6. Емкостной (E+H)

Емкостной датчик регистрирует изменение емкости за счет деформации чувствительного элемента. Этот продукт имеет канал для того, чтобы подводить давление к измерительному элементу, по этой причине возможно засорение канала загрязнениями в жидкости. Впоследствии каналы были заменены на сбалансированную схему с флажком с одной стороны и емкостным датчиком в противовесе флажку с другой стороны.

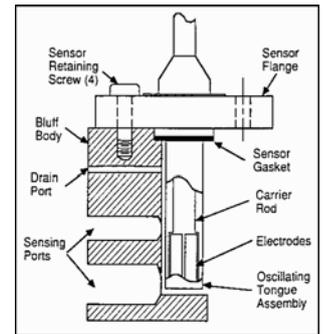
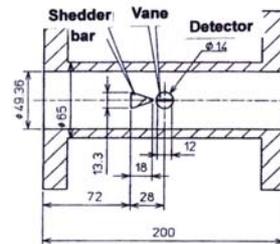


Рис. 7



Detector

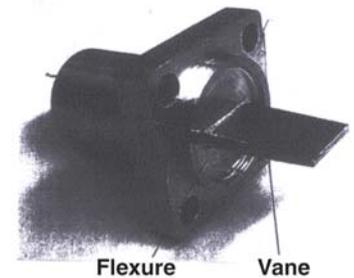


Рис. 8

Это снизило вероятность загрязнения и повысило чувствительность при измерениях малых расходов. Однако остались два существенных недостатка: большая чувствительность к неоднородности распределения потока по сечению расходомера и невысокая надежность из-за наличия тонкой мембраны, контактирующей со средой и постоянно подвергающейся знакопеременным деформациям. Это выражается в более высоких требованиях по протяженности прямых участков до и после расходомера и в ограничении по коррозионным средам и давлениям.

7. Метод изгибных напряжений (Yokogawa)

Фирма YOKOGAWA вот уже более 30 лет применяет в своих расходомерах метод изгибных напряжений (серия YEWFLOW). Суть этого принципа заключается в том, что формирование вихрей на теле обтекания приводит к возникновению переменного давления, приложенного к телу обтекания, что приводит к возникновению переменной силы, которая приводит к возникновению малых изгибных напряжений в теле обтекания с той же самой частотой, что и частота образования вихрей. Эти изгибные напряжения регистрируются пьезодатчиками, расположенными в теле обтекания. Возникающая в момент срыва изгибающая сила регистрируется расположенными внутри него пьезодатчиками.

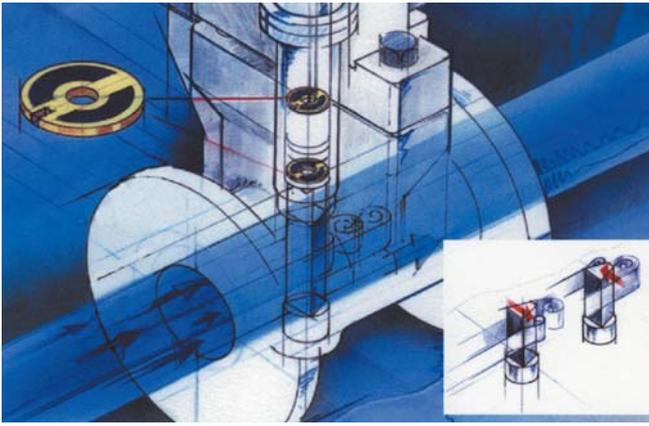


Рис. 9

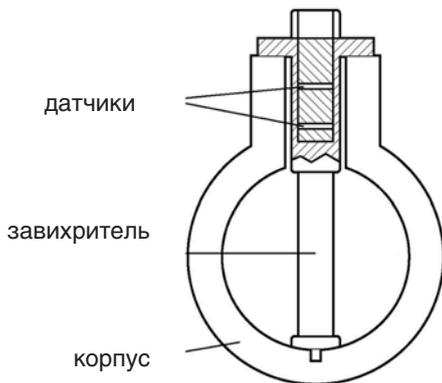


Рис. 10. Конструкция вихревого расходомера компании Yokogawa

Достоинствами такого метода измерений являются:

- усреднение потока по сечению трубопровода;
- исключение контакта датчиков с процессом;
- возможность применения ультростойких материалов в качестве вихреобразователя.

Кроме того, такая конструкция позволяет выделять и анализировать не связанные с основным сигналом шумы, благодаря чему эти расходомеры имеют мощные средства дополнительной диагностики.

Требования по установке расходомеров

Практически все методы детектирования частоты вихрей, за исключением лишь метода изгибных напряжений, проводят отбор скорости в одной точке. Для того, чтобы была возможность перенести измеренное значение на все сечение расходомера, предполагается, что профиль распределения скоростей по сечению постоянный и с определенным коэффициентом значение скорости в одной точке можно перенести на другие. К сожалению, на практике не бывает постоянного профиля скоростей - он подвержен влиянию колен, клапанов, вентилей и других неоднородностей в монтажной схеме трубопровода, при этом меняясь еще и в зависимости от скорости

Таблица 1 Требования по прямым участкам до и после расходомера (D - номинальный диаметр трубопровода)

Монтажная конфигурация	Yokogawa digital YEWFLOW	E+H Prowirl 73 (с выпрямителем потока)	Oval EX Delta	Метран 335(33)	Emerson Rosemount 8800C
Сужающая муфта	5D/5D	15D/5D	15D/5D	15D/4D	15D/5D
Расширительная муфта	10D/5D	18D/5D		20D/4D	35D/5D
Колено трубы	10D/5D	20D/5D	23D/5D	15D/4D	40D/5D
Полностью открытый дроссельный клапан	20D/5D	50D/5D	15D/5D	20D/6D	35D/5D

потока. Поэтому для того, чтобы приблизиться к условиям, в которых возможны измерения, большинство вихревых расходомеров имеют достаточно жесткие требования по соответствию внутренних диаметров трубы и расходомера, а также и по протяженности прямолинейных участков до и после расходомеров в зависимости от типа возмущающего элемента. Кроме того, зачастую приходится применять дополнительные выпрямители потока, чтобы приблизить эти требования к приемлемым условиям.

Метод изгибных напряжений, применяемый в расходомерах digital YEWFLOW, усреднение потока по сечению, позволяет бороться с искажением эпюры распределения скоростей потока и, соответственно, значительно снижает требования по протяженности прямых участков до и после расходомера. Кроме того, такая конструкция снимает строгое требование полного соответствия внутренних диаметров трубопровода и расходомера. Главным требованием в этом случае остается лишь то, что внутренний диаметр расходомера должен быть меньше внутреннего диаметра трубы. Естественно, это справедливо в разумных пределах: нежелательно, чтобы величина "ступеньки" превышала 5% от диаметра расходомера. Таким образом получается существенная экономия скрытых затрат, на которые пришлось бы пойти при установке других расходомеров (дополнительная расточка труб, полировка внутренних поверхностей). В этом плане также полезна опция, позволяющая устанавливать расходомеры меньшего размера, чем номинал трубопровода, без дополнительных сужений.

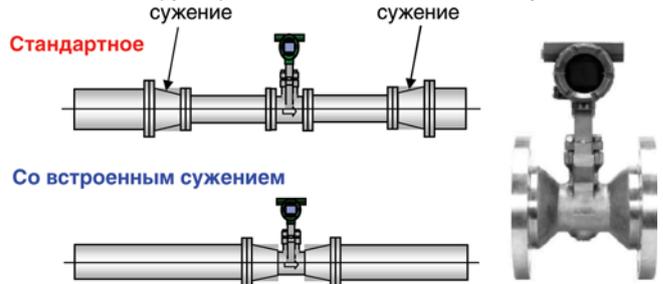


Рис. 11. Вихревой расходомер digital YEWFLOW со встроенным сужением

Расходомеры меньшего диаметра в большинстве обычно требуются для увеличения скорости потока через расходомер и, соответственно, возможности измерять меньшие расходы, так как вихри Кармана не образуются при малых скоростях потока. В большинстве случаев для этого приходится использовать переходные участки меньшего диаметра с соответствующими дополнительными требованиями по прямым участкам до и после расходомера, и следующими отсюда дополнительными затратами. Устанавливая же расходомеры со встроенным сужением, Вы имеете возможность получить значительную экономию на затратах по трубопроводу, монтажу, а также, что иногда наиболее важно - экономии места по установке расходомера. Компания Yokogawa в данном случае имеет явное преимущество тем, что, благодаря уникальной конструкции сенсора, может предложить расходомеры с переходом сразу на два номинальных типоразмера.

Влияние вибрации

В схемах трубопроводов существует достаточно большое количество источников вибрации, к которым относятся не только двигатели, компрессоры, насосы, но и клапаны, вентили. Даже простые колена трубы или излишние неровности внутри трубы при превышении определенных скоростей могут стать дополнительными источниками вибрации. Вихри, которые должны четко детектировать вихревые расходомеры, по своим проявлениям очень близки к эффектам, возникающим при вибрации трубопровода. Таким образом, получается противоречие: вихревые расходомеры с одной стороны должны быть очень чувствительны к воздействию вихрей (это критично при малых расходах или низких плотностях), с другой стороны - они должны быть устойчивыми по отношению к другим вибрациям, которые очень сложно отделить от полезного сигнала. Поэтому все без исключения вихревые расходомеры требуют очень внимательного отношения в плане минимизации вибрации в месте установки. Конечно, все производители стараются привить расходомерам определенный иммунитет к вибрации, тем самым - снизить затраты по установке и дополнительные погрешности, возникающие из-за вибрации. От того, насколько это реально удастся, зависит степень их применимости на тех или иных позициях и достоверность их показаний.

Существующие методы подавления влияния вибрации

Существующие методы подавления влияния вибрации 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 digitalYEWFLOW. Однако эти методы в отдельности недостаточно надежны без применения дополнительного математического аппарата.

Рассмотрим на чем обычно строится математический аппарат подавления влияния вибраций в расходомерах.

1) Полосовой фильтр

Достаточно просто рассчитать диапазон частот, в которых могут лежать колебания, связанные с полезным сигналом. Установив полосовой фильтр, Вы сразу сужаете себе задачу по отсечению паразитных сигналов.

2) Порог по амплитуде

Амплитуда полезного сигнала квадратично зависит от скорости, а следовательно - частоты. В простейшем случае, поскольку измерения расхода начинаются не с нуля а с некоторой величины расхода, устанавливается порог по амплитуде, ниже которого сигнал не воспринимается как полезный. Таким образом сразу же отсекаются посторонние "шумы" с небольшой амплитудой сигнала.

3) Динамический фильтр по амплитуде

В более серьезных расходомерах делается порог, динамически квадратично меняющийся с частотой сигнала. Иногда даже закладывается динамически меняющийся более узкий настраиваемый фильтр по амплитуде, который отсекает сигналы как снизу, так и сверху. Естественно - этот инструмент также зависит от плотности среды, поэтому в расходомерах, применяющих этот метод, обязательно требуется закладывать в память прибора - какой тип среды Вы измеряете (жидкость, пар, газ), чтобы правильно настроить чувствительность прибора. Многообразие настроек в этом инструменте позволяет более тонко настроить отсеечение паразитного сигнала.

4) Цифровая обработка сигнала

В последнее время производители все более часто прибегают к цифровой обработке сигнала, когда сигнал с сенсора оцифровывается и далее вся обработка сигнала производится исключительно в цифровом виде. Это дает разработчикам более широкие возможности в применении различных алгоритмов подавления посторонних шумов, не связанных с полезным сигналом.

5) Поляризация вибраций

Этот способ можно очень условно отнести к математическому аппарату, однако все-таки, поскольку в нем заложены геометрические свойства возмущающего эффекта, мы изложим этот способ здесь. Вибрация - это колебания, а любые колебания имеют выделенную плоскость или направление, в которых происходит непосредственно колебательное движение. Таким образом, каждые условия вибрации имеют свою характерную картину распределения колебаний по направлениям. При простейших средствах защиты от вибрации в самом расходомере некоторые производители выходят из положения тем, что рекомендуют вращать расходомер вдоль оси трубопровода и "ловить" оптимальную ориентацию расходомера, когда существующая поляризация вибраций меньше всего влияет на показания расходомера.

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.

а) 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 применяют для измерения расхода жидкости на небольших скоростях потока при отсутствии или минимальной вибрации. Они требуют обязательной дополнительной настройки после установки. Такие расходомеры не рекомендуется ставить на учетные позиции.

б) 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 при учетных операциях (если речь вообще идет об использовании вихревых расходомеров).

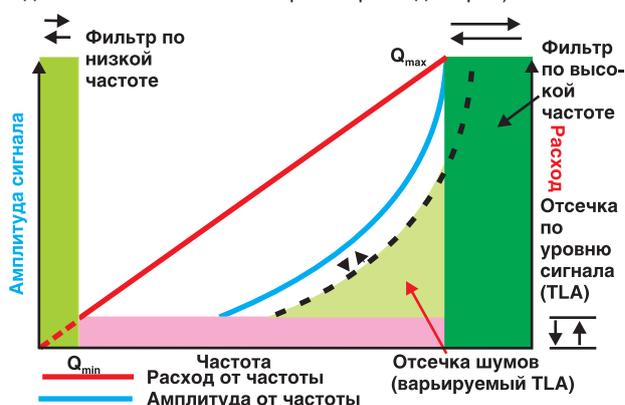


Рис. 12

Хотелось бы отдельно остановиться на техническом решении, предлагаемом фирмой Yokogawa в своих вихревых расходомерах серии YEWFL0. Это решение можно разбить на 2 части: конструктивную и аппаратную (в том числе и математическую).

Конструктивная часть:

Как любой вектор, вибрацию можно разложить на три пространственных составляющих: а) вдоль трубопровода, б) вдоль вихреобразователя и в) перпендикулярно оси трубопровода и вихреобразователя. Составляющие а) и б) легко компенсируются за счет сегментирования и полярности пьезодатчиков (рис. 13 а, б). Самое сложное направление в плане выделения и дальнейшей компенсации - это воздействие, совпадающее по направленности с воздействием вихрей. В этой ситуации восхищает то изящество, с каким разработчики фирмы Yokogawa вышли из положения: пользуясь тем, что центр приложения усилий от вихреобразования приходится на центр сечения трубопровода, а условный центр воздействия вибрации приходится на центр масс, они разнесли эти две точки по длине сенсора. Благодаря этому получилось, что эффекты от воздействия вибрации и полезного сигнала дают разные эпюры изгиба (рис.13б). Разнеся два пьезодатчика по длине сенсора можно потом легко разделить полезную и паразитную составляющие путем простейшего линейного преобразования.

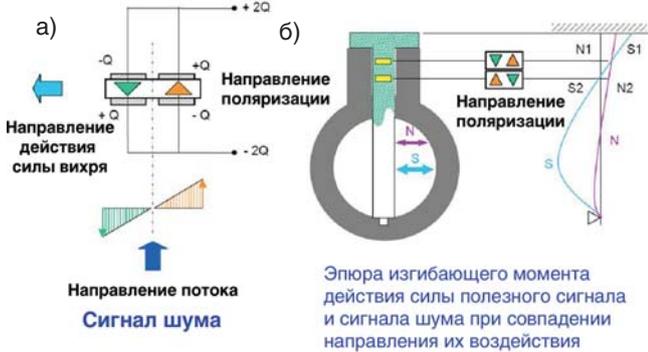


Рис.13. (а) Съем сигнала пьезоэлектрическими сенсорами, (б) Эпюра изгиба и распределение шумового сигнала

Аппаратная часть:

Дальнейшую обработку сигналов с пьезодатчиков в простейшем виде можно представить следующим образом (рис. 14): с одной стороны сигналы с обоих пьезодатчиков попадают в сумматор, где происходит линейное преобразование и отсекается паразитная составляющая, с другой стороны, сигналы с каждого датчика также анализируются по отдельности и эта

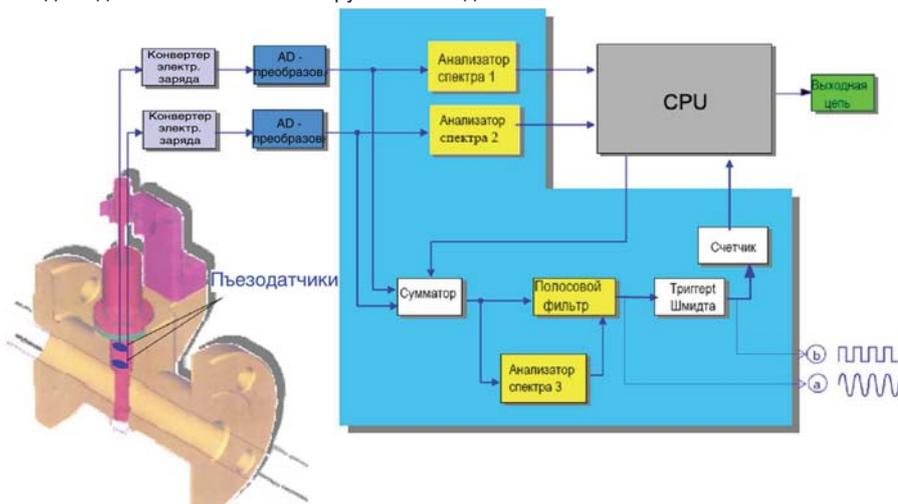


Рис. 14. Система спектральной обработки сигнала

информация используется в центральном процессоре для анализа условий работы расходомера. Но это очень упрощенно. На самом деле для получения наиболее достоверных и надежных результатов, компания Июкогава специально разработала и применила здесь еще целый ряд в том числе уникальных технологий:

1. DSP (Digital Signal Processing) - цифровая обработка сигнала

По этой технологии сигнал с каждого пьезодатчика сразу же на входе оцифровывается и это с одной стороны позволяет исключить влияние температурных характеристик элементов электроники, с другой стороны позволяет применить всевозможные математические алгоритмы обработки сигнала. Что-то подобное применяется компанией Emerson (Adaptive Digital Signal Processing) и компанией ABB в вихревых расходомерах Trio-Wirl.

2. SSP (Spectral Signal Processing) - спектральная обработка сигнала

Данная технология представляет собой усовершенствованные алгоритмы спектрального анализа, по которым анализируется входной сигнал и проводится спектрально-избирательное усиление с учетом условий технологического процесса. Система SSP включает в себя две подсистемы, первая из которых - адаптивное подавление шума (adaptive noise suppression - ANS) служит для обеспечения высокого соотношения сигнал/шум и минимизации эффектов механических шумов. Фактически эта составляющая служит для максимально четкого выделения полезного сигнала, что важно не только в условиях сильной вибрации, но и при измерении малых расходов, когда амплитуда полезного сигнала очень мала. Суть этой подсистемы заключается в том, что сигналы с пьезодатчиков подвергаются в суммирующем усилителе линейному преобразованию, благодаря которому шумовая составляющая сокращается. Поскольку противоположность фаз по особенному сегментированных и соответствующим образом ориентированных пьезодатчиков постоянны, этот механизм работает независимо от меняющихся условий вибрации и течения среды. Вторая составляющая технологии SSP представляет собой спектральный адаптивный фильтр (Spectral Adoptive Filter - SAF) - некий аналог Фурье-преобразования. Данный аппарат применяется для дополнительного анализа сигналов от каждого пьезодатчика и дальнейшего улучшения определения частоты вихреобразования.

Введение этих технологий позволило существенно улучшить иммунитет расходомера к вибрации, а также сделало возможным измерение гораздо меньших скоростей (рис.15).

Расширенная диагностика

Уникальные возможности конструкции digitalYEWFL0 проявились в том, что информация о паразитных шумах не пропадает, а отдельно анализируется. Благодаря технологии SSP есть возможность получить характеристические спектры, по которым можно судить о том, что происходит со средой внутри расходомера. В частности, теперь вихревые расходомеры digitalYEWFL0 могут распознавать засорение расходомера, многофазный и пульсирующий поток, переходные режимы, налипание, приближение к режиму повышенной вибрации и заранее об этом сигнализировать до того, как эти нештатные режимы начнут сказываться на стабильности измерений и влиять на качество управления. Пользователь получает значительную скрытую экономию за счет снижения технологических потерь при переходных и нештатных режимах.

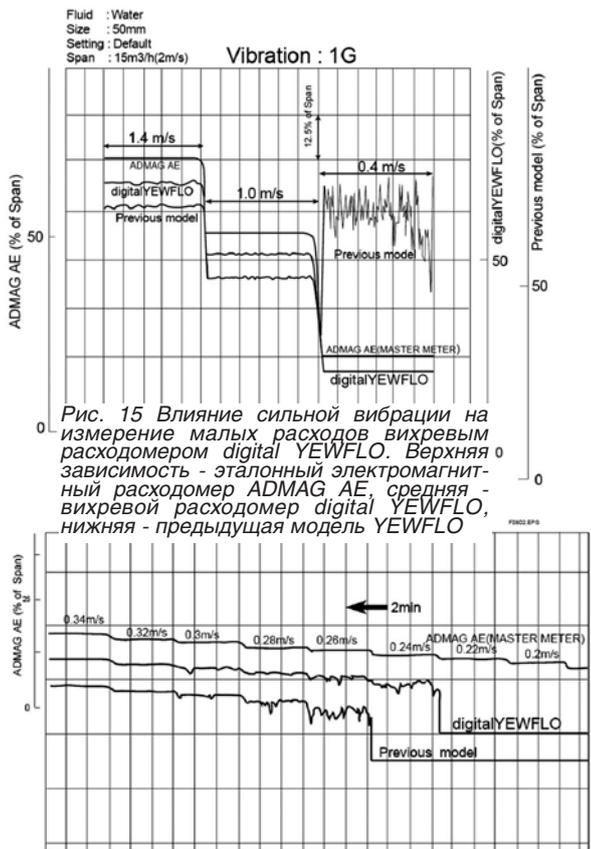


Рис. 15 Влияние сильной вибрации на измерение малых расходов вихревым расходомером digital YEWFLOW. Верхняя зависимость - эталонный электромагнитный расходомер ADMAG AE, средняя - вихревой расходомер digital YEWFLOW, нижняя - предыдущая модель YEWFLOW

Рис. 16. Измерение малых расходов вихревым расходомером digital YEWFLOW. Верхняя зависимость - эталонный электромагнитный расходомер ADMAG AE, средняя - вихревой расходомер digital YEWFLOW, нижняя - предыдущая модель YEWFLOW.

Влияние температуры среды, многопараметрические измерения

Знание реальной температуры среды при измерении расхода вихревыми расходомерами достаточно важно. Это необходимо не только потому, что зная температуру, температурную зависимость плотности и объемный расход, можно рассчитать массовый расход. Есть еще и фактор того, что сам корпус расходомера имеет конечный коэффициент температурного расширения, благодаря чему с изменением температуры меняется внутреннее сечение расходомера и, соответственно, коэффициент преобразования частоты вихрей в объемный расход.

$$K_T = K_M (1 - 4,81(T_f - 15) \cdot 10^{-5}),$$

где K_T - коэффициент преобразования при фактической температуре, K_M - коэффициент преобразования при температуре 15 °C, T_f - фактическая температура.

Получается, что при некомпенсированном изменении температуры среды на 50 °C расходомер дает дополнительную ошибку 0,24%. Для того, чтобы минимизировать эту погрешность, во всех расходомерах предлагается вводить значение рабочей температуры среды, либо впоследствии самим делать соответствующую температурную поправку.



Рис. 17. Многопараметрический вихревой расходомер и тело обтекания со встроенным термосопротивлением Pt1000

В этом плане компания Июкогава сделала серьезный шаг вперед, облегчающий использование вихревых расходомеров - предложила расходомер, способный одновременно измерять и

температуру среды благодаря встроенному в вихреобразователь датчику температуры Pt1000.

Измеренное значение температуры может быть использовано как для автоматической компенсации температурного расширения корпуса расходомера, так и для вычисления массового или нормированного расхода.

Вычисление массового и нормированного расхода.

На рынке до некоторого времени существовало всего два распространенных метода определения массового и нормированного расхода сред: а) прямое измерение массового расхода с использованием принципа Кориолиса, б) измерение перепада давления, абсолютного давления и температуры при прохождении среды через сужающее устройство с последующим вычислением массового расхода.

Первый метод достаточно удобен в плане прямых измерений и отсутствия необходимости дополнительных вычислений, однако кориолисовые расходомеры чрезвычайно дороги по сравнению с другими расходомерами и достаточно капризны в плане установки с тем, чтобы обеспечивать заявленную точность.

Второй вариант очень интересен в экономическом плане по сравнению с первым, однако имеет целый ряд существенных недостатков и ограничений, к которым относятся малый динамический диапазон, большое количество соединений и сложность вычислений.

Предложенное компанией Июкогава решение выполнения многопараметрических измерений на базе вихревого расходомера получается выгодным сразу по многим позициям:

- Если учитывать полную стоимость узла измерения, то получается самое экономичное решение (для диаметров до 200 мм);
- Простота установки и дальнейшего обслуживания;
- Высокий динамический диапазон измерений с высокой точностью измерений;
- Низкое сопротивление потоку (перепад давления в 5 раз меньше, чем у диафрагмы).

Самое главное - такие приборы получают незаменимыми на тех позициях, где есть высокие давления, температуры и скорости потока (измерение расхода пара, газа, сжиженных сред) - там где другие методы не применимы из-за чисто физических и конструктивных ограничений.

Рассмотрим типичные применения вихревых расходомеров digital YEWFLOW во многопараметрическом исполнении.

Измерение массового расхода насыщенного пара

Как известно, плотность насыщенного пара имеет однозначную зависимость от температуры при том, что по температуре насыщенного пара можно узнать и давление, так как при одном и том же давлении при более высоких температурах пар становится перегретым, а при более низких температурах происходит конденсация. Разработчики digital YEWFLOW заложили в память прибора таблицу зависимости плотности насыщенного пара от температуры, и теперь digital YEWFLOW с опцией /MV способен вычислять массовый расход насыщенного пара с гарантированной точностью $\pm 2\%$, что не так мало для такой среды.

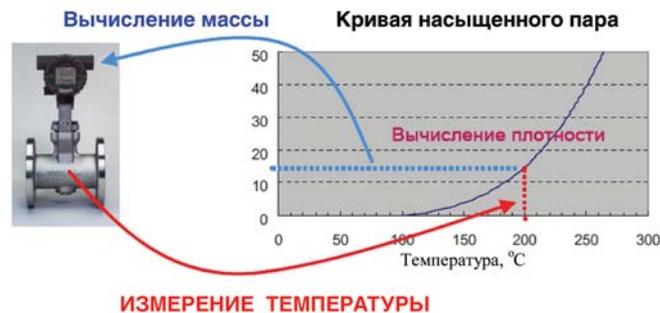


Рис. 18

Измерение расхода перегретого пара и газа

Для вычисления массового или нормированного расхода перегретого пара и газа требуется не только температура, но и давление. Поскольку вихревой расходомер не измеряет давление, сложно сделать полноценную компенсацию и при 2-х проводной схеме подключения приборов невозможно ввести в расходомер внешний сигнал с датчика давления. Поэтому в digital YEWFLOW реализован компромиссный баланс между достоинствами вычисления массового расхода сразу в расходомере и его доступностью. В большинстве случаев это себя оправдывает, т.к. существует большое множество позиций технологического учета, где достаточно упрощенного алгоритма вычисления. При этом, как правило, на таких позициях давление более-менее стабильно, а digital YEWFLOW позволяют вводить в память приборов значение давления для его последующего использования в компенсационных вычислениях. Кроме того, плотность газа и перегретого пара линейно зависит от давления. Поэтому при независимом измерении давления очень просто впоследствии на верхнем уровне произвести полную компенсацию по давлению.

Измерение массового расхода жидкостей

Жидкость - это очень выигрышный объект для применения многопараметрического вихревого расходомера: влияние единственного параметра, который здесь не измеряется - давления, нивелируется за счет того, что сжимаемостью жидкости можно пренебречь. Главную роль здесь влияет зависимость плотности от температуры. Вихревые расходомеры имеют бесспорное преимущество при измерении расхода непроводящих жидкостей, где применение электромагнитных расходомеров невозможно, а кориолисовые расходомеры слишком и избыточно дороги. Для измерения массового расхода жидкостей в расходомерах digital YEWFLOW реализована компенсация температурной зависимости плотности вплоть до членов 2-го порядка:

$$M = \rho_n Q_f (1 + a_1 (T_f - T_n) + a_2 (T_f - T_n)^2),$$

что достаточно четко отражает реальные характеристики жидкостей и дает пользователю возможность добиться гораздо более высокой точности в широком диапазоне изменения температуры среды. Конечно, существуют и ограничения применимости вихревых расходомеров для жидкостей. Ограничения главным образом связаны с тем, что при высоких значениях вязкости возрастает погрешность приборов, и Вы рискуете попасть в такой диапазон чисел Рейнольдса, при котором точность измерения вихревым методом не гарантирована. Кроме того, точные измерения массового расхода многопараметрическим расходомером не возможны и в том случае, когда состав среды, а соответственно - и ее плотность меняются со временем. Наиболее оптимальные применения таких расходомеров для жидкостей, это измерения расхода жидких легких углеводородов (бензины, керосин, дизельные топлива), различные щелочи, кислоты и солевые растворы там, где не проходят по температуре и давлению электромагнитные расходомеры, а также - измерение расхода сжиженных газов.

Беспроводная методика поверки

В связи с большой стоимостью работ по проливке расходомеров практически для каждого предприятия является очень актуальным вопрос наличия методики беспроводной поверки. К сожалению, для вихревых расходомеров это является серьезной проблемой, так как коэффициент преобразования расходомера существенным образом зависит от геометрии вихреобразователя: любые сколы, изменения в геометрии способны существенным образом повлиять на коэффициент преобразования, а контроль геометрии вихреобразователей в большинстве вихревых расходомеров невозможен из-за того, что вихреобразователи представляют единое целое с корпусом, и к ним сложно подобраться. Кроме того, из-за требования точного соответствия внутреннего диаметра расходомера внутреннему диаметру трубопровода профиль сечения расходомера приходится делать с конусообразными выходами в стороны присоединительных фланцев, чтобы предотвратить "ступеньки" местах соединений. Получается, что при таких конструкциях контроль геометрии, а соответственно - и беспроводная поверка невозможны.

Вихревые расходомеры фирмы Yokogawa выгодно выделяются из этого ряда: с одной стороны, у них есть возможность демонтировать вихреобразователь и отдельно обследовать его геометрию (главным образом только ширину тела обтекания). С другой стороны, отсутствие требования по полному соответствию внутренним диаметров позволяет сделать внутреннее сечение строго цилиндрическим, что впоследствии делает очень легким контроль его геометрии.



Рис. 19. Многопараметрический вихревой расходомер и тело обтекания со встроенным термосопротивлением Pt1000

Также, за счет того, что для детектирования вихря используется сам факт появления сигнала определенной полярности на пьезоэлементе а не его амплитуда, поверка электронного блока также получается достаточно легкой: достаточно подать на входные клеммы сигнал с генератора импульсов, чтобы проверить правильность преобразования в электронном блоке.

Методика беспроводной поверки расходомеров digital YEWFLOW уже давно прошла успешную проверку и официально утверждена для применения на территории РФ.

Вихревые расходомеры digital YEWFLOW

Расходомер digital YEWFLOW обеспечивает точность измерения в пределах $\pm 0,75\%$ от величины объемного расхода для жидкости и $\pm 1\%$ для газа. В отдельных случаях есть возможность калибровки на точность 0,5% по жидкости, что позволяет заменять ими турбинные счетчики. Ряд номинальных размеров варьируется в диапазоне от 15 до 400 мм. Благодаря тому, что корпус расходомера представляет собой полностью литую конструкцию максимальное давление для них ограничено только номиналом фланцев. На настоящий момент максимальный номинал фланцев, который изготавливался, был ANSI2500. В зависимости от исполнения вихревые расходомеры digital YEWFLOW могут работать при температуре рабочей среды от -196 до +450 °C. Расходомеры имеют также импульсный выход, благодаря чему имеется возможность вывода на верхний уровень одновременно сигналов по расходу и по температуре. Естественно, обеспечены цифровые протоколы связи BRAIN, HART и Foundation FieldBus. Степень защиты корпуса отвечает стандарту IEC IP67. Взрывонепроницаемое и искробезопасное исполнение соответствуют типам EEx(c)d IIC T6 - T1 и EExia IIC T6-T1 согласно свидетельствам о взрывозащищенности. Расходомеры серии digital YEWFLOW внесены в Госреестр СИ с межповерочным интервалом 4 года и имеют необходимые российские сертификаты.

Сегодня компания "Июкогава Электрик СНГ" представляет собой сплоченную команду высоко квалифицированных специалистов. В штате компании работает более 180 сотрудников. Спектр услуг, предоставляемых компанией, включает в себя не только поставку оборудования, но и выполнение комплексных проектов по автоматизации, техническую поддержку, гарантийное и послегарантийное сервисное обслуживание, а также - обучение специалистов.

"Июкогава" -

Ваш надежный партнер

Координаты:

**Головной офис ООО "Июкогава Электрик СНГ"
129090 Москва, Россия,
Грохольский переулок, 13, строение 2.
Телефон: +7 (495) 737 7868, 737 7871, 933 8590
Факс: +7 (495) 737 78 69, 933 85 49
E-mail: yru@ru.yokogawa.com
http://www.yokogawa.ru**