

# РАЗВИТИЕ ВИХРЕВОЙ РАСХОДОМЕТРИИ В РОССИИ

М.В. Богуш

Рассмотрены этапы развития в нашей стране вихревых расходомеров с пьезоэлектрическими датчиками от счетчиков воды до промышленных узлов технологического и коммерческого учета газа и пара. Анализируются конструктивные схемы и технические характеристики приборов различных производителей, тенденции развития этой отрасли измерительной техники.

## ВВЕДЕНИЕ

Вихревыми называются расходомеры, основанные на измерении частоты колебаний, возникающих в потоке в процессе вихреобразования [1]. В вихревых расходомерах для создания вихревого движения на пути движущего потока жидкости (газа) устанавливается обтекаемое тело, обычно, в виде трапеции в сечении. Образовавшаяся за телом обтекания система вихрей называется вихревой дорожкой Кармана. Частота образования вихрей в первом приближении пропорциональна скорости потока, а их количество за промежуток времени – суммарному расходу энергоносителя. Как правило, расходомеры одновременно являются и счетчиками.

Достоинством вихревых расходомеров является отсутствие каких-либо подвижных элементов внутри трубопровода, достаточно хорошая точность и линейность в широком диапазоне измерений, частотный выходной сигнал [1,2].

Несмотря на довольно продолжительное время освоения этих приборов в измерительной технике, теория и практика вихревых расходомеров непрерывно развивается и совершенствуется. Идут поиски лучших схемных решений, более эффективных и технологичных конструкций первичных преобразователей расхода.

Одним из важнейших элементов вихревых расходомеров являются преобразователи энергии потока в электрический сигнал, во многом определяющие эксплуатационные возможности и технический уровень приборов. Известны индуктивные, анемометрические, емкостные, оптоэлектронные и пьезоэлектрические преобразователи энергии.

Основные требования, которые предъявляются к преобразователям энергии потока вихревых расходомеров, сводятся к следующему [3]:

- высокая чувствительность к энергии вихрей, что очень важно для измерений при малых скоростях потока;
- невосприимчивость к таким помехам как вибрация и деформация трубопровода, так как расходомеры, установленные вблизи насосов всегда испытывают действие этих влияющих факторов;
- устойчивость характеристик в широких диапазонах температуры и избыточного давления.
- малые габариты, обеспечивающие монтаж датчиков в трубах малого сечения;
- коррозионостойкость для измерения расхода пищевых продуктов и агрессивных веществ;
- высокая надежность т.к. общепромышленные приборы, как правило, эксплуатируются 8-12 лет и имеют ресурс до 100 000 часов.
- простота конструкции и низкая себестоимость, способствующие конкурентоспособности и массовому распространению приборов.

Все этим условиям наиболее полно отвечают пьезоэлектрические датчики. Поэтому вихревые расходомеры с пьезоэлектрическими датчиками получили наибольшее распространение в России, и основное внимание в настоящей работе уделяется приборам этого типа.

Отметим также, что физические процессы, происходящие в трубопроводе за телом обтекания, весьма сложны. В потоке возникают пульсации давления, температуры, скорости звука и других физических параметров. Несмотря на бурное развитие вычислительной техники и численных методов описания сложных объектов, до сих пор нет удовлетворительных математических моделей гидро- и газодинамических процессов, происходящих в вихревых расходомерах. Эпюры пространственно-временного распределения физических характеристик в движущейся среде в зависимости от скорости, агрегатного состояния, вязкости движущейся

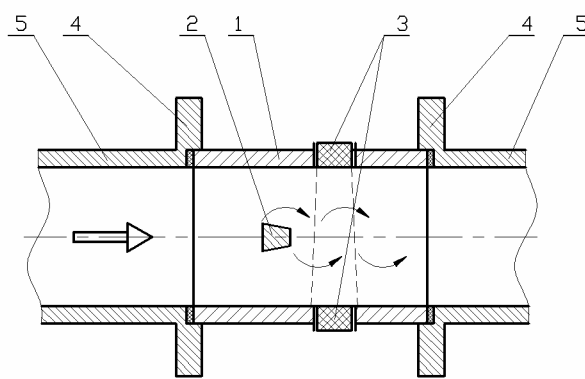
среды до конца не ясны. Тело обтекания при вихреобразовании испытывает сложное напряженно-деформированное состояние, где присутствуют и колебания кручения, и изгиба, и другие. Все это обеспечивает простор для творчества разработчиков и большой объем экспериментальных работ для поиска оптимальных решений.

Ниже анализируются этапы создания и тенденции развития вихревых расходомеров различных энергоносителей, созданных на основе пьезоэлектрических датчиков.

## ВИХРЕВЫЕ РАСХОДОМЕРЫ ЖИДКОСТИ

Первые вихревые расходомеры жидкости ВИР-1 были разработаны в ГНЦ «НИИ Теплоприбор» и внедрены на заводе «Старорусприбор» в 1982 году [1] Принцип действия этих изделий основан на ультразвуковом детектировании вихрей, образующихся за телом обтекания. Часто такие приборы называют вихреакустическими или вихревыми ультразвуковыми расходомерами [2,4].

Устройство такого расходомера поясняет рис. 1.



*Рис. 1. Устройство вихреакустического расходомера*

В проточной части расходомера 1 поперек потока располагается тело обтекания 2 в виде трапециевидальной призмы. Далее за телом обтекания диаметрально противоположно размещаются пьезоэлектрический излучатель и приемник 3. Соединение расходомера 1 с патрубками 5 осуществляется с помощью фланцев 4. На излучатель от генератора подается переменное напряжение, обычно 1-2 МГц, которое преобразуется в ультразвуковые колебания жидкости.

Пройдя через поток, эти колебания в результате взаимодействия с вихрями оказываются модулированными по фазе. Приемник воспринимает модулированные колебания и преобразует их в электрический сигнал. На фазовом детекторе определяется разность фаз между сигналом, поступающим на излучатель и воспринимаемым приемником. На выходе фазового детектора образуется напряжение, которое по амплитуде и частоте соответствует интенсивности и частоте следования вихрей, являющейся мерой скорости потока.

В 1988 году аналогичные по принципу действия счетчики воды ультразвуковые СВУ были разработаны СКБ «Сибна» (ныне ОАО «Сибнефтеавтоматика») и освоены тюменским «Опытным заводом Электрон» [5]. Более 70 тысяч таких приборов было поставлено для учета воды в системах поддержания пластового давления на нефтяных месторождениях. Эти счетчики, претерпевшие за 20 лет незначительные изменения, актуальны и выпускаются до сих пор. Позднее вихреакустические счетчики жидкости «Метран 300ПР» были освоены и ЗАО ПГ «Метран» [4].

Технические характеристики вихреакустических счетчиков жидкости различных производителей приведены в табл. 1 [2,4,6].

Таблица 1

Характеристика	Тип датчика расхода жидкости		
	СВУ. М	СВЖ	Метран-300ПР
	«Электрон»	«Сибна»	«Метран»
Диапазон типоразмеров, D, мм	50-300	50 -150	32 -300
Диапазон измерения расхода по всем типоразмерам, м <sup>3</sup> /ч	0,6 - 330	0,8- 500	0,18-2000
Динамический диапазон измерений, Q <sub>min</sub> : Q <sub>max</sub>	1: 33 1:44	1: 40	1: 50 1:100
Максимальное рабочее давление, МПа	20	20	1,6
Диапазон температур жидкости, °С	4...60	0...150	1...150
Диапазон температур окружающей среды, °С	-40...50	-45...50	-10...60
Межповерочный интервал, лет	2	2	4
Предел допускаемой основной погрешности, %, не более			
От 0,08 Q <sub>nom</sub> до Q <sub>nom</sub>	± 1,5	± 1,0	± 1,0
От 0,04 Q <sub>nom</sub> до 0,08Q <sub>nom</sub>	± 1,5	± 1,5	± 1,5
От 0,04 Q <sub>nom</sub> до Q <sub>min</sub>	± 2,5	± 4,0	± 3,0

Достоинством этого типа расходомеров является работоспособность при большом избыточном давлении жидкости - до 20 МПа. Однако они не пригодны для измерения расхода газа или пара из-за несогласования акустического импеданса пьезоэлектрических преобразователей с газовой средой. В результате большая часть акустической волны проходит через стенки трубы, а не контролируемую среду.

.В1992-93 годах тюменским предприятием ТОО «Тюменьнефтеавтоматика» (ныне ЗАО «Даймет») разработаны и сертифицированы вихревые счетчики воды «Dumetic-9001», а позднее «Dumetic-9002» с пьезоэлектрическими датчиками генераторного типа. Принцип действия этих приборов основан на регистрации деформации тела обтекания при вихреобразовании.

Конструкция такого расходомера показана на рис 2.

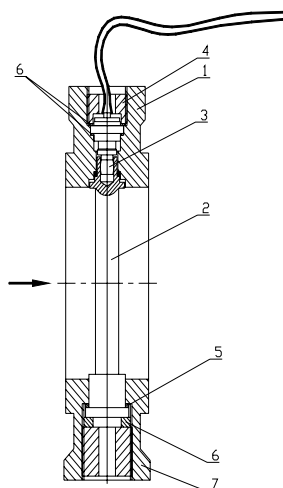


Рис.2 Схема вихревого расходомера с пьезоэлектрическими датчиками изгибного момента

В элемент трубопровода 1 установлено тело обтекания 2 таким образом, что один из его концов соединен с трубой жестко с помощью гайки 7 и шайбы 6, а второй конец соединен с трубой через пьезоэлектрический датчик 3, который закреплен на трубе с помощью втулки 4. Прокладки уплотнительные 5 обеспечивают герметичность конструкции.

При движении потока жидкости по трубе на кромках тела обтекания поочередно возникают вихри, вызывающие знакопеременные крутильные и изгибные колебания тела обтекания, которые воспринимаются пьезоэлектрическим датчиком и преобразуются в электрический сигнал с частотой появления вихрей.

Счетчики воды вихревые «Dymetic-9002» обеспечивали измерение расхода холодной и горячей воды на трубах с условным проходом от 40 до 150 мм в пределах от 5 до 500 м<sup>3</sup>/час. Динамический диапазон счетчиков составлял 1:12,5, основная погрешность в пределах  $\pm 1,5\%$ . Более 1500 таких приборов нашли применение в промышленности.

Позднее появились вихревые счетчики воды ПРВ-01, разработанные специалистами казанского ВНИИ Расходомерии по заданию ООО «Аква-Вита», г.Туапсе с пьезоэлектрическими датчиками изгибающего момента в виде крыла, установленного за телом обтекания [3]. Типоразмерный ряд счетчиков ПРВ-1 включал приборы с условным проходом от 25 до 200 мм, обеспечивающие измерения в диапазоне от 0,25 до 700 м<sup>3</sup>/ч с динамическим диапазоном от 1 : 25 до 1: 60 и погрешностью не более  $\pm 1,5\%$  при температурах воды до 180°C и давлении до 1,6 МПа.

Однако, все эти приборы, ориентированные на учет воды и тепла в жилищно-коммунальном хозяйстве, широкого распространения не получили и вскоре были сняты с производства, по-видимому, не выдержав конкуренцию по себестоимости с расходомерами, основанными на других физических принципах: электромагнитных, ультразвуковых, тахометрических.

### ВИХРЕВЫЕ СЧЕТЧИКИ ГАЗА

Первый российский вихревой счетчик газа СВГ был разработан ОАО «Сибнефтеавтоматика» и освоен в серийном производстве 1991 году [5]. Первый СВГ имел диаметр условного прохода 50 мм и был рассчитан на расходы до 400 и 800 м<sup>3</sup>/ч. Для регистрации вихрей использовались пьезоэлектрические датчики давления [2,7]. Устройство вихревого расходомера газа с датчиками давления поясняет рис. 3 .

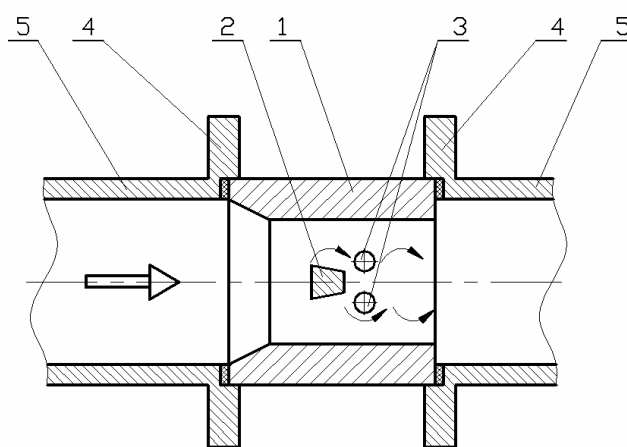


Рис 3. Схема вихревого расходомера газа с пьезоэлектрическими датчиками давления.

Пьезоэлектрические датчики 3 устанавливаются в трубопровод 1 за телом обтекания 2 попарно. Это позволяет минимизировать вибрационные и акустические помехи, т.к. сигнал одного из датчиков в согласующем устройстве инвертируется и суммируется с сигналом другого датчика. В результате синфазный сигнал помехи компенсируется на сумматоре, а полезный противофазный сигнал выделяется. В качестве согласующего используется зарядовый усилитель, который преобразует сигнал датчика в меандр, частота которого пропорциональна скорости потока.

В 1998 году ОАО «Сибнефтеавтоматика» был разработан и освоен в производстве нормальный ряд счетчиков газа СВГ.М на расходы до 160, 400, 800 и 1600 м<sup>3</sup>/час, а в 2000 году – на расходы до 2500, 5000 и 10000 м<sup>3</sup>/ч для труб с условным проходом от 50 до 200 мм. Эти приборы обеспечивают динамический диапазон измерений расхода газа при избыточных

давлениях до 160 кПа - 1 : 20, а при давлениях от 0,16 до 2,5 МПа – 1 : 40. Погрешность измерений в наиболее вероятном интервале расхода от 0,1 до 0,9 максимального не превышает  $\pm 1\%$ , а во всем диапазоне измерений  $\pm 1,5\%$  [8]. Однако после приведения к нормальным условиям измеренного количества газа, суммарная погрешность возрастает до  $\pm 2,5\%$  за счет погрешностей вносимых датчиками избыточного давления и температуры, которыми комплектуется счетчик.

Отметим, что разработки ОАО «Сибнефтеавтоматика» отличает высокая степень унификации технических решений. Так во всех типоразмерах датчиков расхода газа ДРГ.М используются единые малогабаритные пьезоэлектрические датчики давления 014МТ [9], а счетчики газа СВГ.М комплектуются универсальным микропроцессорным блоком ВКТ.М.

Примерно в то же время другая тюменская фирма ЗАО «Даймет» разработала и освоила в собственном производстве, а также на заводе «Электрон» счетчик газа «Dumetic-9421» [10], обеспечивающий измерение расхода в трубах от 32 до 150 мм в диапазоне от 6 до 5000 м<sup>3</sup>/ч. Принцип действия и размещение пьезоэлектрических датчиков 014МТ в этих приборах аналогичны показанному на рис.3. Особенностью «Dumetic-9421» является то, что датчик расхода включает также датчик избыточного давления и термометр, установленный в тело обтекания. Фактически измерительный участок трубы является единым трехкомпонентным датчиком расхода, давления и температуры.

Данное техническое решение позволяет снизить себестоимость счетчика в целом. Однако целесообразность его является спорной, т. к. усложняется процесс периодической проверки приборов (необходимо оригинальное поверочное оборудование), а надежность изделия определяется фактически устойчивостью датчика избыточного давления к пневмоударам.

Отметим, что с 2003 года аналогичный счетчик газа под маркой «Метран-331» распространяет через свою торговую сеть ЗАО ПГ «Метран» [4].

Другой вариант конструктивного исполнения вихревых расходомеров газа разработан ООО «Глобус» г. Белгород. В приборах «Ирга-РВ» для регистрации вихрей используются 2 пьезоэлектрических датчика изгибающего момента 108 [11], установленных вдоль оси трубы за телом обтекания. Схема этого расходомера показана на рис. 4 [12].

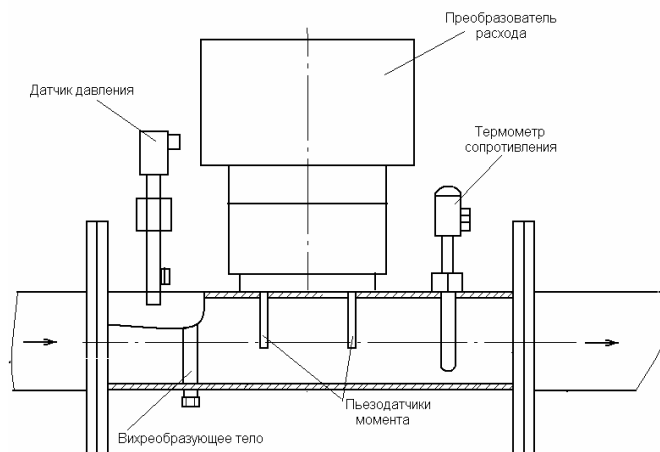


Рис 4. Схема вихревого расходомера с пьезоэлектрическими датчиками изгибающего момента

Пьезоэлектрические датчики момента выступают в проточную часть, в то время как датчики давления обычно монтируются заподлицо со стенкой трубы. В результате съем информации происходит не в пристенной зоне, где скорость течения минимальна, а на расстоянии 10-15 мм вглубь расходомера. К тому же площадь, подвергающаяся действию вихрей у датчика изгибающего момента намного больше, чем у датчика давления. Расположение датчиков последовательно друг за другом в тени тела обтекания обеспечивает их защиту от механических повреждений и регистрацию энергии одновременно двух вихрей, что позволяет повысить чувствительность к полезному сигналу и компенсировать влияние вибрации и других помех. Расходомер «Ирга-РВ» устойчив к гидроударам и невосприимчив к наличию жидкой фазы в газовой среде [12].

В газовых расходомерах ВИР-100, ОАО «Теплоприбор» г. Челябинск, «Взлет-ВРС», ЗАО «Взлет», г. Санкт-Петербург для регистрации вихрей используются датчики давления, непосредственно встраиваемые в тело обтекания. По мнению разработчиков это обеспечивает независимость градуировки прибора от молекулярной массы и упругих свойств газа, что является весьма важным, если учесть то, что градуировка приборов проводится в воздухе, а измеряют они обычно природный газ. В ВИР-100 пьезоэлементы (ПЭ) в виде пластины установлены непосредственно на скошенных поверхностях трапецеидального тела обтекания. Однако технологические проблемы защиты ПЭ от влажности и агрессивности среды сделали этот прибор малонадежным. В приборах «Взлет-ВРС» в теле обтекания предусмотрены отверстия, через которые датчики давления сообщаются с рабочей средой.

Аналогичным образом через каналы в теле обтекания осуществляется связь между преобразователями вида энергии и рабочей средой в счетчиках «Ирвис-Р4», ООО «Ирвис» г. Казань, выпускаемых в двух модификациях: с анемометрическими датчиками для измерения расхода газа и с пьезоэлектрическими датчиками давления 014МТ для измерения расхода газа и пара.

В таблице 2 приведены характеристики общепромышленных вихревых расходомеров газа ведущих российских производителей [2,4,10,13-15]. Для сравнения в таблицу включены роторные (RVG, ЭЛЬСТЕР-Газэлектроника) и турбинные (СГ16МТ, Арзамасского приборостроительного завода) газовые счетчики, составляющие конкуренцию вихревым расходомерам.

Таблица 2

Характеристика	Тип датчика расхода газа							
	СВГ. М «Сибна»	Dymetic- 9421 «Даймет» «Электрон»	Метран- 331 «Метран»	Ирга-РВ «Глобус»	Ирвис-Р4 «Ирвис»	Взлет- ВРС «Взлет»	СГ16МТ АПЗ	RVG «Эльстер»
Диапазон типоразмеров, D, мм	50-200	32 -150	32 -150	32-200	50-200	32-100	50-100	40-150
Диапазон измерения расхода по всем типоразмерам, м <sup>3</sup> /час	4 -10000	6- 5000	6-5000	4-5000	12-5000	6 - 2500	10-2500	0,8-650
Динамический диапазон измерений, Q <sub>min</sub> : Q <sub>max</sub>	1: 20, 1:40	1: 30	1: 30	> 1: 40	> 1 :50	1 : 30	1: 20	1:20, 1: 50, 1:100
Максимальное рабочее давление, МПа	2,5	1,6	1,6	1,6; 6,3; 16	1,6	1,6	1,2 и 1,6	1,6
Диапазон температур энергоносителя, °С	- 20...250	-20...150	-20...200	-55...250	-35...250	-40...100	-20...60	-20...70
Диапазон температур окружающей среды, °С	-40...50	-40...50	-40...50	- 55...60	-35...50	- 40...70	-40...50	-30...70
Межповерочный интервал, лет	2	2	2	4	2	2	2	4
Предел допускаемой основной погрешности, %								
От 0,1 Q <sub>max</sub> до Q <sub>max</sub>	± 1	± 1	± 1	± 1		± 1,5		± 1
От 0,2 Q <sub>max</sub> до Q <sub>max</sub>					± 1		± 1	
От Q <sub>min</sub> до 0,1Q <sub>min</sub>	± 1,5	± 1,5	± 1,5	± 1,5		± 1,5		± 2
От Q <sub>min</sub> до 0,2Q <sub>min</sub>					± 1,3		± 2	

Из таблицы 2 следует, что заявленные производителем технические характеристики всех приведенных типов счетчиков газа отличаются незначительно. В научной литературе продолжается дискуссия о преимуществах и недостатках приборов для коммерческого учета газа, основанных на различных физических принципах [13,16].

В качестве недостатков вихревых счетчиков газа указывается [16]:

- повышенная чувствительность к эюуре скоростей в точке измерения, а как следствие необходимость больших прямых участков до и после прибора;
- зависимость линейной области прибора от свойств газа и как следствие не возможность проведения точных измерений при малых расходах;
- более высокие потери давления при измерениях;
- низкая помехозащищенность от вибрации при малых расходах;

Несомненными преимуществами вихревых расходомеров считаются [16]:

- хорошая работа при контроле загрязненных и агрессивных газов;
- надежная работа в системах автоматизации технологических процессов, где не требуется высокая точность в широком динамическом диапазоне;

- устойчивая работа при наличии в газе металлической пыли;
- невосприимчивость к скачкам давления, расхода, пневмоударам;
- коммерческий учет расхода пара.

Несмотря на отмеченные недостатки, уже сейчас вихревые расходомеры газа занимают в нашей стране более 23 % рынка промышленных приборов учета газа среди российских производителей, в том числе ОАО «Сибнефтеавтоматика» около 17% [17].

## **ВИХРЕВЫЕ РАСХОДОМЕРЫ ПАРА**

Как правило, все вихревые расходомеры газа, созданные на основе пьезоэлектрических датчиков генераторного типа являются и расходомерами пара. Этим они выгодно отличаются от вихревых расходомеров, основанными на других физических принципах – анемометрических, индуктивных, ультразвуковых. Для измерения расхода пара необходимо ввести в вычислитель программу расчета значений массы пара и переносимой им тепловой энергии и обеспечить термостойкость конструктивных элементов датчика расхода.

Вихревые датчики расхода приборов, приведенные в таблице 2, в различной степени удовлетворяют требованиям термостойкости. Например, в счетчиках «Взлет-ВРС» термостойкость пьезоэлектрических датчиков давления 021 не превышает 120°C [14], что обусловлено применением пластмассы для защиты ПЭ от потока. В счетчиках «Dymetic- 9421» и «Метран-331» термостойкость тензопреобразователя LHP-2,5 канала измерения избыточного давления не превышает 200°C [4]. Если в пьезоэлектрических датчиках используется высокочувствительная керамика на основе цирконата-титаната свинца, то термостойкость таких приборов не превышает 250-300°C. К таким приборам относятся все счетчики, указанные в таблице 2, кроме «Ирга-РВ» в специальном исполнении. В то же, если в счетчике пара используется пьезоэлектрические датчики, выполненные на основе малочувствительной, но термостойкой керамики титаната-висмута, например, датчик давления 019 [3], то рабочая температура пара может достигать 450°C и выше.

Серьезные проблемы возникают при измерении расхода насыщенного пара, когда одновременно в трубопроводе существует газовая и жидкая фаза. Вода концентрируется вдоль стенок трубы и препятствует нормальному функционированию датчиков давления установленных заподлицо со стенкой трубы. Специалисты ОАО «Сибнефтеавтоматика» предложили эффективный прием преодоления этой проблемы за счет выдвижения датчика давления внутрь трубы вместе с жестко охватывающей его кольцевой втулкой с коническим по форме выступом [18]. Отметим, что счетчики «Ирга-РВ» лишены этого дефекта т.к. крыло датчика изгибающегося момента выступает внутрь трубы, где преобладает газообразная фаза [12].

Основные технические характеристики выпускаемых в России вихревых счетчиков пара приведены в таблице 3 [2, 4, 10,15,19-21].

Единственной альтернативой вихревым расходомерам на рынке приборов учета расхода пара являются приборы, основанные на измерении перепада давления на сужающих устройствах [22]. Однако, эти приборы характеризуются динамическими диапазонами 1:5 – 1:10, погрешностью измерений до  $\pm 5\%$ , а при измерении насыщенного пара скорее дают качественную картину, чем количественную оценку [2,19]. Анализ таблицы 3 показывает очевидные преимущества вихревых счетчиков пара по сравнению с диафрагмами и другими сужающими устройствами: широкий динамический диапазон, высокая точность измерений, стабильность метрологических характеристик во времени, более низкие потери давления. Все это ведет к постепенному увеличению доли вихревых счетчиков на рынке средств учета расхода пара, которая же сейчас составляет около 60% среди российских производителей, в том числе ОАО «Сибнефтеавтоматика» - 40% [17].

Отметим, что указанные в таблице 3 максимальные рабочие температуры выше 450°C следует рассматривать скорее как намерение разработчиков, а не достигнутый и апробированный на практике результат. Это связано с тем, что в настоящее время еще нет пьезоэлектрических датчиков для вихревых расходомеров, обладающих такой термостойкостью

Таблица 3

Характеристика	Тип датчика расхода пара				
	СВП. М «Сибна»	Dumetic- 9431 «Даймет»	Метран- 331 «Метран»	Ирга-РВ «Глобус»	Ирвис-Р4 «Ирвис»
Диапазон типоразмеров, D, мм	50 -150	32 -150	32 -150	32-300	27-300
Диапазон измерения расхода по всем типоразмерам, м <sup>3</sup> /ч (т/ч)	(0,005 – 60)	6- 5000	6-5000	4-12000	8 - 12000
Динамический диапазон измерений, Q <sub>min</sub> : Q <sub>max</sub>	1:40	1: 30	1: 30	> 1: 40	> 1: 50
Максимальное рабочее давление, МПа	2,5	1,6	1,6	1,6; 6,3; 16; 30	16
Диапазон температур энергоносителя, °С	100 - 300	100...200	100...200	100...450 (100...575)	120...250
Диапазон температур окружающей среды, °С	-40...50	-40...50	-40...50	- 55...80	-45...50
Межповерочный интервал, лет	2	2	2	4	2
Предел допускаемой основной погрешности, %					
От 0,1 Q <sub>max</sub> до 0,9 Q <sub>max</sub>	± 1	-	-	± 1	± 1
От Q <sub>min</sub> до 0,1 Q <sub>max</sub>	± 1,5	± 2	± 2	± 1,5	± 1,3
Массы (объема)	± 3	± (1,5)	± (1,5)	-	-
Тепловой энергии	± 4	-	± 4	-	-

## ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ

К тенденциям развития этой отрасли измерительной техники следует отнести:

- создание вихревых расходомеров для измерения в трубах большого диаметра;
- повышение рабочей температуры вихревых счетчиков пара;
- повышение точности измерений в рабочих условиях с учетом неравномерности и нестационарности измеряемого потока.

ОАО «Сибнефтеавтоматика» разработало и сертифицировало вихревые датчики расхода ДРГ.3 и ДРС.3 погружного (зондового) типа. Принципиально новые для российских производителей расходомеры позволят измерять расход газа и жидких сред с диапазоном от 500 до 250000 м<sup>3</sup>/ч на трубопроводах диаметром от 200 до 1000 мм. Предусмотрено также лубрикаторное исполнение, позволяющее извлекать датчики для технического обслуживания без нарушения целостности трубопровода и остановки подачи измеряемой среды [23].

ООО «Глобус» проведена успешная опытная эксплуатация полномерных расходомеров газа и пара «Ирга-РВ» с условным проходом до 500 мм, не имеющего аналогов в мировой практике [21]. Весьма заманчивой перспективой является создание вихревых счетчиков пара с рабочей температурой до 575-600°С и внедрение их на крупных тепло- и электрогенерирующих станциях. Это позволило бы за счет снижения потери давления на измерениях увеличить КПД станции и получить значительную экономию органического топлива [21].

ООО «Ирвис» проведены фундаментальные исследования формирования вихревой дорожки в пульсирующем потоке, которые показали, что при наложенных пульсациях сохраняется регулярность вихревой дорожки в поточных координатах. Это является важнейшей физической основой возможности измерения расхода газа при пульсациях потока, но требует специальных методов выделения частоты вихреобразования. Такой метод был создан и реализован в программе для микроконтроллера расходомеров «Ирвис-РС4». Выполнено тестирование метода, проведены испытания по оценке метрологических характеристик в условиях пульсаций потока. Впервые создан расходомер, способный автоматически диагностировать нестационарность потока и с относительно невысокой дополнительной погрешностью измерять расход в нестационарных условиях. По мнению специалистов ООО «Ирвис» создан вихревой расходомер нового поколения, не требующий прямолинейных участков до и после измерителя и по совокупности характеристик превосходящий лучшие мировые аналоги [24].



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основной нишей вихревых Расходомеров-счетчиков энергоносителей на российском рынке в настоящее время является технологический и коммерческий учет расхода газа и пара.

Лидерами в России по выпуску вихревых расходомеров являются: ОАО «Сибнефтеавтоматика» г. Тюмень (СВГ.М и СВП.М), ЗАО Даймет и «Опытный завод Электрон» г. Тюмень («Dymetic 9421», («Dymetic 9431»), ООО «Глобус», г. Белгород ( «Ирга - РВ»), ЗАО «Взлет» г. Санкт-Петербург («Взлет ВРС»), ООО «Ирвис» г. Казань («Ирвис Р4»), ЗАО «Метран», г. Челябинск («Метран 331» и «Метран 332»).

Эти предприятия обеспечивают около 90% российского рынка вихревых средств учета газа и пара среди отечественных производителей. Приборы также успешно эксплуатируются в странах ближнего зарубежья, включая Казахстан, Украину, Белоруссию, Узбекистан, Киргизию и др. Объем выпуска этих приборов в 2006 году составил более 3000 штук и имеются все предпосылки к дальнейшему росту.

Отметим, что во всех перечисленных выше приборах для преобразования энергии потока в электрический сигнал используются пьезоэлектрические датчики (014МТ, 018, 019, 021, 108), разработанные и поставляемые ООО «Пьезоэлектрик» г. Ростов-на-Дону.

Вихревые расходомеры в настоящее время успешно конкурируют с традиционными приборами, основанными на измерении перепада давления на сужающем устройстве, а также турбинного и ротационного типа, занимая на российском рынке более 23% среди промышленных приборов учета газа и более 60% среди приборов учета пара.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Маштаков,Б.П., Грикевич А.В. Вихревые расходомеры с телом обтекания. Перспективы вихревой расходомерии// Приборы и системы управления. - 1990. - №12.- С.24-26.
- 2.Абрамов Г.С., Барычев А.В., Зимин М.И. Практическая расходомерия в промышленности – М.: ОАО ВНИИОЭНГ, 2000. - 472 с.
- 3.Пьезоэлектрическое приборостроение: сборник в 3 томах. Т. 3. Богуш М.В. Пьезоэлектрические датчики для экстремальных условий эксплуатации. Ростов-на-Дону. Издательство СКНЦ ВШ, 2006, 346 с: ил.
4. Расходомеры счетчики. Тематический каталог № 3 . Выпуск 1. ПГ Метран. Челябинск, изд-во «Книга». – 2006. 187 с.
5. Планета СИБНА/ Князев С.Ю. – Тюмень: ООО «РГ Проспект». 2006. – 104 с.
6. Счетчик вихревой ультразвуковой. [www.zelectr.ru](http://www.zelectr.ru). ОАО Опытный завод «Электрон».- 2006.
- 7.Абрамов Г.С., Зимин М.И. Вихревые счетчики газа промышленного назначения. Опыт разработки, производства и эксплуатации//АТиС в НП.- 2001 - №1-2.- с. 14-16.
8. Баранов С.Л., Болдин В.С., Абрамов Г.С., Зимин М.И. Новое поколение вихревых расходомеров//АТиС в НП.- 2002 - № 6.- с. 9-15.
9. Богуш М.В. Бинеев Р.У. Шатуновский О.В. Пьезоэлектрические датчики давления для вихревых расходомеров. – В кн.: Методы и средства измерения в системах контроля и управления. Материалы Международной научно-технической конференции. – Пенза: изд-во ПГУ, 1999, с 6- 8.
10. Счетчик газа вихревой Dymetic-9421. Счетчик пара вихревой Dymetic-9431. [www.dymet.ru](http://www.dymet.ru). ЗАО «Даймет».- 2006.
11. Богуш М.В. Пьезоэлектрические датчики для вихревых расходомеров воды, газа и пара. – В кн.: Коммерческий учет энергоносителей. – СПб.: Политехника, 2000, с 28-30.
12. Хоружев Г.М. Применение вихревых расходомеров-счетчиков «Ирга-РВ» в жестких условиях эксплуатации//Датчики и системы.- 2006.- № 3.- С.58 -60.
13. Горбунов И.А., Хоружев Г.М. Сравнение различных типов счетчиков газа (перспективы вихревой расходомерии) //Энергоанализ и энергоэффективность. 2006. - №1(14), - С. 55-56.

14. Семенов М.В., Киврин А.А. Вихревой расходомер-счетчик газа «Взлет ВРС»// ПРИБОРЫ. - 2006. № 11 (77), - с 53-54.
15. Вихревой расходомер-счетчик газа Ирвис-РС4. [www.gorgaz.ru](http://www.gorgaz.ru). ЗАО НПП «Ирвис».- 2007.
16. Золотаревский С.А. О применимости вихревого метода измерения расхода для коммерческого учета газа.//Энергоанализ и энергоэффективность. – 2006.- №1(14), - С. 57-59.
17. Зулъкарнаев В.Р. Роль и место ОАО ИПФ «Сибнеавтоматика» на современном рынке промышленной расходомерии// Материалы 3-ей общероссийской научно-технической конференции по расходомерии. Тюмень. - 2006.
18. Абрамов Г.С., Барычев А.В., Баранов С.Л. К теории вихревых расходомеров //АТиС в НП.- 2003 - № 6.- с. 11-16.
19. Зимин М.И., Баранов С.Л., Вашурин В.П. Счетчик пара вихревой типа СВП//АТиС в НП.- 1999 - №7.- с.12-15.
20. Зимин М. И., Вашурин В. П. Методы и средства, применяемые для измерения расхода пара и переносимой им тепловой энергии. "АТиС в НП", №6, 2003 с 17-18.
21. Горбунов И.А., Хоружев Г.М. Опыт эксплуатации счетчиков газа и пара на базе вихревого расходомера-счетчика «Ирга-РВ». Сборник трудов VII Всероссийского совещания - выставки по энергосбережению. Екатеринбург, 2006 г.
22. ГОСТ 8.563.1-97 Измерение расхода и количества жидкости и газов методом переменного перепада давления. - Минск: Изд-во стандартов, 1997.
23. Абрамов Г.С., Зимин М.И, Баранов С.Л., Вашурин В.П. Вихревые зондовые расходомеры, опыт разработки и внедрения//АТиС в НП.- 2006 - № 6.- с.4 -5.
24. Кратиров Д.В., Мекешкин В.М., Михеев Н.И., Молочников В.М. Измерение расхода вихревым расходомером в условиях неравномерности потоков// Материалы докладов национальной конференции по теплоэнергетике НКТЭ. – Казань. -2006. с. 121-124.

*Богуш Михаил Валерьевич – канд. техн. наук, зам. директора НКТБ «Пьезоприбор» Южного Федерального Университета, ООО «Пьезоэлектрик» г. Ростов-на-Дону*

*Тел. (863) 299-50-80, факс 290-58-22, E-mail: piezo@inbox.ru*