

УСПЕХИ ВИХРЕВОЙ РАСХОДОМЕТРИИ

М.В. Богуш

Принцип действия вихревых расходомеров (счетчиков) основан на преобразовании поступательного движения измеряемой среды в вихревую дорожку Кармана с помощью установленного поперек потока тела обтекания и измерения частоты срыва вихрей [1]. Частота образования вихрей в первом приближении пропорциональна скорости потока, а их количество за промежуток времени – суммарному расходу энергоносителя.

Достоинством вихревых расходомеров является отсутствие каких-либо подвижных элементов внутри трубопровода, достаточно хорошая точность и линейность в широком диапазоне измерений, частотный выходной сигнал, а так же универсальность: один и тот же прибор после градуировки может быть счетчиком и жидкости и газа и пара [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 вихревые расходомеры, в которых применяются индуктивные, анемометрические, емкостные, оптоэлектронные, пьезоэлектрические и другие преобразователи энергии [3].

Целью настоящей работы является анализ конструктивных особенностей, метрологических и эксплуатационных характеристик вихревых расходомеров воды, газа и пара различных российских производителей, сравнение их с аналогами ведущих зарубежных фирм, а также тенденции развития этой отрасли измерительной техники.

Вихревые счетчики жидкости. Первые вихревые расходомеры жидкости ВИР-1 были разработаны в ГНЦ «НИИ Теплоприбор» г. Москва и внедрены на заводе «Старорусприбор» г.Старая Русса 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.

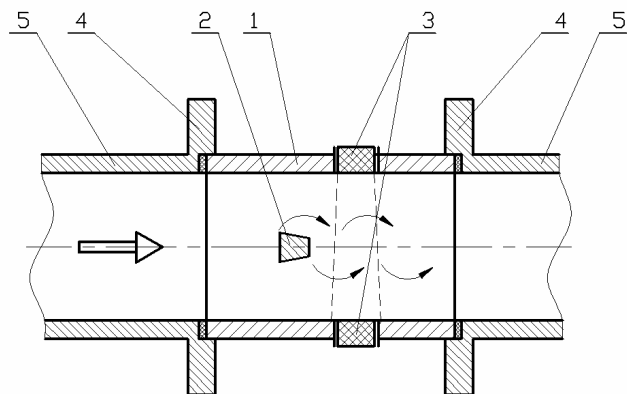


Рис. 1. Схема вихреакустического расходомера

В проточной части расходомера 1 за телом обтекания 2 диаметрально противоположно размещаются пьезоэлектрические излучатель и приемник 3. Расходомер подключен к трубопроводу 5 через фланцы 4. На излучатель от генератора подается переменное напряжение, обычно частотой 1-2 МГц, которое преобразуется в ультразвуковые колебания жидкости и, пройдя через поток, в результате взаимодействия с вихрями оказываются модулированными по фазе. Далее ультразвуковая волна воспринимается приемником и преобразуется в электрический сигнал с частотой 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. Достоинством этого типа расходомеров является работоспособность при большом избыточном давлении жидкости - до 20 МПа. Эти счетчики, претерпевшие за 20 лет незначительные изменения, актуальны и выпускаются до сих пор.

Технические характеристики вихреакустических счетчиков жидкости различных производителей, выпускаемых в настоящее время, приведены в табл. 1 [2,4,5].

Отметим, что приборы этого типа не пригодны для измерения расхода газа или пара из-за несогласованности акустического импеданса пьезоэлектрических

Таблица 1

Характеристика	Тип счетчика жидкости		
	СВУ. М «Электрон»	СВЖ «Сибна»	Метран-300ПР «Метран»
Диапазон типоразмеров, D_v мм	50-300	50 -150	32 -300
Диапазон измерения расхода по всем типоразмерам, $m^3/ч$	0,6 - 330	0,8- 500	0,18-2000
Динамический диапазон измерений, $Q_{min} : Q_{max}$	1: 33 1:44	1: 40	1: 50 1:100
Максимальное рабочее давление, МПа	20	20	1,6
Диапазон температур жидкости, $^{\circ}C$	4...60	0...150	1...150
Диапазон температур окружающей среды, $^{\circ}C$	-40...50	-45...50	-10...60
Межповерочный интервал, лет	2	2	4
Предел допускаемой основной погрешности, %, не более			
От 0,08 Q_{nom} до Q_{nom}	$\pm 1,5$	$\pm 1,0$	$\pm 1,0$
От 0,04 Q_{nom} до 0,08 Q_{nom}	$\pm 1,5$	$\pm 1,5$	$\pm 1,5$
От 0,04 Q_{nom} до Q_{min}	$\pm 2,5$	$\pm 4,0$	$\pm 3,0$

преобразователей с газовой средой. В результате большая часть акустической волны проходит через стенки трубы, а не контролируемую среду.

Вихревые счетчики газа. Первый российский вихревой счетчик газа СВГ был разработан ОАО «Сибнефтеавтоматика» и освоен в серийном производстве 1991 году [2]. Для регистрации вихрей использовались пьезоэлектрические датчики давления генераторного типа. Устройство вихревого расходомера газа с датчиками давления показано на рис. 2 .

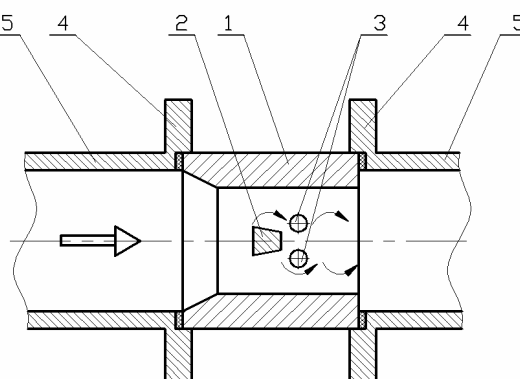


Рис 2. Схема вихревого расходомера газа с пьезоэлектрическими датчиками давления.

Пьезоэлектрические датчики 3 устанавливаются в проточной части расходомера 1 за телом обтекания 2 попарно. Это позволяет усилить полезный сигнал и 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

ОАО «Сибнефтеавтоматика» разработан и освоен в производстве нормальный ряд счетчиков газа СВГ.М с пределами измерений от 160 до 10000 м³/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 $\pm 1,5\%$ [6]. 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 [2,7], а счетчики газа СВГ.М комплектуются универсальным микропроцессорным блоком ВКТ.М.

Примерно в это же время другая тюменская фирма ЗАО «Даймет» разработала и освоила в собственном производстве, а также на заводе «Электрон», счетчик газа «Dymetic-9421» [8] для измерения расхода в трубах от 32 до 150 мм в диапазоне от 6 до 5000 м³/ч.

Принцип действия и размещение пьезоэлектрических датчиков давления в этих приборах аналогичны рис.2. Особенностью «Dymetic-9421» является то, что датчик расхода включает также датчики избыточного давления и температуры, причем термометр установлен непосредственно в тело обтекания. Фактически измерительный участок трубы является единым трехкомпонентным датчиком расхода, давления и температуры.

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 [3,9], установленных вдоль оси трубы за телом обтекания. Схема этого расходомера показана на рис. 3 [10].

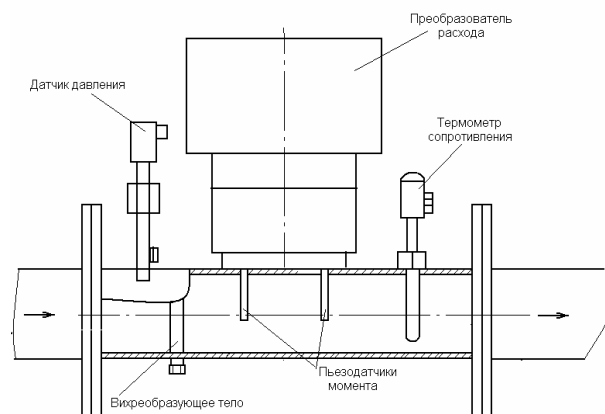


Рис 3. Схема вихревого расходомера с пьезоэлектрическими датчиками изгибающего момента

Пьезоэлектрические датчики изгибающего 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. 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 [10].

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. В ВИР-100 пьезоэлементы (ПЭ) в виде пластины установлены непосредственно на скошенных поверхностях трапецеидального тела обтекания. Однако технологические проблемы защиты ПЭ от влаги и агрессивности среды сделали этот прибор малонадежным. В

приборах «Взлет-ВРС» в теле обтекания предусмотрены отверстия, через которые специально разработанные сдвоенные датчики давления типа 021 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 014MT для измерения расхода газа и пара.

В таблице 2 приведены характеристики промышленных вихревых расходомеров газа ведущих российских производителей [2,4,8,11-13]. Для сравнения в таблицу включены роторные (RVG, ЭЛЬСТЕР-Газэлектроника) и турбинные (СГ16MT, Арзамасского приборостроительного завода) газовые счетчики, составляющие конкуренцию на рынке вихревым расходомерам.

Таблица 2.

Характеристика	Тип счетчика газа							
	СВГ.М «Сибна»	Dymetic- 9421 «Даймет» «Электрон»	Метран- 331 «Метран»	Ирга-РВ «Глобус»	Ирвис- Р4 «Ирвис»	Взлет- ВРС «Взлет»	СГ16MT АПЗ	RVG «Эльстер»
Диапазон типоразмеров, D _y мм	50-200	32 -150	32 -150	32-500	50-200	32-100	50-100	40-150
Диапазон измерения расхода по всем типоразмерам, м ³ /час	4 -10000	6- 5000	6-5000	4-80000	12-5000	6 - 2500	10-2500	0,8-650
Динамический диапазон измерений, Q _{min} : Q _{max}	1: 20, 1:40	1: 30	1: 30	> 1: 40	> 1 :50	1 : 20	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...25 0	- 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, %	± 1	± 1	± 1	± 1	-	± 1,5	-	± 1
От 0,1 Q _{max} до Q _{max}	-	-	-	-	± 1	-	± 1	-
От 0,2 Q _{max} до Q _{max}	± 1,5	± 1,5	± 1,5	± 1,5	-	± 1,5	-	± 2
От Q _{min} до 0,1Q _{min}	-	-	-	-	± 1,3	-	± 2	-
От Q _{min} до 0,2Q _{min}								

Из таблицы 2 следует, что заявленные технические характеристики всех приведенных типов счетчиков газа, как вихревых, так и механических отличаются незначительно.

В научной литературе продолжается дискуссия о преимуществах и

недостатках приборов, основанных на различных физических принципах, для коммерческого учета газа [11,14].

В качестве недостатков вихревых счетчиков газа указывается [14]:

- повышенная чувствительность к эпюре 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 невозможность проведения точных измерений при малых расходах;
- более высокие потери давления при измерениях;
- низкая помехозащищенность от вибрации при малых расходах.

Несомненными преимуществами вихревых расходомеров считаются [14]:

- хорошая работа в загрязненных и агрессивных газах;
- надежность 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% [15].

Вихревые счетчики 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, основанных 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 [12], что обусловлено применением пластмассы для защиты ПЭ от потока. Фактически эти приборы непригодны для измерения расхода пара.

В счетчиках «Dumetic-9421» и «Метран-331» максимальная рабочая температура энергоносителя ограничена 200°C [4,8], что обусловлено

термостойкостью тензопреобразователя LHP-2,5 канала измерения избыточного давления .

Если в пьезоэлектрических датчиках используется высокочувствительная керамика на основе цирконата-титаната свинца, например, датчики 014MT, 108, 019, 021 [3], то термостойкость таких изделий не превышает 250-300°C. К таким приборам относятся все счетчики, указанные в таблице 2, кроме «Ирга-РВ» в специальном исполнении. В то же время, если в счетчике пара применяются пьезоэлектрические датчики, выполненные на основе малочувствительной, но термостойкой керамики на основе титаната-висмута, например, датчики 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 [16]. Отметим, что счетчики «Ирга-РВ» лишены этого дефекта т.к. крыло датчика изгибающего момента выступает внутрь трубы, где преобладает газообразная фаза .

Основные технические характеристики выпускаемых в России промышленных вихревых счетчиков пара приведены в таблице 3 [2, 4, 8,13,17-19].

Единственной альтернативой вихревым расходомерам на рынке приборов учета расхода пара являются приборы, основанные на измерении перепада давления на сужающих устройствах. 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 [2,17].

Анализ таблицы 3 показывает очевидные преимущества вихревых счетчиков пара по сравнению с диафрагмами и другими сужающими устройствами: широкий динамический диапазон, высокая точность измерений. Для вихревых приборов также характерна более высокая 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 уже сейчас

Таблица 3

Характеристика	Тип счетчика пара					
	СВП. М «Сибна»	Dymetic- 9431 «Даймет»	Метран-331 «Метран»	Ирга-РВ «Глобус»	Ирвис-Р4 «Ирвис»	Эмис-Вихрь 200 «Эмис»
Диапазон типоразмеров, D, мм	50 -200	32 -150	32 -150	32-300	25-300	25-300
Диапазон измерения расхода по всем типоразмерам, м ³ /ч (т/ч)	(0,005 – 60)	6- 5000	6-5000	4-10000	8 - 12000	9 -12900 (0,009-345)
Динамический диапазон измерений, Q _{min} : Q _{max}	1:40	1: 30	1: 30	> 1: 40	> 1: 50	1:9; 1:40
Максимальное рабочее давление, МПа	2,5	1,6	1,6	1,6; 6,3; 16; 30	16	4
Диапазон температур энергоносителя, °С	100... 300	100...200	100...200	100...450 (100...575)	120...250	-40...550
Диапазон температур окружающей среды, °С	-40...50	-40...50	-40...50	- 55...80	-45...50	-40...70
Межповерочный интервал, лет	2	2	2	4	2	3
Предел допускаемой основной погрешности, % Расхода: От 0,1 Q _{max} до 0,9 Q _{max} От Q _{min} до 0,1 Q _{max} Массы (объема) Тепловой энергии	± 1 $\pm 1,5$ ± 3 ± 4	± 2 ± 2 $\pm (1,5)$ -	± 2 ± 2 $\pm (1,5)$ ± 4	± 1 $\pm 1,5$ - -	± 1 $\pm 1,3$ - -	$\pm 1,35$ $\pm 2,5$ - -

составляет около 60% среди российских производителей, в том числе ОАО «Сибнефтеавтоматика» - 40% [15].

Отметим, что указанные в таблице 3 максимальные рабочие температуры выше 500°С 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.

Вихревые счетчики газа и пара ведущих зарубежных фирм. Весьма значимым фактором, способствующим росту конкуренции, является проникновение на российский рынок международных концернов - мировых лидеров в разработке и производстве высокоточных измерительных приборов: корпорации Emerson и Engineering Measurements Company (EMCO), США, Schlumberger, Франция, Krohne и Endress+Hauser, Германия, Danfoss, Швеция, YOKOGAWA (Япония) и других [15,20].

Как правило, вихревые приборы ведущих зарубежных фирм являются одновременно счетчиками и жидкости, и газа, и пара. Сравним отечественные и зарубежные приборы по наиболее проблемно измеряемому параметру – расходу пара. Основные технические характеристики вихревых счетчиков пара ведущих зарубежных производителей приведены в таблице 4 [21-24].

Таблица 4

Характеристика	Тип датчика расхода пара			
	Vortex RhD EMCO, США	WFM5095, OPTISWIRL 4070C Krohne, Германия	Prowirl, Endress +Hauser, Германия	Digital YEFWLO, YOKOGAWA, Япония
Диапазон типоразмеров, D _y мм	25 – 400	10 -200	15 -400	15-400
Диапазон измерения расхода по всем типоразмерам, м ³ /ч (т/ч)	(0,014 – 104)	(0,005- 57)	0 -20000	4,8 – 443017 (0,006-268)
Динамический диапазон измерений, Q _{min} : Q _{max}	1:10; 1:35	1:7, 1:12	1: 30	1:10; 1:25
Максимальное рабочее давление, МПа	10	1,6	4,0 (35)	1,5 – 22,4
Диапазон температур энергоносителя, °С	-40...400	-40...240	-200...400	-40...260 (-200...100) (-40...450)
Диапазон температур окружающей среды, °С	-29...60	-40...65	-40...50	-40...85
Межповерочный интервал, лет	-	-	-	4
Предел допускаемой основной погрешности, % Расхода Массы (объема) Тепловой энергии	± 1 ± 1,5 ± 2,7	± 1 ± 2 -	± 1 - -	± (0,7 -1,5) - -

Сравнивая метрологические и эксплуатационные характеристики изделий, представленных в таблицах 3 и 4 можно отметить:

- типоразмерный ряд зарубежных приборов, как правило, шире в сторону как больших, так и малых расходов; при этом для малых расходов динамический диапазон измерений существенно сужается до 1:7 или 1:10;
- максимальная рабочая температура зарубежных приборов в специальном исполнении выше, чем у большинства российских аналогов и достигает 400-450°С;
- зарубежные приборы имеют криогенное исполнение, допускающее температуру энергоносителя до минус 200°С;
- динамические диапазоны и погрешности измерений отечественных вихревых расходомеров соответствуют зарубежным образцам;
- межповерочный интервал зарубежных приборов, как правило, не регламентируется; в технической документации, например фирмы EMCO, США указывается, что расходомеры Vortex RhD имеют пожизненную градуировку в следствии того, что геометрия проточной части прибора со временем не изменяется. Лишь фирма YOKOGAWA, по-видимому, после сертификации в России, вынуждена была ввести межповерочный интервал прибора Digital YEFWLO 4 года.

В технической документации приборов зарубежных фирм содержится крайне скудная информация относительно принципа действия и устройства преобразователей энергии потока в электрический сигнал. Так ЕМСО сообщает лишь, что сенсором является полупроводниковая тензорезистивная матрица [25]. В документации немецких фирм сведения о принципе работы сенсора вообще отсутствует, хотя в одном из патентов Endress+Hauser описан вихревой расходомер с унифицированным емкостным виброкомпенсированным сенсором в виде крыла, установленным за телом обтекания. Лишь YOKOGAWA подробно описывает, пьезоэлектрический преобразователь, состоящий из набора пьезоэлементов в виде шайб с виброкомпенсирующим звеном, установленный в торце тела обтекания и фактически регистрирующий деформации тела обтекания при вихреобразовании [24].

Отметим, что более скромные характеристики приборов большинства российских производителей связаны не с недостатками схемотехники или элементной базы, а скорее с лимитом финансовых средств и времени, которые может выделить предприятие изготовитель на разработку и метрологическое обеспечение новой техники. Разработчики стремятся в сжатые сроки апробировать, сертифицировать и начать производство приборов, пользующихся наиболее массовым спросом, оставляя на будущее специальные исполнения.

В то же время, когда есть заказчик на эксклюзивные изделия, то создаются и успешно эксплуатируются отечественные вихревые расходомеры на условный проход 500 мм или на рабочую температуру до 500°C («Ирга-РВ» [18]), не имеющие аналогов за рубежом.

Тенденции развития вихревой расходомерии. 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.З и ДРС.З погружного (зондового) типа. Принципиально новые для российских производителей расходомеры позволят измерять расход газа и жидкости в диапазоне от 500 до 250000 м³/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 [25].

В ООО «Глобус» проведена успешная опытная эксплуатация расходомеров пара «Ирга-РВ» при рабочих температурах среды до 500°C, не имеющего аналогов в мировой практике. Весьма заманчивой перспективой является создание вихревых паровых счетчиков с рабочей температурой до 575-600°C 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 [18].

В 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 вихребразования. Такой метод был создан и реализован в программе для микроконтроллера расходомеров «Ирвис-РС4». 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 [26].

Заключение. Как показала многолетняя практика, 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 («Dumetic 9421», «Dumetic 9431»), ООО «Глобус», г. Белгород («Ирга - РВ»), ЗАО «Взлет» г. Санкт-Петербург («Взлет ВРС»), ООО «Ирвис» г. Казань («Ирвис РС4»), 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.

По техническому уровню вихревые расходомеры российских производителей не уступают лучшим зарубежным образцам, а по некоторым характеристикам превосходят их.

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. Счетчик вихревой ультразвуковой. www.zelectr.ru. ОАО Опытный завод «Электрон».- 2006.
6. 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.

7. 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.

8. Счетчик газа вихревой Dymetic-9421. Счетчик газа вихревой Dymetic-9431. www.dymet.ru. ЗАО «Даймет».- 2006.

9. Богуш М.В. Пьезоэлектрические датчики для вихревых расходомеров воды, газа и пара. – В кн.: Коммерческий учет энергоносителей. – СПб.: Политехника, 2000, с 28-30.

10. Хоружев Г.М. Применение вихревых расходомеров-счетчиков «Ирга-РВ» в жестких условиях эксплуатации//Датчики и системы.- 2006.- № 3.- С.58 -60.

11. Горбунов И.А., Хоружев Г.М. Сравнение различных типов счетчиков газа (перспективы вихревой расходомерии) //Энергоанализ и энергоэффективность. 2006. - №1(14), - С. 55-56.

12. Семенов М.В., Киврин А.А. Вихревой расходомер-счетчик газа «Взлет ВРС»// ПРИБОРЫ. - 2006. № 11 (77), - с 53-54.

13. Вихревой расходомер-счетчик газа Ирвис-РС4. www.gorgaz.ru. ЗАО НПП «Ирвис».- 2007.

14. Золотаревский С.А. О применимости вихревого метода измерения расхода для коммерческого учета газа.//Энергоанализ и энергоэффективность. – 2006.- №1(14), - С. 57-59.

15. Зулькарнаев В.Р. Роль и место ОАО ИПФ «Сибнеавтоматика» на современном рынке промышленной расходомерии// Материалы 3-ей общероссийской научно-технической конференции по расходомерии. Тюмень. - 2006.

16. Абрамов Г.С., Барычев А.В., Баранов С.Л. К теории вихревых расходомеров //АТиС в НП.- 2003 - № 6.- с. 11-16.

17. Зимин М.И., Баранов С.Л., Вашурин В.П. Счетчик пара вихревой типа СВП//АТиС в НП.- 1999 - №7.- с.12-15.

18. 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.

19. Интеллектуальный вихревой расходомер ЭМИС-ВИХРЬ 200. www.emis-kip.ru/product/1. ЗАО «Эмис».- 2007.
20. Бутузов В. А., Репин Л. А. Приборы учета тепловой энергии пара с вихревыми расходомерами// Новости теплоснабжения.- № 1(17).- 2002, С.47 – 50.
21. Вихревые расходомеры Vortex серии PhD™. www.promatis.ru/_files/emco.pdf. ЗАО «Проматис».- 2007.
22. Вихревой расходомер OPNISWIRL 4070C//Датчики и системы.- 2006.- №12.- С.65.
23. Вихревой расходомер для жидкостей, газа, насыщенного и перегретого пара Prowirl серии PROline. www.automation.ru/equip-db/device.php?id=50310. – ЗАО "Геолинк Консалтинг". – 2007.
24. Вихревые расходомеры DY (digitalYEWFLO) и YF100 (YEWFLO). tehnosystems.ru/katalog.php?id=27. ЗАО «Техносистемы». – 2007.
25. 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
26. 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