

М.В. Богуш

УСПЕХИ ВИХРЕВОЙ РАСХОДОМЕТРИИ

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.

Достоинствами вихревых расходомеров являются отсутствие каких-либо подвижных элементов внутри трубопровода, достаточно хорошая точность и линейность в широком диапазоне измерений, частотный выходной сигнал, а также 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 развиваются и совершенствуются. 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 ГИИ «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.

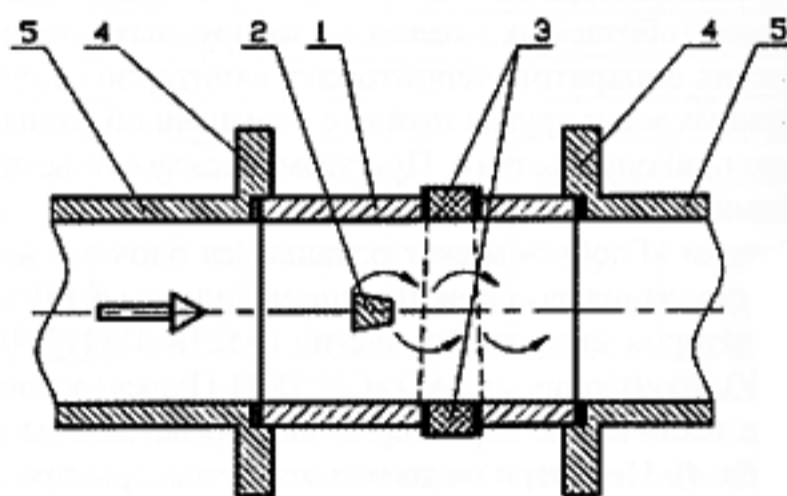


Рис. 1. Схема вихреакустического расходомера

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 они оказываются модулированными по фазе. Далее ультразвуковая волна воспринимается приемником и преобразуется в электрический сигнал с частотой следования вихрей, являющейся мерой скорости потока.

Таблица 1

Характеристика	Тип счетчика жидкости		
	СВУ, М, «Электрон»	СВЖ, «Сибна»	Метран-300ПР, «Метран»
Диапазон типоразмеров, D, мм	50...300	50...150	32...300
Диапазон измерения расхода по всем типоразмерам, м 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, °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:			
0,08 Q _{ном} ... Q _{ном}	± 1,5	± 1,0	± 1,0
0,04 Q _{ном} ... 0,08 Q _{ном}	± 1,5	± 1,5	± 1,5
0,04 Q _{ном} ... Q _{min}	± 2,5	± 4,0	± 3,0

В 1988 г. аналогичные по принципу действия счетчики воды, ультразвуковые СВУ, были разработаны СКБ «Сибна» (ныне ОАО «Сибнефтеавтоматика») и освоены тюменским ОАО «Опытный завод «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 непригодны для измерения расхода газа или пара из-за несогласованности акустического импеданса пьезоэлектрических преобразователей с газовой средой. В результате большая часть акустической волны проходит через стенки трубы, а не через контролируемую среду.

Вихревые счетчики газа

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

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.

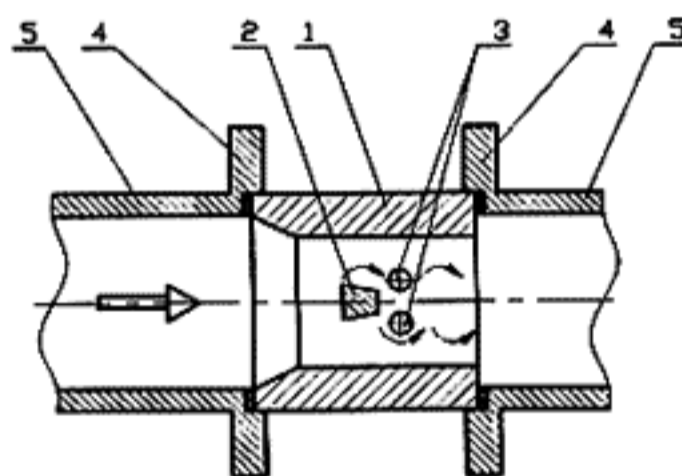


Рис. 2. Схема вихревого расходомера газа с пьезоэлектрическими датчиками давления

В 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 1:20 при из-

быточных давлениях до 160 кПа, 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 «Сибнефтсавтоматика» отличает высокая степень унификации технических решений. Так, во всех типоразмерах датчиков расхода газа ДРГ.М используются единые малогабаритные пьезоэлектрические датчики давления 014MT [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 Dumetic-9421 [8] для измерения расхода в трубах диаметром 32...150 мм в диапазоне 6...5000 м³/ч.

Принцип действия и размещение пьезоэлектрических датчиков давления в этих приборах аналогичны показанным на рис. 2. Особенностью Dumetic-9421 является то, что датчик расхода включает в себя 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], установленные вдоль оси трубы за телом обтекания. Схема этого расходомера показана на рис. 3 [10].

Пьезоэлектрические датчики изгибающего момента выступают в проточную часть, в то время как датчики давления обычно монтируются

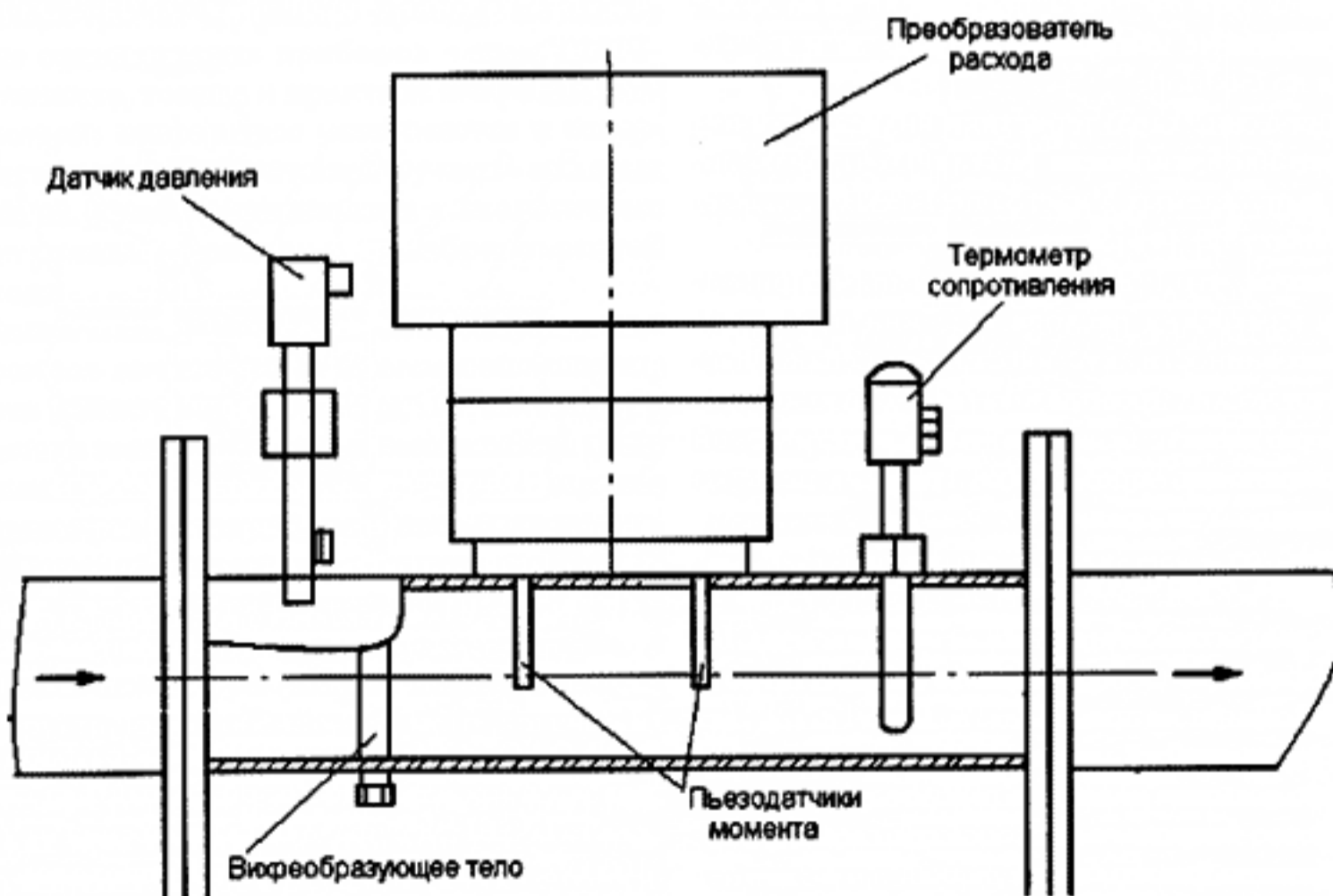


Рис. 3. Схема вихревого расходомера с пьезоэлектрическими датчиками изгибающего момента

Таблица 2

Характеристика	Тип счетчика газа								
	СВГ. М, «Сибга»	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...500	50...200	32...100	50...100	40...150	
Диапазон измерения расхода по всем типоразмерам, м ³ /ч	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...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, %:									
	0,1 Q _{max} ... Q _{max}	± 1	± 1	± 1	± 1	-	± 1,5	-	± 1
	0,2 Q _{max} ... Q _{max}	-	-	-	-	± 1	-	± 1	-
	Q _{min} ... 0,1 Q _{min}	± 1,5	± 1,5	± 1,5	± 1,5	-	± 1,5	-	± 2
Q _{min} ... 0,2 Q _{min}	-	-	-	-	± 1,3	-	± 2	-	

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 трапецидального 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 кото-

рые 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 пьезоэлектрическими датчиками давления 014МТ для измерения расхода газа и пара.

В табл. 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 (СГ16МТ, Арзамасского приборостроительного завода) газовые счетчики, составляющие конкуренцию на рынке вихревым расходомерам.

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

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_y , мм	50...200	32...150	32...150	32...300	25...300	25...300
Диапазон измерения расхода по всем типоразмерам, m^3/h (т/ч)	(0,005...60)	6...5000	6...5000	4...10000	8...12000	9...12900 (0,009...345)
Динамический диапазон измерений, $Q_{max} : Q_{min}$	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: $0,1 Q_{max} \dots 0,9 Q_{max}$ $Q_{min} \dots 0,1 Q_{max}$ 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 $\pm 1,3$. .	$\pm 1,35$ $\pm 2,5$. .

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 эпоре скоростей в точке измерения и, 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 приборы 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 табл. 2, в различной степени удовлетворяют требованиям термостойкости. Например, в счетчиках «Взлет-ВРС» термостойкость пьезоэлектрических датчиков давления 021 не превы-

шает 120 °С [12], что обусловлено применением пластмассы для защиты ПЭ от потока. Фактически эти приборы непригодны для измерения расхода пара.

В счетчиках Dymetic-9421 и «Метран-331» максимальная рабочая температура энергоносителя ограничена 200 °С [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 (датчики 014MT, 108, 019, 021) [3], то термостойкость таких изделий не превышает 250...300 °С. К таким приборам относятся все счетчики, указанные в *табл. 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 °С и выше.

Серьезные проблемы возникают при измерении расхода насыщенного пара, когда одновременно в трубопроводе существуют газовая и жидкая фазы. 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 *табл. 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 каче-

ственную картину, чем количественную оценку [2], [17].

Анализ *табл. 3* показывает очевидные преимущества вихревых счетчиков пара по сравнению с диафрагмами и другими сужающими устройствами – это широкий динамический диапазон, высокая точность измерений. Для вихревых приборов также характерны 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 составляет около 60% среди российских производителей, в том числе счетчиков ОАО «Сибнефтеавтоматика» – 40% [15].

Отметим, что указанные в *табл. 3* максимальные рабочие температуры выше 500 °С следует рассматривать скорее как намерение разработчиков, а не как 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 др. [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 *табл. 4* [21]-[24].

Сравнивая метрологические и эксплуатационные характеристики изделий, представленных в *табл. 3* и *4*, можно отметить:

- типоразмерный ряд зарубежных приборов, как правило, шире в сторону как больших, так и малых расходов; при этом для малых расхо-

Характеристика	Тип датчика расхода пара			
	Vortex RhD, EMCO, США	WFM5095, OPTISWIRL 4070C, Krohne, Германия	Prowirl, Endress +Hauser, Германия	Digital YEWFLOW, 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) - -

дов 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 -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 вследствие 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 YEWFLOW 4 года.

В технической документации приборов зарубежных фирм содержится крайне скудная информация относительно принципа действия и устройства преобразователей энергии потока в

электрический сигнал. Так, EMCO сообщает лишь, что сенсором является полупроводниковая тензорезистивная матрица [25]. В документации немецких фирм сведения о принципе работы сенсора вообще отсутствуют, 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 °С («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.3 и ДРС.3 погружного (зондового) типа. Принципиально новые для российских производителей расходомеры позволят измерять расход газа и жидкости в диапазоне 500...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 расходомера пара «Ирга-РВ» при рабочих температурах среды до 500 °С, не имеющего аналогов в мировой практике. Весьма заманчивой перспективой является создание вихревых паровых счетчиков 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 [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 ОАО «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 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 г. 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 давле-

ния на сужающем устройстве, а также с приборами турбинного и ротационного типа, занимая на российском рынке более 23 % среди промышленных приборов учета газа и более 60 % среди приборов учета пара.

Список литературы:

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. Сб. в 3 томах. Т. 3. М.В. Богуш. Пьезоэлектрические датчики для экстремальных условий эксплуатации. Ростов-на-Дону: Издательство СКНЦ ВШ, 2006, 346 с.
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 «Сибнефтеавтоматика» на современном рынке промышленной расходомерии // Материалы 3-й 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-го Всероссийского совещания – выставки по энергосбережению. Екатеринбург, 2006.
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/cmco.pdf. ЗАО «Проматис». 2007.
22. Вихревой расходомер Orpniswirl 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). technosystems.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 теплотехнике НКТЭ. Казань. 2006. С. 121-124.

*Михаил Валерьевич Богуш,
канд. техн. наук,
зам. директора,
НКТБ «Пьезоприбор»,
Южный федеральный университет,
ООО «Пьезоэлектрик»,
г. Ростов-на-Дону*