

# ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ДАТЧИКИ ДЛЯ УНИВЕРСАЛЬНЫХ ВИХРЕВЫХ РАСХОДОМЕРОВ

**М.В. Богуш**

В современной технике известны десятки различных способов измерения расхода вещества. Однако, ввиду того, что каждый из них имеет определенные ограничения по применению, продолжается поиск и освоение новых методов, которые могли бы конкурировать по универсальности с методом измерения перепада давления на сужающем устройстве, но превосходили бы его по диапазонам измерений и точности [1,2].

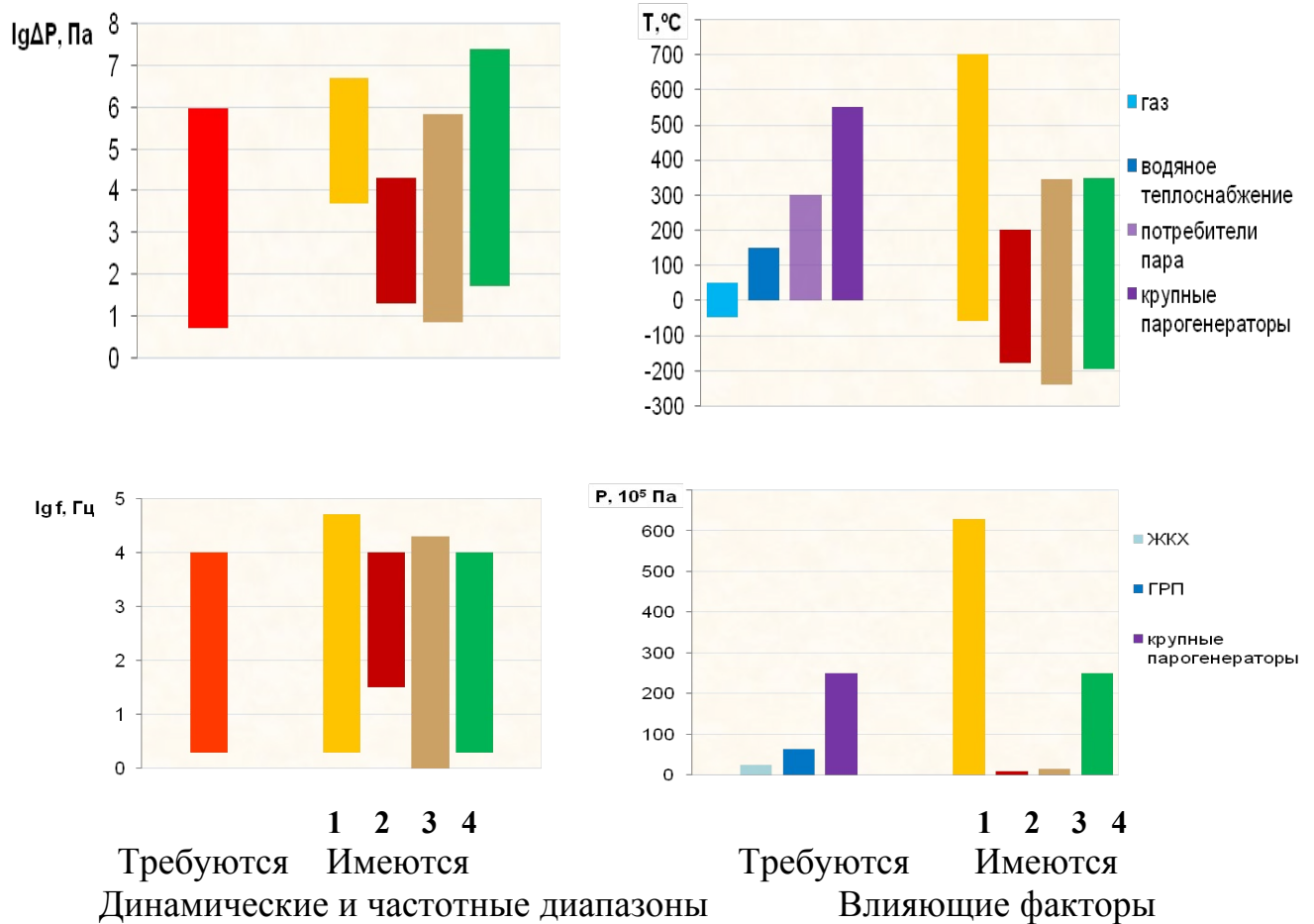
Перспективными для решения этой задачи являются вихревые расходомеры, основанные на измерении частоты колебаний, возникающих в потоке в процессе вихреобразования. К достоинствам вихревых расходомеров наряду с инвариантностью относительно свойств измеряемой среды относятся линейность функции преобразования, отсутствие в трубе подвижных элементов, частотный выходной сигнал [3,4].

Одними из важнейших элементов вихревых расходомеров являются преобразователи энергии потока в электрический сигнал (или датчики), во многом определяющие эксплуатационные возможности и технический уровень приборов.

Анализ алгоритмов работы вихревых расходомеров и возможных сфер применения [3,4] показывает, что для создания конкурентоспособных приборов этого типа необходимы датчики с определенной совокупностью свойств. Если использовать для этих целей датчики давления, их динамический диапазон должен охватывать 5-6 порядков, частотный диапазон 3-4 порядка, рис.1. При этом датчики должны работать в широком диапазоне температур и избыточных давлений [5].

Выпускаемые промышленностью пьезоэлектрические датчики давления не соответствуют этим требованиям, рис.1: датчики быстропеременных давлений, например ДПС-012, не обладают достаточной чувствительностью, а датчики аку-

стических давлений, например ДХС-514, не обеспечивают необходимых условий эксплуатации.



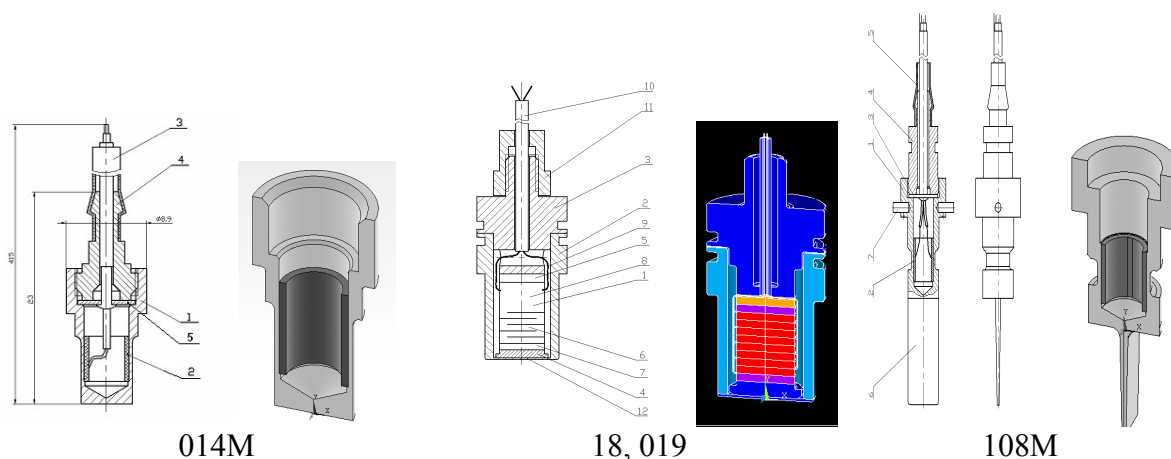
- 1- ДПС-012 НИИФИ (РФ)
2. ДХС-514 НИИФИ (РФ)
3. 116 РСВ (США)
4. CP216 Vibro-meter (Швейцария)

Рис.1. Требования к преобразователям энергии потока вихревых расходомеров

Для создания преобразователей, соответствующим этим требованиям, исследованы пути оптимизации характеристик пьезоэлектрических датчиков с учетом требований к информативности и прочности в рабочих условиях с помощью универсальных относительно геометрии изделия и способов приложения нагрузки численных пространственных электротермоупругих моделей и программного пакета ANSYS [5-7].

Методы анализа иллюстрируются на примере трех типов пьезоэлектрических датчиков давления (ПДД) и датчика изгибающего момента, нашедших ши-

рокое применение в вихревых расходомерах, рис.2. ПДД 018, 019 представляют классические датчики, содержащие модульный пьезоэлемент (ПЭ), установленный в корпусе между мембраной и основанием, а 014М – новую разновидность датчиков, в которых ПЭ выполнен в виде радиально поляризованного цилиндра, вмонтирован в цилиндрический корпус и жестко связан с ним по образующей поверхности. В датчиках 018 используются ПЭ в виде монолитных многослойных модулей из ПКМ ЦТС-83Г, а в 019 – из НТВ-1, отличающихся термостойкостью.



*Рис. 2. Конструкция и геометрические модели пьезоэлектрических датчиков для вихревых расходомеров*

В процессе анализа рассчитывались: коэффициент преобразования (КП) давления в заряд, собственная частота, вибрационный и деформационный эквиваленты, прочность при действии давления и изменении температуры. На основании этих данных и известных алгоритмов оценивается ряд важнейших метрологических и эксплуатационных характеристик датчиков: диапазон измерения давления, частотный диапазон, аддитивная составляющая погрешности измерений при действии вибрации и деформации объекта, допустимые рабочие давления и температуры по условиям прочности, а также механическая надежность.

Отличие расчетных и экспериментальных данных для рассмотренных датчиков составило: для чувствительности к давлению и вибрации - от 4 до 10%, для собственной частоты не более  $\pm 5\%$  и для прочности - в пределах  $\pm 10\%$ , что является удовлетворительным результатом с учетом естественной вариации ха-

рактических пьезоматериалов в различных технологических партиях и является подтверждением достоверности разработанных моделей.

На рис.4 показаны расчетные зависимости КП (а), максимального рабочего давления (б), резонансной частоты (в) и произведения этих величин (г) для датчика давления 014М от толщины стенки корпуса при различных толщинах стенки ПЭ. Аналогичные зависимости получены также при вариации диаметра и длины рабочей части корпуса.

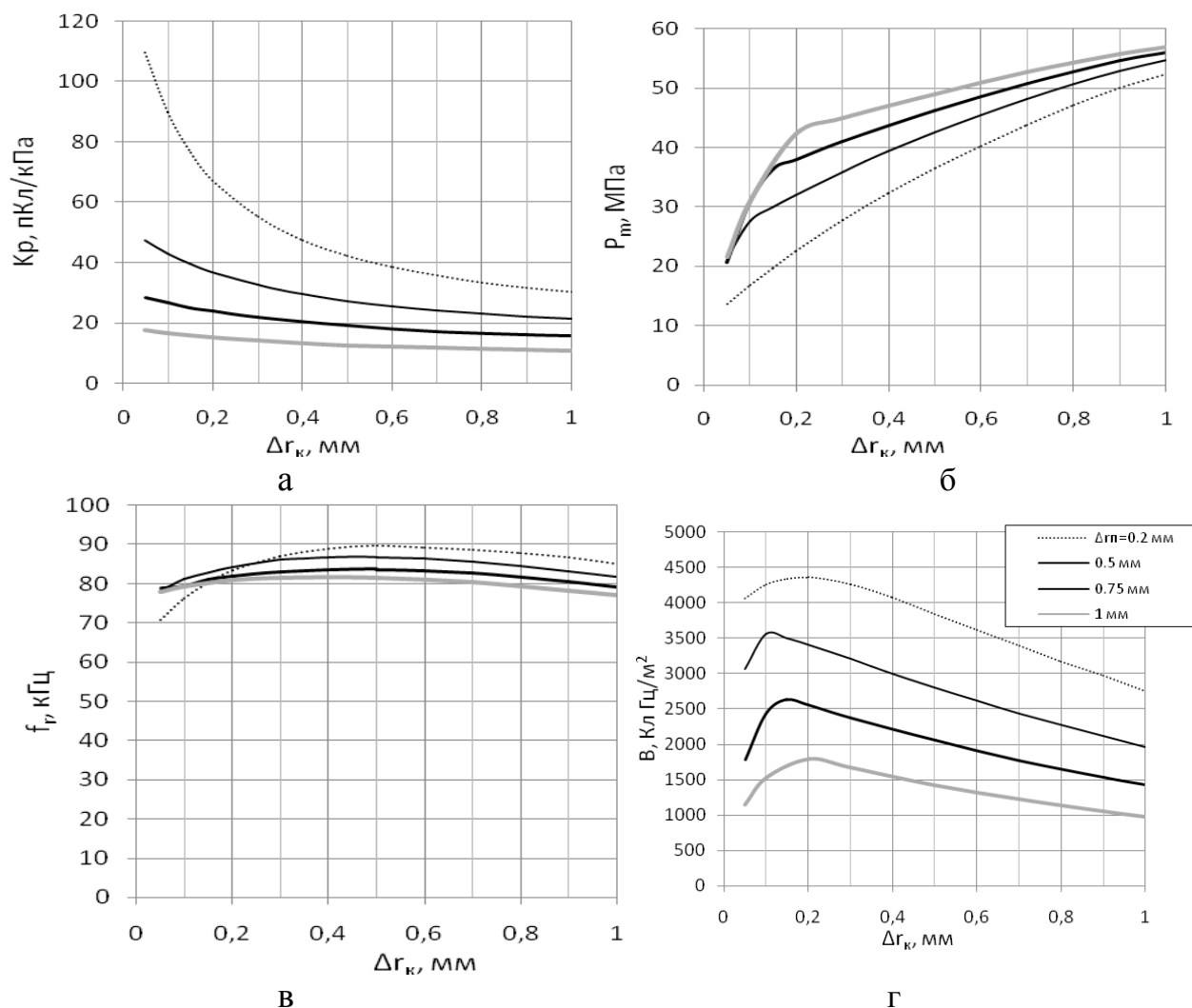


Рис. 3. Зависимости коэффициента преобразования(а), максимального рабочего давления(б), резонансной частоты (в)и произведения этих параметров(г)от толщины стенки корпуса при различных толщинах стенки пьезоэлемента

Полученные зависимости позволяют оптимизировать характеристики датчиков с учетом требований к информативности, прочности и помехозащищенно-

сти в рабочих условиях за счет рационального выбора материалов и размеров деталей при решении различных задач:

а) приведения характеристик в соответствие с требованиями предполагаемого применения;

б) повышения комплекса технических характеристик в соответствии с тем или иным обобщенным показателем качества

Технические характеристики пьезоэлектрических датчиков, нашедших применение в серийных вихревых расходомерах воды, газа и пара приведены в таблице.

Таблица

Характеристики	014M	018	019	108M
КП, пКл/кПа (нКл/Н·м), не менее	20	30	2	(100)
Диапазон измерений, МПа (Н·м)	0..10	0..6	0..10	(0..0,1)
Нелинейность, %, не более	± 2			-
Порог чувствительности, Па	10	5	70	-
Электрическая емкость, пФ, не менее	1800	4000	200	800
Собственная частота, кГц, не менее	80	50	50	1,0...10
Диапазон рабочих температур, °С	-50..250	-50..300	-50..500	-50..280
Изменение КП от температуры, °С <sup>-1</sup>	± 0,001			
Максимальное рабочее давление, МПа	30	20	20	30
Виброэквивалент, Па/м/с <sup>2</sup>	10	30	30	-
Габариты (без кабеля), мм, не более	Ø8,9x20	Ø11x29		отØ12x35+L L=16...64
Масса, г, не более	5,0	20	20	от 30 до 150

Эти датчики по техническим параметрам соответствуют требованиям, предъявляемым к преобразователям энергии потока в электрический сигнал для вихревых расходомеров, сформулированных выше. Высокий технический уровень датчиков обеспечен комплексом методических, конструктивных и технологических мероприятий, включающих применение высокоэффективных и стабильных при внешних воздействиях пьезокерамических материалов, модульное исполнение пьезоэлементов, высокоточное изготовление деталей, рациональный выбор материалов силопередающих элементов и температуры сборки датчика, опти-

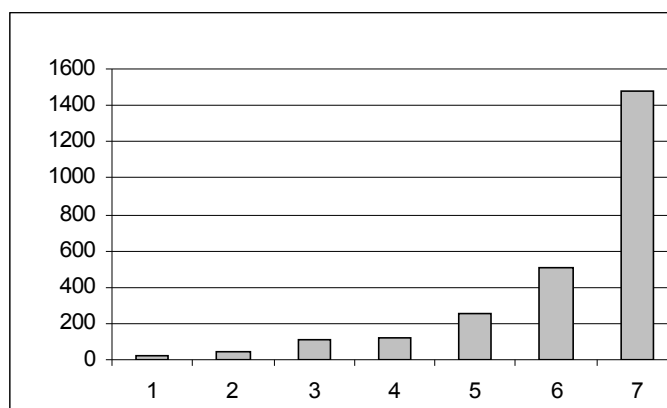
мизация элементов конструкции с помощью пространственных электротермоупругих моделей.

Для оценки технического уровня разработанных ПДД проведено их сравнение с лучшими отечественными и известными зарубежными образцами по обобщенному показателю качества (ОПК), предложенному в работе [8]:

$$B = K_p \cdot P_m \cdot f_p / d^2,$$

где  $B$  – ОПК,  $K_p$  – КП давления в заряд,  $P_m$  – максимальное рабочее давление,  $f_p$  – резонансная частота,  $d$  – диаметр мембраны или поперечный размер датчика.

На рис. 4 показано ОПК  $B$  (Кл·Гц/м<sup>2</sup>) лучших моделей ПДД ведущих мировых производителей. Всего рассмотрено более 55 моделей. Позицию 1 по оси абсцисс занимают традиционные корпусные датчики НИИФИ (ДПС-010), 2 и 3 – датчики фирм Kistler Instrument AG (6005) и Vibro-meter (CP-216) (Швейцария), 4 и 5 - датчики фирм DYTRAN (220V6) и PCB Piezotronic JNG (119B) (США). Наиболее высокими ОПК обладают объемночувствительные датчики ДПС-008 (НИИ-ФИ), поз.6 и датчики 014М (ООО «Пьезоэлектрик»), поз.7.



*Рис.4. Обобщенный показатель качества лучших моделей пьезоэлектрических датчиков давления ведущих мировых производителей*

Очевидно, что рассмотренный ОПК характеризует универсальные ПДД, предназначенные для широкого круга применений, приоритетными параметрами которых являются широкие динамические и частотные диапазоны при умеренных требованиях к погрешности измерений и интервалу рабочих температур.

Именно такие датчики требуются для вихревых расходомеров и многих других применений.

На основе описанных пьезоэлектрических датчиков нашими деловыми партнерами созданы 11 типов вихревых расходомеров воды, газа и пара, рис.5, включенных в государственный реестр средств измерения РФ и серийно выпускаемых на 7 предприятиях страны. Эти приборы обеспечивают около 90% российского рынка вихревых средств учета газа и пара среди отечественных производителей и по основным техническим характеристикам не уступают аналогам ведущих фирм Европы, Японии, США (диапазон измерений расхода в пределах от 1:20 до 1:45 с относительной погрешностью в пределах  $\pm(1,0-1,5)\%$ ), а по некоторым параметрам, например, максимальным диаметрам условного прохода (500 мм) и предельным рабочим температурам (500 °С), превосходят их [9].

Удельный вес применения различных датчиков в серийных вихревых расходомерах жидкости, газа и пара в 2007 году по данным предприятия изготовителя датчиков (ООО «Пьезоэлектрик» г. Ростов-на-Дону) составил: 014М – 82%, 108 – 10%, 021- 6%, 018, 019 – 2%. На основе датчиков 014М и 108М выпускаются базовые исполнения расходомеров, которые обеспечивают потребности наиболее массового круга потребителей по диапазонам измерений и условиям эксплуатации. Датчики 018, 019 применяются в специальных исполнениях вихревых расходомеров пара: 018 – с рабочей температурой до 300°С, 019 - до 500°С.

Надежность пьезоэлектрических датчиков 014М при эксплуатации в расходомерах газа составляет около 0,998, а в расходомерах пара - 0,994 (данные крупнейшего в России поставщика вихревых расходомеров - ОАО «Сибнефтеавтоматика», г. Тюмень).

Разработанные пьезоэлектрические датчики способствовали созданию и внедрению в промышленность вихревых расходомеров жидкости, газа и пара,

# ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ДАТЧИКИ И ВИХРЕВЫЕ РАСХОДОМЕРЫ НА ИХ ОСНОВЕ



Рис. 5. Пьезоэлектрические датчики и вихревые расходомеры на их основе



которые по универсальности и надежности конкурируют с традиционными приборами, основанными на измерении перепада давления на сужающем устройстве, и превосходят их по диапазонам и точности измерений, занимая на российском рынке более 23% среди промышленных приборов учета газа и более 60% среди приборов учета пара [9].

## ЛИТЕРАТУРА

1. Кремлевский П.П. Расходомеры и счетчики количества. Изд.3-е, переработанное. и доп. - Л.: Машиностроение, 1975.- 776 с.
2. Киясбейли А.Ш., Перельштейн М.Е. Вихревые измерительные приборы. – М.: Машиностроение, 1978. –152 с.
3. Маштаков,Б.П., Грикевич А.В. Вихревые расходомеры с телом обтекания. Перспективы вихревой расходомерии.- Приборы и системы управления-1990, №12, с.24-26.
4. Абрамов Г.С., Барычев А.В., Зимин М.И. Практическая расходомерия в промышленности – М.: ОАО ВНИИОЭНГ, 2000. - 472 с.
5. 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.
6. Богуш М.В. Проектирование пьезоэлектрических датчиков с использованием конечно-элементных математических моделей //Приборы – 2007.- № 12,- с. 30-38.
7. Богуш М.В., Пикалев Э.М. Проектирование пьезоэлектрических датчиков изгибающего момента для вихревых расходомеров газа и пара // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика – 2008.- № 4,- с.32-38.
8. Богуш М.В., Мокров Е.А., Панич А.Е. Анализ информативности пьезоэлектрических датчиков давления с помощью обобщенного показателя качества// Измерительная техника – 2008. - № 6,- с.27-29.
9. Богуш М.В. Успехи вихревой расходомерии//Приборы – 2007.-№8, -с.32-39.