

ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЕ В УЛЬТРАЗВУКОВОЙ РАСХОДОМЕТРИИ

Программа импортозамещения, активно проводимая Правительством РФ в отечественной промышленности, особенно актуальна для нефтегазового комплекса, в котором значительная доля оборудования поставляется из-за рубежа. На примере некоторых изделий фирмы «Вымпел» показано, как эта Программа реализуется в той части газовой промышленности, которая связана с автоматизацией и метрологией, а более конкретно – с расходомерией. Описаны ультразвуковые расходомеры, не только не уступающие по характеристикам самым передовым зарубежным аналогам, но и в некоторых случаях их превосходящие. В настоящее время ультразвуковые расходомеры проходят опытно-промышленную эксплуатацию на объектах ООО «Газпром трансгаз Москва».

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: УЛЬТРАЗВУКОВОЙ РАСХОДОМЕР ГАЗА, ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЕ, ОДНОНИТОЧНАЯ ГИС, КОММЕРЧЕСКИЙ УЧЕТ ГАЗА, ПОПУТНЫЙ НЕФТЯНОЙ ГАЗ.

С.Г. Марченко¹, e-mail: shabanova@gtm.gazprom.ru;
А.М. Ляшенко¹, e-mail: a.lyashenko@gtm.gazprom.ru;
А.М. Деревягин², e-mail: info@npovympel.ru;
В.В. Козлов², e-mail: vv.kozlov@npovympel.ru;
Г.А. Деревягин², e-mail: gleb.derevyagin@npovympel.ru

¹ ООО «Газпром трансгаз Москва» (Москва, РФ).

² ЗАО НПО «Вымпел» (Москва, РФ).

Высокая сложность разработки ультразвукового расходомера для коммерческого учета газа подтверждается небольшим количеством производителей данного типа устройства – в мире их не более десяти. Техническая сложность разработки, в отличие, например, от ультразвуковых расходомеров на жидкость, заключается в особенности излучения ультразвука в газ за счет разности акустических импедансов газовой среды и материала преобразователя, специальном алгоритме формирования и обработки акустического сигнала, вызванной сжимаемостью рабочей среды, технологической сложностью изготовления преобразователей, высоким давлением рабочей среды и др.

НПО «Вымпел» ведет разработки в области расходомерии с середины 1990-х гг. Первым успешным результатом этих работ стал расходомер «Гиперфлоу» (рис. 1а), работающий по методу переменного перепада давления, обладающий исключительными характеристиками надежности при работе в условиях Крайнего Севера и на неподготовленных, «грязных» газах. «Гиперфлоу» получил широкое распространение на северных газовых месторождениях, объектах ПХГ, ТЭЦ и многих других. За все время установлено и успешно эксплуатируется более 10 тыс. ед. данного расходомера.

Разработки в области ультразвуковой расходомерии начались в 2004 г. и ознаменовались выпуском серии расходомеров «Гиперфлоу-УС» исполнений «С» (стандартное), «Т» (технологическое) и «Р» (с расширенным диапазоном измерения 500:1, рис. 1б), реализующих время-импульсный метод измерения [1]. В частности, «Гиперфлоу-УС» исполнения «Р» нашел широкое применение на объектах, где требуется измерять как малый, так и относительно большой расход в зависимости от сезонного потребления газа (газораспределительные станции, общедомовые узлы учета), технологических особенностей процесса (АГНКС, при измерении в режиме реверса обратного тока газа после закачки). Широкий диапазон измерения обеспечен наличием пластины, отражающей и фокусирующей ультразвуковой сигнал, многократно увеличивающей длину акустического пути сигнала [2].



Рис. 1. Ультразвуковые расходомеры: а) «Гиперфлоу»; б) «Гиперфлоу-УС» исполнения «Р»; в) «Вымпел-100»

Например, применяемый на АГНКС расходомер «Гиперфлоу-УС» исп. «Р» Ду 50 позволяет измерять расход в диапазоне 6–3160 м³/ч, приведенный к стандартным условиям при давлении 1,6 МПа с пределом относительной погрешности не более 1% и частотой опроса один раз в секунду в прямом и обратном направлении потока.

Продолжением развития «Гиперфлоу-УС» исп. «Р» стал компактный ультразвуковой расходомер «Вымпел-100», выпущенный в 2014 г. (рис. 1в). Помимо расширенного диапазона измерения расходомер не требует прямых участков на входе и выходе благодаря запатентованной конструкции первичного преобразователя [3]. Это изделие создано специально на замену турбинных и ротационных счетчиков без перепроектирования места установки, поскольку имеет малое межфланцевое расстояние – 3D, где D – условный диаметр трубопровода. Расходомер находит широкое применение на объектах с условиями ограниченного пространства: в узлах учета компрессорных и газораспределительных станций, в установках по производству технологических газов и др.

По сочетанию технических характеристик «Вымпел-100» превосходит существующие мировые аналоги, а независимость от импортных комплектующих делает его весьма конкурентоспособным на мировом рынке.

«ВЫМПЕЛ-500»

Для задач коммерческого учета, в том числе на приграничных газоизмерительных станциях, разработан многоканальный ультразвуковой расходомер повышенной точности «Вымпел-500» (рис. 2).

«Вымпел-500» реализует ставшую классической многоканальную схему измерения, позволяющую определять эпюру потока и обеспечивающую максимальную точность измерения [1].



Рис. 2. Ультразвуковой расходомер «Вымпел-500», измерительная схема

С целью получения детальной информации о функции распределения скорости число каналов зондирования доведено до 8. Измерительная схема расходомера характеризуется наличием двух плоскостей, расположенных под углом 90 или 60° друг к другу, образуя в проекции на сечение трубопровода четыре хорды (рис. 2).

Прибор оснащен 8-канальным блоком электроники, выполненным на современной элементной базе с малым энергопотреблением. Программное обеспечение прибора позволяет выводить все текущие данные о состоянии измерительной системы и результатов измерений в реальном времени. Корректор, производящий приведение измеренного расхода к стандартным условиям, встроен в блок электроники в штатном исполнении.

По требованию заказчика поставляется два расходомера с одним измерительным участком: в этом случае изделие состоит из двух комплектов блоков электроники, датчиков давления и температуры, причем каждый из блоков обрабатывает одну измерительную плоскость по четыре измерительных канала в каждой (схема 4+4).

В качестве дополнительной опции расходомер может снабжаться дополнительным измерительными каналом, расположенным по диаметру в сечении трубопровода и позволяющим контролировать изменение эпюры потока с течением времени, вызванное отложениями на внутренней стенке трубопровода.

Конструктивными и эксплуатационными особенностями расходомера «Вымпел-500» являются:

- 8-канальная измерительная схема (опция: два расходомера в одном, 4+4);
- предел относительной погрешности до 0,3%;
- высокая стабильность измерений на малых расходах;
- нечувствительность к завихрению;
- корректор, встроенный в блок электроники;
- встроенная система автодиагностики технологических параметров и нештатных ситуаций;
- низкое энергопотребление (менее 4 Вт);
- возможность работы как на высоком (до 27 МПа), так и на низком (0,1 МПа) давлении;
- поверка на воздухе для работы на высоком давлении;
- внутренний архив данных: точный – более 2 лет, часовой – более 6 месяцев;
- замена преобразователей под давлением без остановки процесса;
- широкий диапазон типоразмеров: Ду 150 – Ду 1400.

УЛЬТРАЗВУКОВЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ

Наиболее технически и технологически сложным элементом ультразвукового расходомера являются его электроакустические (ультразвуковые) преобразователи.

В результате 10-летнего опыта работы специалистами НПО «Вымпел» разработан преобразователь, по своим характеристикам не уступающий лучшим мировым образцам, а также отлажена технология его производства без привлечения опыта сторонних компаний.

Данный преобразователь (рис. 3) относится к резонаторному типу преобразователей. Излучатель преобразователя является акустически развязанным от его корпуса для предотвращения распространения паразитных



Рис. 3. Ультразвуковой преобразователь

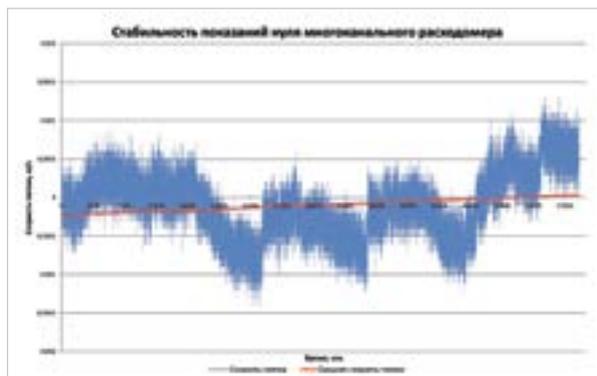


Рис. 4. Измерение нулевого расхода при стандартных условиях в течение 17 ч

шумов по корпусу расходомера к преобразователю от других преобразователей и сторонних источников акустических помех.

Высокая резонансная частота преобразователей (180–220 кГц) исключает негативное воздействие акустических помех от запорно-регулирующей арматуры, которые распространяются как по корпусу, так и по рабочей среде и имеют более низкие частоты.

Преобразователи изготавливаются из высокопрочного износостойкого сплава титана, являются полностью герметичными и выдерживают давление не менее 50 МПа. Для изготовления преобразователя используются материалы и комплектующие отечественного производства, включая пьезокерамическую пластину.

Эти характеристики преобразователей обеспечивают стабильную работу расходомера в рабочем диапазоне давлений и температур рабочей среды, позволяют применять «Вымпел-500» на неподготовленном, в том числе **попутном нефтяном газе**, на сверхвысоких давлениях рабочей среды. В случае попутного нефтяного газа применяется удлиненный вариант преобразователей для их выноса в просвет измерительного участка с целью предотвращения загрязнения тяжелыми фракциями углеводородов.

МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Одним из важнейших метрологических параметров УЗ-расходомера является стабильность измерения нулевого расхода в зависимости от времени при разных условиях среды (давлении, температуре, загрязнении преобразователей). Этот параметр говорит о корректности формирования и алгоритма обработки сигнала, измерения времени его распространения в электроакустическом тракте.

Алгоритм формирования и обработки ультразвукового сигнала в расходомерах «Вымпел» использует численные методы решения задач колебания систем с несколькими степенями свободы и корреляционный анализ, что обеспечивает максимально точное определение времени задержки сигнала и стабильность измерения.

На рис. 4 приведена запись показаний нулевого расхода в течение 17 часов с частотой 1 раз в секунду. Измерения проводились расходомером «Вымпел-500» Ду 300 при стандартных условиях с заглушенными с торцов фланцами. График показывает, что значение скорости потока находится в пределах ± 1 мм/с, что на диаметре ДУ 300 соответствует расходу $\pm 0,25$ м³/ч. Данное значение говорит о высокой стабильности измерения на низких расходах.

Произведены испытания влияния давления рабочей среды на значение скорости потока при нулевом расходе (таблица). В качестве рабочей среды использован воздух.

Данные таблицы говорят об отсутствии влияния давления на измерение нулевого расхода «Вымпел-500». Этот факт подтверждает корректность калибровки «Вымпел-500» на атмосферном давлении для дальнейшей эксплуатации на более высоком давлении.

Имитация загрязнения датчиков (нанесение слоя солидола в 4 мм) также не приводило к сколько-нибудь заметному увеличению дрейфа нулевого расхода.

Расходомер «Вымпел-500» успешно прошел ряд испытаний в Уральском региональном метрологическом центре (УРМЦ), метрологических центрах Pigsar (Германия) и Euroloop NMI (Голландия) на типоразмерах Ду 300 и Ду 500. В ходе испытаний исследовались метрологические характеристики расходомера на невозмущенном и возмущенном потоках, оценивалась долговременная стабильность, общая неопределенность и повторяемость измерений.

В соответствии с ГОСТ 8.611-2013[4] общая расширенная неопределенность $U_{\text{общ}}$ измерения равна среднеквадратичному расширенной неопределенности эталонного средства измерения $U_{\text{эт}}$ и доверительной границе случайной погрешности поверяемого средства измерения относительно эталонного $U_{\text{СИ}}$, %:

$$U_{\text{общ}} = \sqrt{U_{\text{эт}}^2 + U_{\text{СИ}}^2} \quad (1)$$

$U_{\text{СИ}}$ вычисляется по формуле:

$$U_{\text{СИ}} = k_u^{0,95} \frac{\sum_{j=1}^m (E_j - \bar{E})^2}{m-1} \quad (2)$$

где \bar{E} – систематическая погрешность,

$$\bar{E} = \frac{\sum_{i=1}^m E_i}{m} \quad (3)$$

$k_{0,95}$ – коэффициент Стьюдента для доверительной вероятности 95% и числа степеней свободы $u=m-1$;

m – число измерений;

E_j – относительное отклонение показаний поверяемого средства измерений от эталонного при j -м измерении, %.

Значение $U_{си}$ представляет собой границу интервала, внутри которого с вероятностью 95% попадут значения относительных отклонений E_j .

Значение $U_{общ}$ является критерием подтверждения класса точности расходомера.

На рис. 5 изображены кривые относительной погрешности «Вымпел-500» Ду 300 на невозмущенном потоке после внесения калибровочных коэффициентов и на возмущенном потоке соответственно. В первом случае максимальная для всех точек расхода систематическая погрешность E_{max} составляет 0,085% при доверительной границе случайной погрешности $U_{си}$ не более 0,27%. Во втором случае наличие возмущения в потоке добавляет отклонение не более 0,34%, что находится в рамках заявленного предела погрешности 0,5%. Возмущение потока производилось установкой перед испытуемым преобразователем турбинного счетчика, создающего существенное угловое завихрение, на расстоянии 5D, где D – условный диаметр трубопровода.

Испытания на долговременную стабильность измерения «Вымпел-500» проводились в УРМЦ на измерительном трубопроводе Ду 500, длительность испытаний составляла три месяца, контрольные замеры проводились с интервалом в несколько суток во всем диапазоне рабочих расходов. В результате максимальный разброс показаний не превысил 0,5%.

Испытания «Вымпел-500» Ду 300 и Ду 500 проводились в метрологических центрах Pigsar

Результаты испытания влияния давления рабочей среды на значение скорости потока при нулевом расходе

P, МПа	0,1	1	2	3	4	5
V_0 , м/с	0,0005	0,0012	0,0008	-0,0003	0,0019	0,0011

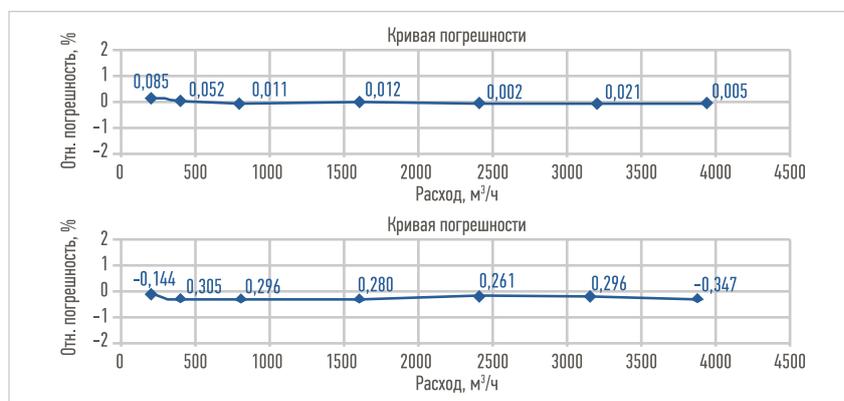


Рис. 5. Относительная погрешность «Вымпел-500» Ду 300 на невозмущенном (сверху) и возмущенном турбинным счетчиком (снизу) потоках

и Euroloop для подтверждения класса точности 0,3%.

Перед испытаниями в Pigsar испытуемый образец Ду 300 был откалиброван в УРМЦ в диапазоне рабочих расходов 200–3000 м³/ч.

На рис. 6 представлен протокол испытаний 8-канального «Вымпел-500» Ду 300 в центре Pigsar. Рамка 1 рис. 6 показывает систематическую погрешность E измерений «Вымпел-500», откалиброванного в УРМЦ, от эталона Pigsar в диапазоне расходов 195,23–2611,02 м³/ч. Это отклонение составляет не более 0,34% и характеризует различие в калибровке в двух метрологических центрах.

Рамка 2 рис. 6 показывает доверительную границу случайной погрешности $U_{си}$ испытуемого образца. Эта величина сравнима с величиной неопределенности самого эталона Pigsar, которая составляет 0,14–0,17% в зависимости от расхода.

Рамка 3 рис. 6 представляет общую расширенную неопределенность $U_{общ}$ «Вымпел-500». Максимальное значение расширенной неопределенности равно 0,24%, что подтверждает

класс точности 0,3% испытуемого образца.

Повторная проливка после внесения калибровочных коэффициентов показала исключительно высокую повторяемость измерений: –0,02% на расходе 2600 м³/ч и 0,03% на расходе 975 м³/ч (рамка 4 рис. 6).

ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ ПРОИЗВОДСТВА

Одной из важнейших составляющих надежности и стабильности работы расходомера являются качество и технологичность его производства. Процесс производства «Вымпел-500», организованный на площадке НПО «Вымпел», представляет собой законченный производственный цикл.

При изготовлении фланцевых измерительных участков «Вымпел-500» для типоразмеров не более Ду 300 используются литые заготовки или поковки, для типоразмеров более Ду 300 – заготовка из толстостенной трубы с приваренными к ней бобышками под датчики и фланцами. Финишная обработка заготовки производится на прецизионном 5-координатном го-

