

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ВЫСОКОТОЧНЫХ
УЛЬТРАЗВУКОВЫХ РАСХОДОМЕРОВ ГАЗА И ЭТАЛОННЫХ
СТЕНДОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ РЕСУРСОВ**

канд. физ-мат. наук, доц. **Величко М.А.**

канд. физ-мат. наук, доц. **Гладких Ю.П.**

канд. филос. наук, доц. **Костина И.Б.**

*Белгородский государственный национальный
исследовательский университет НИУ «БелГУ», г. Белгород*

***Аннотация.** В статье описана новая разработка для промышленного применения – ультразвуковой расходомер с высоким динамическим диапазоном. Благодаря высокой точности измерения можно сохранить газовые ресурсы, а с помощью соответствующего программного обеспечения вычислительного устройства, избежать утечки газа, уменьшить потребление энергии и сократить трудовые затраты. Показаны новые технологии, позволяющие повысить точность измерений и увеличить интервал между поверками счетчиков. Описано низкое энергопотребление, позволяющее использовать ультразвуковой расходомер в труднодоступных условиях без непосредственного управления в течение нескольких месяцев. Также рассмотрено использование современных беспроводных технологий для сбора и передачи метрологических данных.*

Газ является основным топливом в России, на него приходится более 50% потребления первичных энергоресурсов – это достаточно много по мировым стандартам. Ни одна страна с развитой экономикой не имеет такой высокой доли газа в топливном балансе. Для сравнения заметим, что в Великобритании соотношение газа в энергопотреблении составляет – 40%, в Нидерландах – 38%, в Канаде – 27%, а в США – 26%. Гидроэнергетика преобладает в Норвегии и ее доля в газе составляет всего 9%. Однако на фоне таких стран, как Иран, где газ тоже дает 55% всей первичной энергии, или Алжир, где его доля составляет 60%, Россия выглядит вполне органично.

Тем не менее, потребление газа в России велико. Разумно отметить, что он равен совокупному потреблению Германии, Франции, Италии, Японии, Китая и Индии. Ежегодно Россия сжигает и перерабатывает более 420 миллиардов кубометров газа, уступая по этому показателю только США. В России доля экспортируемого голубого

топлива достигает всего 30%, остальная часть потребляется внутри страны. Чтобы сохранить свои позиции на зарубежных газовых рынках или даже завоевать новые, России необходимо сократить внутреннее потребление.

Измерение и сравнение расходов газа на всех этапах от газовых компаний до потребителей газа достаточно сложная работа. В частности, это эффективный учет газа, мониторинг газового потока и телеметрия [1]. Расходы потока газа должны быть измерены под различными условиями температуры, давления и влажности. Расходомер газа обычно состоит из трех основных частей, таких как герметичный корпус, измерительный преобразователь и счетное устройство. Измерительный механизм является основным элементом, а принцип преобразования потока в механическое, электрическое или иное воздействие на счетное устройство определяет тип расходомера. Механические преобразователи используют различные свойства газов для перемещения рычага, действующего на счетное устройство. Электронные датчики преобразовывают свойства подачи в электрический импульс, который увеличивает индикацию на дисплее, а конвертер использует физические свойства подачи газообразного вещества. Согласно принципу своей деятельности, существуют несколько типов счетчиков:

1) мембранный измеритель, в котором газ поочередно заполняет две измерительные камеры, разделенные мембраной. Каждая камера имеет фиксированный объем. Клапаны входного сигнала и выхода несимметрично синхронизированы друг с другом. Движение мембраны преобразуется рычагом в поворот привода счетного устройства, который показывает объем топлива, прошедшего через устройство;

2) роторный газовый счетчик, который использует давление газа в специальных баках для того чтобы управлять роторами, подсоединяется к приводу счетным механизмом. Счетчик переводит количество оборотов в количество топлива;

3) турбинный счетчик основан на скорости потока измерения путем подсчета количества оборотов турбины, которая вращается под давлением потока. Такие приборы учета используются только на муниципальных и промышленных предприятиях для учета больших объемов;

4) вихревой расходомер использует зависимость частоты колебаний давления, которые возникают после того, как струе газообразного вещества придается вихревая форма. Механизм учета этих колебаний сложен, требует применения микропроцессорной техники, поэтому

такие устройства являются дорогостоящими и используются только на крупных газораспределительных предприятиях;

5) ультразвуковой счетчик-расходомер, он обычно использует разницу времен распространения волн ультразвука вдоль и против подачи, оценивая скорость подачи, после чего преобразовывает ее к потреблению газа. Ультразвуковым расходомерам также необходима высокоточная электроника для преобразования нано и пико-вторых импульсов в цифровые сигналы [2–4].

Ультразвуковые расходомеры все чаще используются в различных отраслях промышленности. Преимущества счетчиков – расходомеров заключается в высокой точности измерения, широком динамическом диапазоне, низкой инерции, отсутствием потерь дополнительного давления, простотой дизайна. Ультразвуковые счетчики-расходомеры успешно заменяют роторные и турбинные счетчики-расходомеры.

Не так давно мы разработали новый промышленный времяпролетный ультразвуковой расходомер газа ИргаРУ, который уже внесен в Государственный реестр средств измерений. Принцип его работы основан на импульсно-временном методе измерения расхода газа. Он состоит в измерении времени прохождения ультразвуковых импульсов по направлению потока газа в трубопроводе и против него. Возбуждение и прием импульсов осуществляется пьезоэлектрическими преобразователями, которые устанавливаются в цельнометаллическом корпусе расходомера под углом (от 30° до 45°, в зависимости от исполнения) к направлению потока. Скорость ультразвука в среде зависит от физико-химических свойств этой среды: температуры, давления и др. В то же время, она значительно больше скорости среды, так что действительная скорость ультразвука в движущейся среде мало отличается от скорости в неподвижной среде. Разница во времени транзита даже при скорости потока около 10 м/с составляет доли микросекунды, в то время как погрешность измерения не должна превышать нескольких наносекунд. Данные обстоятельства обуславливают необходимость использования сложных электронных схем в сочетании с микропроцессорной техникой, обеспечивающих компенсацию влияния этих факторов.

Конструктивно расходомер состоит из трех блоков: 1) основной конвертер подачи, который снабжен жилищем с встроенными ультразвуковыми приемопередатчиками; 2) блок питания со встроенным барьером искра защиты для обеспечения взрыва цепей защиты, при

необходимости; 3) электронный блок, который управляет ультразвуковыми приемопередатчиками, осуществляет прием, обработку, преобразование и передачу сигналов на вычислительное устройство. Эти сигналы содержат, в частности, информацию о времени распространения ультразвуковых импульсов, которые необходимы для расчета объемного расхода газа в рабочих условиях:

$$v = \frac{L \cdot (t_2 - t_1)}{2 \cdot t_1 \cdot t_2 \cdot \cos \alpha},$$

где: v – скорость потока в трубопроводе, L – расстояние между приемопередатчиками, α – угол между осью установки датчиков и осью трубопровода, t_1 и t_2 – время распространения ультразвуковых импульсов вдоль потока и против него.

Конструкция расходомера исключает возможность несанкционированного воздействия на программное обеспечение расходомера и измерительную информацию. Мы разработали и успешно протестировали собственные схемы управления пьезоэлектрическими приемопередатчиками, а также создали новые оригинальные алгоритмы обработки полученных сигналов. Это позволило нам: существенно расширить динамический диапазон измерения расхода газа до значений порядка 1:2000; повысить точность измерений до 1% в большинстве задач; использовать расходомер на трубопроводах практически любого диаметра; проводить измерение расхода различных физико-химических свойств газовых сред на высокой скорости, в широком диапазоне температур и давлений; не вводить дополнительные потери давления в трубопровод. При этом наш расходомер имеет достаточно простую конструкцию и не требует значительных длин прямых участков до и после его установки.

В конструкции расходомера использованы современные преобразователи микроконтроллеров, использующие энергосберегающие технологии, разработаны энергоэффективные алгоритмы передачи, приема и обработки ультразвуковых импульсов. Потребляемая мощность снизилась до нескольких мкВт, что помогло нам в реализации автономного питания от аккумуляторных батарей.

Коллеги из Туркменистана предоставили нам возможность протестировать нашу установку на солнечных батареях в условиях пустыни с почти безоблачной погодой и периодическими изменениями энергоснабжения. Эксперимент показал, что расходомер способен работать без непосредственного обслуживания несколько месяцев. В этом слу-

чае встает единственная задача – это получение информации с удаленного расходомера, поэтому нами была организована система телеметрии и разработано дополнительное программное обеспечение. Мы испробовали несколько решений при передаче метрологической информации с расходомера, такие как радиомодемы, GSM/GPRS или 4G/3G модемы. Наиболее эффективным решением для пустыни стал радиомодем с кодовой модуляцией, который передавал данные более чем на 7 км к центральному узлу. Сигнал 3G был достаточно высок только в центральном узле, где мы создали HTTP-клиент на базе солнечного микроконтроллера, который периодически размещал данные на web-сервере, расположенном в Ашхабаде.

Хотя ультразвуковые расходомеры очень эффективны в высоком динамическом диапазоне, они также должны быть откалиброваны, это означает, что их показания должны быть синхронизированы с эталонами. Это стандартная процедура для всех метрологических приборов, независимо от их цены, условий эксплуатации, динамических диапазонов, типов, размеров и других свойств. Поверку могут производить только специализированные организации с высокоточными стендами, которые должны быть включены в государственный реестр средств измерений. Обычно такие стенды представляют собой громоздкие системы, которые требуют много свободного места и высокой квалификации оператора. Кроме того, они или их части (например, сопла, в случае стендов на критических соплах) сами по себе требуют периодической повторной калибровки в организациях по стандартизации. Такие стенды стоят около нескольких миллионов рублей. Мы предлагаем ультразвуковую испытательную установку «KRAB-UM» – мобильный верификационный стенд (рис. 1).

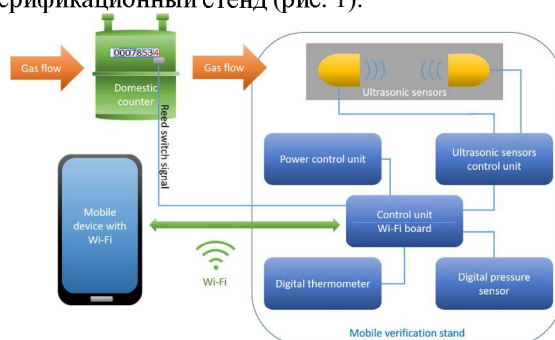


Рис. 1. Общая схема мобильного верификационного стенда

Принцип его работы заключается в автоматическом выборе точек поверки и наборе условий для проведения измерений, контроле показаний датчиков температуры и давления, автоматическом регулировании расхода, сравнении объемов газа, прошедшего через бытовой счетчик и через высокоточную ультразвуковую систему отсчета, анализе результатов измерений и принятии решений об успешности поверки.

Это первый ультразвуковой мобильный калибровочный стенд, который, помимо прочего, использует беспроводную технологию для передачи, хранения и отображения метрологических и других данных, и способен работать на батареях в течение 8 часов. Пикосекундная точность электронного расчета разницы во времени прохождения ультразвуковых импульсов между приемником и передатчиком, что до недавнего времени было невозможно, а также усовершенствованная конструкция гидравлической части эталонного устройства позволили разработать компактный высокоточный надежный стенд.

Мы разработали и собрали рабочую модель мобильного ультразвукового эталонного блока для автоматической поверки бытовых счетчиков (рис. 2).



Рис. 2. Передвижная ультразвуковая стойка тарировки

Установка успешно прошла лабораторные испытания и готова к полевым испытаниям. «KRAB-UM» может использоваться как на газопроводе, что позволяет проводить поверку бытовых и коммунальных счетчиков газа без демонтажа, так и в качестве стационарной опорной установки (в этом случае необходим проточный компрессор). Работать с нашим стендом достаточно просто, так как весь процесс автоматизирован и требует лишь перемещения между страницами в web-браузере, и нажатием одной кнопки. Информация о проведенной поверке хранится и шифруется, что обеспечивает достоверность результатов и возможность проследить процесс всех измерений.

Таким образом, мобильная калибровка с помощью нашего ультразвукового стенда может значительно облегчить жизнь, частным потре-

бителям газа и промышленным предприятиям, избавив их от необходимости снимать счетчики и сдавать в метрологическую службу. Наши счетчики-расходомеры можно организовать в сети, эксплуатируемой от одиночного удаленного центрального блока. Новые антиадгезионные технологии позволяют повысить точность измерений и увеличить интервал между поверками. Низкое энергопотребление и высокая надежность позволяют использовать ультразвуковой расходомер в труднодоступных условиях без непосредственного управления в течение нескольких месяцев. Для сбора и передачи метрологических данных используются современные беспроводные технологии. Практически любое мобильное устройство может работать в качестве интерфейса для поверки компьютера, получая метрологические данные, как от эталона, так и от счетчика при калибровке по локальной сети WiFi. Кроме того, нашими приборами могут управлять неспециалисты, так как они практически полностью автоматизированы. Это может экономить время и финансовые ресурсы.

Библиографический список

1. **Богущ М.В.** Пьезоэлектрические датчики для экстремальных условий эксплуатации. Ростов-на-Дону: Изд-во СКНЦ ВШ, 2006. 335 с.
2. **Деревягин Г.А.** Исследование пьезодатчика мембранного типа // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2009. № 1(44). С. 159–161.
3. **Зулькарнаев В.Р.** Мировой рынок вихревых расходомеров. Текущее состояние рынка и позиции ОАО ИПФ «Сибнефтеавтоматика» // Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности. 2010. № 2. С. 334–336.
4. **Золотаревский С.А., Гушин О.Г.** Организация учета природного газа. Основные принципы, методы и средства обеспечения метрологической надежности узлов коммерческого учета газа // Комплексный подход к учету газа. Новое метрологическое, коммуникационное оборудование и системы. Арзамас. 2012. С. 32–44.
5. **Руденко М.В., Никифоров Ю.В.** Проблемы стандартизации поверки счетчиков газа // Мир измерений. 2010. № 11 (117). С. 15–21.
6. Calibration of Ultrasonic Flow Meter on Wi-Fi Network Using a Web Browser / M. Velichko, O. Satler, L. Krasovskaya et al. // J. Advanced Research in Dynamical and Control Systems (Special Issue). 2018. Vol 8. P. 1593-1596.
7. Using Drone as WiFi Access Point During Infrared Thermography for Subsidiary Data Acquisition / M. Velichko, O. Satler, L. Krasovskaya et al. // J. Fundam. Appl. Sci. 2017. Vol 9. P. 1279-1288.