

Покрас С.И., Покрас А.И., Покрас И.С., Гришанова И.А.

УЛЬТРАЗВУКОВАЯ РАСХОДОМЕТРИЯ: КАК И ЗАЧЕМ ПОВЫШАТЬ ТОЧНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЙ

Введение

Ситуация, которая складывается на сегодняшний день в связи с постоянным ростом цен на энергоресурсы, все более ужесточает требования к точности их учета, а именно к приборам, выполняющим такие функции. Сегодня как в Украине, так и в России возрастает не только спрос на средства измерения расхода, но и требования к их метрологическим характеристикам. Это становится вполне объяснимой тенденцией, если ответить на вопрос: «А сколько же стоит хотя бы 1% погрешности измерения тепла соответствующими приборами?»

Фирма «СЕМПАЛ», украинский производитель ультразвуковых теплосчетчиков СВТУ-10М, произвела оценку стоимости 1% неточности измерения тепла в трубах малых и средних диаметров за месяц и полгода (рис.1), а также в трубах больших диаметров за 10-дневный период (рис.2).

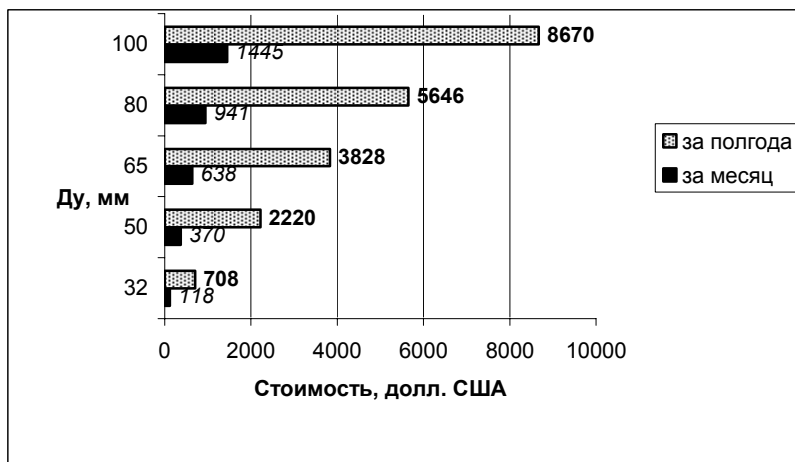


Рис.1. Стоимость 1% погрешности измерения тепла в трубах малых и средних диаметров за месяц и полгода (1 отопительный сезон) при $\Delta t=50^{\circ}\text{C}$

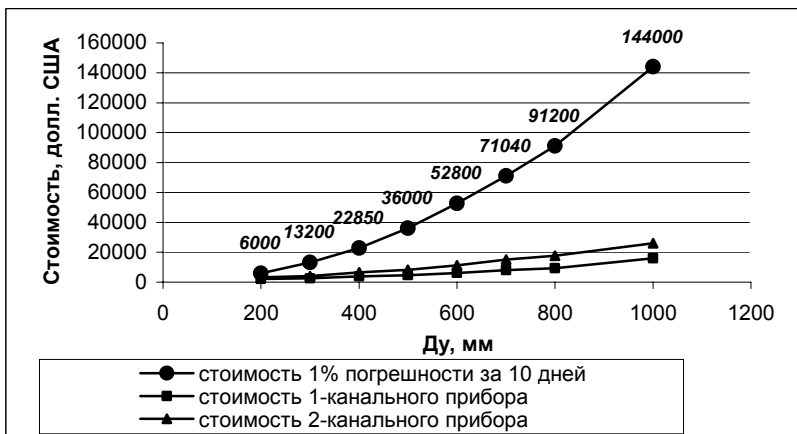


Рис.2. Стоимость 1% погрешности измерения тепла на больших диаметрах за 10-дневный период относительно стоимости одно- и двухканальных теплосчетчиков СВТУ-10М

Оказывается, что при сегодняшнем украинском тарифе, примерно 20 долларов США за 1Гкал, и при работе на расходе теплоносителя, составляющем в среднем $0.7Q_{\max}$, финансовые затраты даже на 1% погрешности учета тепла оказываются весьма существенными на трубах любого диаметра.

Всего лишь за 10 дней стоимость каждого процента погрешности для труб большого диаметра значительно превышает стоимость как 1-канального, так и 2-канального вариантов тепловодосчетчика СВТУ-10М. Показанная динамика такова, что чем больше диаметр условного прохода прибора, тем существеннее непрогнозируемые убытки, связанные с низкой точностью измерений.

В связи с этим и наблюдается повышение потребности в высококачественных средствах измерения расходов на больших диаметрах, которые широко используются на крупных объектах – котельных и ТЭЦ, очистных сооружениях водоканалов, насосных станциях, водопроводных сетях и т.п. Так, по данным, приведенным в статье И.Д. Вельта «О метрологическом обеспечении расходомеров большого диаметра» [1], ориентировочная потребность в расходомерах с Ду более 300 мм по России составляет 5,5-6,5 тыс.год. На Украине потребность в приборах учета больших диаметров также весьма актуальна - повышение цен на газ не может не заставить котельные, где такие приборы (с Ду от 300 мм) в основном применяются,

ужесточить политику скрупулезного учета теплоносителей. При этом необходимо принять во внимание и тот факт, что рынок расходомеров для измерения в трубах больших диаметров весьма ограничен. Из приемлемых по метрологическим показателям подходят лишь электромагнитные и ультразвуковые. Но электромагнитные, как правило, на диаметры более 300-400 мм не выпускаются в связи с резким усложнением конструкции и увеличением металлоемкости прибора. Выходит, что альтернативы ультразвуковым в этом сегменте рынка просто нет.

Именно ультразвуковые расходомеры в последние годы приковывают к себе все большее внимание, поскольку находят широкое применение во многих областях народного хозяйства. Они с успехом заменяют расходомеры других типов при измерении практически любых сред. Положительные тенденции развития мирового рынка продаж ультразвуковых расходомеров показаны на рис. 3.

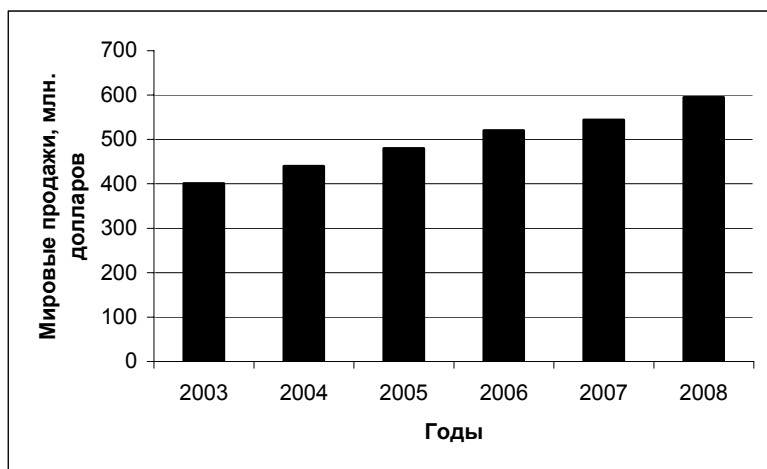


Рис.3. Прогноз мировых продаж ультразвуковых расходомеров по годам, в млн. долларов

Необходимо отметить, что согласно маркетинговым исследованиям рынок ультразвуковых расходомеров растет намного быстрее, чем рынки других типов приборов учета. Так, если в 2003 г. он составлял около 406 миллионов долларов, то до конца 2008 г. прогнозируется разрастание рынка до чуть менее 600 миллионов долларов согласно исследованиям ARC Advisory Group (США). Объясняется это тем, что

ультразвуковые расходомеры имеют ряд существенных преимуществ перед остальными средствами измерения расхода. Вообще говоря, когда при выборе того или иного метода измерения в качестве приоритетных ставятся такие критерии, как высокая точность, повторяемость, простота калибровки и надежность, то предпочтение зачастую отдают именно ультразвуковому методу.

История создания ультразвуковых расходомеров началась в 1963 г., когда впервые они были представлены в Японии для промышленного применения. С тех пор данные приборы претерпели значительные усовершенствования и сегодня представлены в различных конструктивных вариантах и конфигурациях для использования во многих отраслях народного хозяйства. Они являются одними из наиболее точных и надежных средств измерения расхода во всем мире. Так, многоорудовые расходомеры способствуют повышению точности измерений за счет минимизации негативных эффектов вихреобразования, вязкости сред, а также эффектов, связанных с особенностями установки расходомерных узлов (имеются ввиду местные сопротивления).

Ультразвуковая технология – это одна из немногих технологий, позволяющих измерять любые среды: жидкости, газы и даже пар. Измерение практически без потерь давления может сэкономить значительные затраты на насосное оборудование особенно там, где требуются высокое давление в магистрали или длинные дистанции транспортировки тех или иных сред.

Но, как говорится, нет предела совершенству, и задачи последующего повышения эффективности ультразвукового метода, в частности, точности, актуальны и по сей день. Особенно, когда речь идет об измерении очень дорогих сегодня энергоресурсов.

Перспективы повышения точности измерений в основном кроются в особенностях метода измерений и технологии производства реализующих этот метод приборов, поэтому рассмотрим факторы, оказывающие наибольшее влияние на процесс измерения, и оценим пути устранения вызываемых ими погрешностей.

1. Погрешность, вносимая гидродинамическим поправочным коэффициентом

Неточность определения этого коэффициента вносит, пожалуй, самую большую долю в суммарную погрешность прибора.

Под гидродинамическим поправочным коэффициентом к понимают отношение

$$k = V_{cp}/V_l,$$

где V_{cp} – средняя скорость потока, усредненная по сечению расходомерного участка;

V_l – средняя скорость потока, усредненная по длине канала зондирования, расположенного между пьезодатчиками.

Некорректное принятие того или иного значения поправочного коэффициента может давать до 5% погрешности особенно в нижней части диапазона измерений.

Для уменьшения этой величины часто используют многохордовые схемы зондирования потока, благодаря которым, в частности при задействовании 5 хорд, разброс погрешностей показаний уменьшается до $\pm 0.3\%$. Если все же оставить традиционное однолучевое расположение пьезодатчиков, необходимо уточнять значения гидродинамического поправочного коэффициента экспериментально.

Традиционно этот коэффициент вычисляется по формуле, выведенной на базе степенного закона распределения скоростей в потоке по данным измерений, проведенных Никурадзе [2]

$$k = \frac{2n}{1+2n}, \text{ где } n = 11.269 - 3.019 \lg Re + 0.432 \lg^2 Re,$$

Re – число Рейнольдса.

Проблема состоит в том, что предложенная теория подходит лишь для случая практически идеальной трубы без изменения ее конфигурации, т.е. сужений, расширений, без наличия на расходомерном участке «карманов» около ультразвуковых датчиков, и т.д. Кроме того, предложенная формула не учитывает асимметрию потока, приводящую к неравномерному распределению скоростей, в результате которого измеренная средняя скорость не будет соответствовать реальной. Выходит, что для получения истинных значений поправочного коэффициента k целесообразно провести численный эксперимент, а для оценки его достоверности сравнить полученные результаты с результатами натурального эксперимента. Впоследствии такой путь даст огромную экономию временных и материальных затрат.

Численный эксперимент проводится фирмой «СЕМПАЛ» еще на этапе разработки расходомерного узла (РУ). Для его осуществления прежде всего создается сетка модели будущей конструкции (рис.4).



Рис.4. Сетка ультразвукового РУ

Моделирование проводится на всех расходах диапазона измерений, что фактически охватывает разные режимы течения, от ламинарного до турбулентного. Контур распределения скоростей дают возможность оценить так называемые проблемные зоны на расходомерном участке.

На основании полученной картины распределения скоростей в РУ (рис.5) и, используя наложенную на эту модель трассировку акустического луча, мы определяем гидродинамический поправочный коэффициент с достаточно высокой точностью.

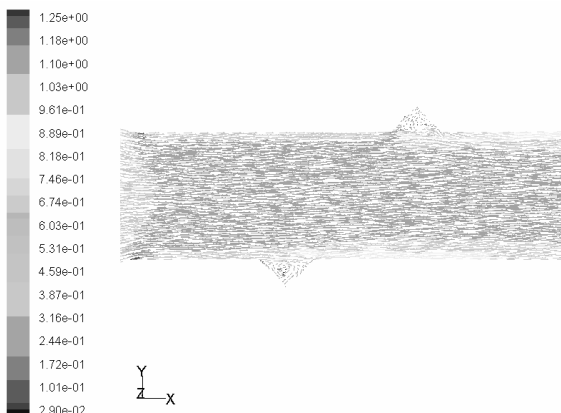


Рис.5. Контур распределения скоростей в ультразвуковом РУ

Благодаря проведению численного моделирования оценивается также влияние местных сопротивлений, предопределяющее выбор оптимальной длины прямого участка перед расходомером или

целесообразность его использования как такового еще на стадии проектирования расходомерного узла на объекте.

Для оценки адекватности результатов численного моделирования используется образцовый проливной стенд.

Такой сложный научный подход на самом деле оправдывает себя, поскольку помогает определить «гидродинамическую специфику» работы расходомерного узла тепловосчетчика СВТУ-10М в разных условиях, а значит создавать прибор с высокой стабильностью показаний.

2. Температурная погрешность

Эта погрешность определяется влиянием температуры на процесс распределения эпюры скоростей по сечению трубы, а также на характер прохождения в такой среде ультразвукового сигнала. Выявления подобной погрешности зачастую не происходит, поскольку подавляющее большинство проливных стендов работают на холодной воде. В реальных же условиях, если рассматривать отрасль теплоучета, разница температур подачи и обратки весьма существенна, что приводит к образованию так называемых «сверхнормативных» утечек.

Теплосчетчик СВТУ-10М фирмы «СЕМПАЛ» с ультразвуковым методом измерения расхода теплоносителя неоднократно проходил испытания на горячеводном стенде, причем не только в Украине. Так, лишь за последний год было пройдено 2 серии испытаний в Республике Беларусь – в Минске и Витебске. Особенно серьезные комплексные испытания проводились на протяжении 2-х недель на проливном стенде «Витебскэнерго», где практически одновременно испытывались 8 различных типов теплосчетчиков производства России и Беларуси. Причем в проливной стенд «загонялся» реагент, имитирующий реальную химобработанную воду систем отопления, делались сужающие и искажающие поток вставки (шайбы), а также проводились многодневные горячеводные проливы при температуре 85°C. При этом по некоторым типам приборов достаточно известных фирм отклонения от заявленных метрологических характеристик оказались такими значительными (десятки процентов), что дальнейшие их испытания были просто прекращены. В то же время теплосчетчик СВТУ-10М показал стабильные результаты по всей серии испытаний.

3. Погрешность от измерения времени

В ультразвуковом методе определения расхода процесс измерения времени является неотъемлемой частью. Использование сегодня в теплосчетчиках СВТУ-10М высокоточной и стабильной электроники, высококачественных кварцевых излучателей, оригинальных методов измерения коротких временных интервалов позволяет свести погрешность измерения времени практически к нулю. Таким образом, можно считать, что процесс измерения временной задержки прохождения акустических сигналов полностью отработан и не вносит неточностей при проведении измерений.

4. Погрешности, определяемые геометрическими параметрами РУ

Эти погрешности могут иметь разное происхождение.

Во-первых, следует учитывать заложенные на стадии создания конструкторской документации допуски на диаметр РУ. Именно из-за них в ряде случаев мы получаем ступеньку при присоединении расходомерного участка к подводящей трубе. Если речь идет об акустических расходомерах, где лучи располагаются вблизи стенок трубопровода, то данная ступенька может существенно отразиться на конечном результате измерения. По данным исследований, проводимых компанией Instromet Inc. (г. Хьюстон, США) ступенька в 5 % приводит к появлению погрешности 0.1-0.15 % даже у многолучевых расходомеров. Во избежание негативного влияния ступенек, а также для реализации возможности присоединения РУ к трубам отличающегося в пределах заданного допуска диаметра, целесообразно использовать конические переходы, чтобы не происходил отрыв пограничного слоя от стенок трубы, не искажалась эпюра скоростей, и, соответственно, не вносилась погрешность в измерительный процесс.

Во-вторых, при присоединении РУ к трубе может иметь место разная шероховатость внутренних поверхностей трубы и РУ. По результатам проведенных исследований [3] погрешность может достигать до 0.3 % при использовании труб с высокой степенью коррозии, равномерно образованной на внутренней поверхности труб.

На практике зачастую бывает весьма тяжело разделить коррозию от загрязнения или осадочного налета, который образуется на стенках труб, причем весьма неравномерно по окружности, но как первая, так и вторая субстанция приводят к уменьшению проходного сечения РУ,

а значит к появлению дополнительной составляющей погрешности. По поводу неравномерности налета: в трубопроводах больших диаметров часто наблюдаются стекловидные осадки, а также «сталагмитовые» образования толщиной в несколько сантиметров на дне трубы, и раковины от коррозии на «потолке» из-за частого прохода водо-воздушных «пробок».

Возвращаясь еще раз к допускам, заложенным на стадии выполнения конструкторской документации, укажем, что на фирме «СЕМПАЛ» закладывается весьма высокая степень точности изготовления деталей, (в ряде случаев допустимые отклонения на основные размеры РУ не превышают десятка микрон), притом все размеры тщательно контролируются отделом технического контроля. Такой подход позволяет добиваться стабильности и высокого качества в производстве расходомерных участков, другими словами, исключения погрешностей, связанных с неточностью выполнения того или иного размера РУ.

На заключительном этапе производится калибровка расходомеров на образцовом поверочном стенде фирмы «СЕМПАЛ». Проливы ведутся как на холодной, так и на горячей воде в соответствии с определенной программой, цель которой состоит в определении точности и повторяемости показаний прибора в разных условиях. Повторяемость каждого расходомера СВТУ-10М находится в пределах ± 0.3 %, что является весьма высоким показателем стабильности средств измерений.

Как следует из всего вышесказанного, влияние ряда факторов, дестабилизирующих работу ультразвуковых расходомеров, можно заранее предвидеть и предотвратить, сэкономив при этом большие денежные средства, связанные с неточностью учета. Во многом этому помогает использование программного обеспечения на базе современных методов обработки данных. Кроме того, программное обеспечение дает возможность наиболее полно реализовать в приборе функции контроля, учета и анализа нештатных ситуаций, возникающих на объектах эксплуатации. В связи с этим фирмой «СЕМПАЛ» разработана программа “SEMPAL Device Manager”, которая позволяет осуществлять такие операции:

- без выхода на объект обратиться к любому теплосчетчику СВТУ-10М, установленному на произвольно расположенном объекте;
- считывать архивы из переносного устройства съема данных УСД-01;
- контролировать все изменения расхода, температуры и давлений в режиме реального времени;

- считывать и распечатывать на принтер любые виды архивной информации, накопленной в приборе, с автоматическим впечатыванием в ведомость теплового учета полных данных об объекте;

- дистанционно изменять параметры почасового и посуточного регулирования встроенных в СВТУ-10М регуляторов;

- автоматически в заданные интервалы времени считывать архивы с любого количества теплосчетчиков СВТУ-10М, расположенных в любых точках мира, а также многое другое.

Выводы

Оценивая сегодняшние реалии постоянного повышения цен на энергоносители, фирма СЕМПАЛ еще более ужесточает требования к разработке, производству и контролю качества выпускаемых ею приборов учета СВТУ-10М. Благодаря этому нам удалось добиться следующих результатов.

1. Счетчики СВТУ-10М обладают высокой стабильностью показаний во времени, что позволяет обеспечить сохранение метрологических характеристик в течение всего межповерочного интервала.
2. Взаимная нестабильность каналов СВТУ-10М находится в допустимых пределах.
3. Теплосчетчики СВТУ-10М практически не имеют температурной составляющей погрешности.
4. Датчики расхода стабильно и безотказно работают при температурах теплоносителя в диапазоне от 0 до 150 °С в течение всего срока эксплуатации, который составляет у наших приборов 12 лет.

Резюмируя вышесказанное, хочется добавить, что будущее ультразвуковой расходомерии видится за так называемыми смарт-приборами, т.е. «умными» приборами учета, способными к диагностике и предотвращению влияния на измерительный процесс любых нежелательных факторов. С учетом этого, а также многочисленных очевидных достоинств ультразвуковых расходомеров и при высоком качестве их производства можно прогнозировать лидирующие позиции данных средств учета в любых сферах, где речь идет о проведении точных, стабильных и надежных измерений, что позволит сберечь огромные денежные средства, а экономиию энергоресурсов сделать действительно экономной.

Литература

1. Вельт И.Д. О метрологическом обеспечении расходомеров большого диаметра // Материалы XXII-й международной научно-практической конференции «Коммерческий учет энергоносителей», Санкт-Петербург, 2005. – С.111-118.
2. Шлихтинг Х. Пространственный пограничный слой. – М.: ИИЛ, 1965.– 742 с.
3. Dane H., Wilsack R. Upstream pipe wall roughness influence on ultrasonic flow measurement // AGA Operations Conference, Cleveland, 1999.

Сведения об авторах

Покрас С.И. – генеральный директор фирмы «СЕМПАЛ», к.т.н.

Покрас А.И. – директор фирмы «СЕМПАЛ», к.т.н.

Покрас И.С. – ведущий инженер фирмы «СЕМПАЛ», к.т.н.

Гришанова И.А. – ведущий инженер фирмы «СЕМПАЛ», к.т.н.

ООО «Фирма «СЕМПАЛ»: Украина, 03062, г. Киев,

ул.Кулибина, 3, Тел/факс: (+38 044) 239-21-97, 239-21-98

Интернет-сайт: www.sempal.com E-mail: info@sempal.com