

## УЛЬТРАЗВУКОВАЯ РАСХОДОМЕТРИЯ: ДОРОГАЯ ЭКЗОТИКА ИЛИ СОВРЕМЕННЫЙ МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ?

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

Сегодня для желающих купить и установить теплосчетчик существует большой выбор таких приборов, работающих на базе различных измерительных преобразователей расхода. Среди наиболее распространенных методов, позволяющих измерить расход или объем протекающей по трубопроводу жидкости (теплоносителя), выделяют электромагнитный, ультразвуковой, вихревой и скоростной (механические расходомеры),

На вопрос: «Какой метод лучше?» - однозначно ответить нельзя. В каждом конкретном случае либо потребитель, либо грамотный установщик должны сами оценить все достоинства и недостатки каждого из методов и сделать оптимальный выбор с учетом возможностей потребителя. Два последних типа приборов (вихревой и механический) прежде всего ориентированы на такого потребителя, который желает приобрести теплосчетчик по минимальной стоимости и для которого высокие метрологические характеристики в широком диапазоне измерений не принципиальны. Если же финансовые возможности заказчика позволяют, и речь идет о приобретении прибора с высокими метрологическими характеристиками в более широком диапазоне измерения, то ему часто предлагают теплосчетчики, построенные на базе электромагнитных преобразователей расхода. Остановимся на них более подробно.

Электромагнитные расходомеры в российских публикациях последних лет представляются как приборы, которые по сравнению с другими типами измерителей расхода имеют более высокие метрологические характеристики (погрешность  $\pm 1-2\%$ ) в чрезвычайно широком диапазоне измерения, достигающем 1:500 и даже 1:1000. В последнее время в Российской Федерации появились приборы с еще более широким диапазоном, намного превышающим уже и 1:1000. Межповерочный интервал приборов при этом составляет 3-4 года. Примечательно, что приборов с такими блестящими характеристиками (и такой сравнительно невысокой стоимостью) не производится более нигде в мире. Если бы они там были, то другие производители по всем законам рынка в течение года должны были бы просто обанкротиться. Наверное, лишь по счастливой случайности этого пока не произошло.

Однако, как показывают исследования известных российских специалистов [1-3], столь высокие характеристики электромагнитные теплосчетчики демонстрируют лишь после предварительных регулировок непосредственно в момент их первичного пролива при выпуске. В ходе же их последующей реальной многолетней эксплуатации в условиях теплосетей СНГ с загрязненным теплоносителем (металлические примеси, взвеси и пр.) эти характеристики не подтверждаются из-за отложения металлических частиц, накипи и шлама на внутренней поверхности электромагнитных расходомеров.

Так, например, в журнале «Энергосбережение» №5 за 2003г. (см. <http://www.abok.ru>) [1] помещена статья российских специалистов из ООО «Теплоучетсервис» при ГУП «Мосгортепло», посвященная эксплуатационным качествам электромагнитных теплосчетчиков, которые составляют основную массу установленных в г. Москве приборов. Предприятие «Теплоучетсервис», как следует из статьи, «имеет прекрасную экспериментальную базу и уникальный объем подлежащих проверке теплосчетчиков». Согласно приведенным данным, после завершения межповерочного срока эксплуатации из 2445 предварительно промытых (!) электромагнитных приборов, не прошли первоначальную поверку 40%, реальный динамический диапазон измерения расхода составляет всего лишь 1:25, а межповерочный интервал в 3 и более лет для указанных теплосчетчиков с учетом условий эксплуатации по мнению авторов указанной статьи является завышенным.

В работе [2] показано, что «лучшие зарубежные теплосчетчики, стоимость которых превосходит стоимость отечественных образцов в 2...3 раза, имеют пределы относительной погрешности  $\pm 2\%$  в диапазоне измерений расхода теплоносителя 1:100». В то же время, «подавляющее большинство отечественных производителей имеют пределы относительной погрешности  $\pm 2\%$  в диапазоне измерений расхода 1:200, более двух десятков теплосчетчиков, зарегистрированных в Реестре средств измерений, имеют указанные пределы погрешности в диапазоне измерений расхода 1:500 и даже 1:1000!» В результате автором сделан вывод о том, что «в России проведены довольно обширные исследования теплосчетчиков различных производителей, которые выявили вопиющее несоответствие их действительных эксплуатационных характеристик пределам, нормируемым в нормативно-технической документации (НТД). Результаты исследований не получили широкой огласки в силу отсутствия подлинной экономической целесообразности в получении объективной реальности у заинтересованных субъектов хозяйствования на данном рынке услуг». «Другими словами», - пишет московский автор, - «реалии настоящего времени таковы, что приборы учета превратились в весьма доходный бизнес, где в отсутствие эффективного контроля со стороны заинтересованных субъектов хозяйствования действуют весьма специфические законы, суть которых состоит в выпуске приборов по низкой цене с «великолепными» метрологическими характеристиками, зафиксированными в утвержденной нормативной документации».

Погрешности электромагнитных расходомеров также подробно рассмотрены и в работе [3]. В данной статье в результате скрупулезных расчетов убедительно доказано, что высокие точности и широкий диапазон, доходящий в современных электромагнитных приборах до 1:1000 и более, скорее рекламный ход производителей подобного оборудования, чем доказанный факт. Реальный же диапазон, в лучшем случае, в 5-10 раз меньше. Но самое главное то, что для практического теплоучета диапазон измерения, легко зашкаливающий за 1:1000, еще и абсолютно не нужен - разве что для прецизионного измерения микро- и миллирасходов (но это уже что-то из области космической техники).

Довольно серьезные недостатки электромагнитных приборов перечислены и в отчете Рабочей группы, занимавшейся выбором технических решений при реализации Постановления Правительства г. Москвы от 10.02.04 г.

№ 77-ПП об установке приборов теплового учета на жилые дома (см. <http://www.rosteplo.ru/NPRT/NPRT/delo.php>). В указанном отчете приведен детальный и, с нашей точки зрения, объективный анализ преимуществ и недостатков различных типов приборов. При этом для электромагнитных расходомеров указаны довольно существенные недостатки: «снижение точности измерения при налипании осадков на рабочие; дестабилизация показаний счетчика (смещение нуля, появление систематических погрешностей и др.) из-за блуждающих токов на трубопроводах; невозможность работы от автономного источника питания». Для ультразвуковых расходомеров упомянут всего лишь один недостаток: «необходимость длинных прямых участков до и после приборов для выравнивания однородности потока теплоносителя». Но ведь на практике эти «длинные» участки составляют всего лишь 50 ... 100 см! Трудно поверить, что в теплопунктах 99,9% объектов не найдется лишних 1,5 м для установки теплосчетчика с прямыми участками.

При этом в том же отчете отмечено: «За рубежом, в наиболее развитых европейских странах, получили достаточно широкое применение ультразвуковые приборы. Это связано с высоким качеством теплоносителя, внутренней поверхности труб, используемых в теплосетях и отказом от ЦТП». Вряд ли Украину можно отнести к «наиболее развитым европейским странам» с дистиллированным теплоносителем и полированными трубами, однако, в настоящее время по целому ряду украинских энергокомпаний производится установка преимущественно ультразвуковых тепловодосчетчиков.

Почему же, несмотря на все вышеприведенные факты, электромагнитные приборы все же получили столь широкое распространение на рынке Российской Федерации по сравнению, например, с ультразвуковыми?

Вероятно, изначальное предпочтение, которое отдается электромагнитным приборам в России, во многом объясняется чисто исторически - еще с советских времен и в России, и в Прибалтике существовали крупные заводы по производству приборов такого типа. Поэтому на рынках г. Москвы и г. Санкт-Петербурга по некоторым данным доля электромагнитных расходомеров на сегодня превышает 80%.

Вторая причина – в большей сложности производственных процессов при выпуске ультразвуковых приборов по сравнению с электромагнитными. Действительно, чтобы досконально отработать собственную технологию изготовления ультразвуковых расходомеров, предприятию приходится тратить 5-10 лет. Только в ультразвуковом датчике может насчитываться от 10 до 30 деталей, не говоря уже о двух сотнях электронных компонентов, необходимых для высококачественного приема, передачи и обработки сигналов. Малейшее отклонение техпроцессов от стандарта – и характеристики ультразвукового прибора перестают соответствовать заявляемым. Поэтому при производстве таких приборов очень важна высокая культура изготовления, а она нарабатывается годами и только при массовом выпуске такого оборудования.

Отсюда и третья причина настороженного отношения к ультразвуковым расходомерам – дискредитация этого метода самими производителями такого оборудования, выпускающими не совсем качественные приборы на рынок. Так, например, широкое применение относительно дешевых теплосчетчиков с накладными (или врезными) ультразвуковыми датчиками на объектах с большими диаметрами условного прохода часто приводит к значительным расхождениям («разъезжанию») измерительных каналов, необходимости «калибровки» такого теплосчетчика на месте эксплуатации и прочим манипуляциям с прибором. Если же после такой «калибровки» расход изменился и каналы опять «разъехались», то говорят, что виноват сварщик – не туда наложил (или врезал) датчики на ржавую неизмеренную изнутри трубу, или установщик при запуске ввел не тот коэффициент вязкости. Понятно, что все это дискредитирует саму идею ультразвуковой расходомерии в целом.

Таким образом, настороженное отношение к ультразвуку в России вероятно обусловлено отсутствием реально отвечающего современным техническим требованиям отечественного ультразвукового расходомера, который мог бы достойно конкурировать с отечественными же электромагнитными приборами, не говоря уже об ультразвуковых западноевропейских аналогах (как бы они кого-то не раздражали).

В Украине же, где с советских времен отсутствовали крупные производители электромагнитных приборов, количество ультразвуковых расходомеров всегда было высоким. Так, например, в АК «Киевэнерго» уже два года на жилые дома и объекты госсектора в подавляющем большинстве случаев устанавливаются ультразвуковые тепловодосчетчики (заметим, АК "Киевэнерго" – не небольшая «провинциальная», а 3-я в мире по величине энергопоставляющая компания после ОАО "Мосэнерго" и ОАО "Ленэнерго"). За последние 5 лет по АК "Киевэнерго" сохраняется устойчивая тенденция к увеличению доли ультразвуковых теплосчетчиков в общем количестве установленных приборов. Так, если в 1998 году доля ультразвуковых приборов, установленных на объектах АК "Киевэнерго", составляла 23%, то в 2003 году их количество впервые превысило 50%. При этом только фирма «СЕМПАЛ» (производитель ультразвуковых тепловодосчетчиков), занимающая первое место в г. Киеве по числу установленных приборов в течение последних 5 лет, имеет долю рынка 30%. Уже сейчас очевидно, что доля установленных в 2004 году ультразвуковых приборов в таком мегаполисе, как Киев, будет уже значительно превышать 50% от общего числа введенных в эксплуатацию приборов.

Причина такого состояния дел, отраженного в статистике, проста – в ходе многолетней практической эксплуатации тысяч теплосчетчиков различных типов на загрязненном теплоносителе г. Киева (что характерно и для большинства теплосетей СНГ) ультразвуковые приборы, не имеющие при первичном выпуске столь впечатляющих характеристик, как электромагнитные, тем не менее действительно более надежно сохраняют свои метрологические показатели на протяжении межповерочного интервала по сравнению с другими типами приборов.

Кстати, украинский «Укрметрестандарт» (бывший «УкрЦСМ» Госстандарта Украины), начиная с 2000 года, вообще присваивал всем приборам только 2-х летний межповерочный интервал (и в чем-то он был абсолютно прав – см. выше). Лишь в конце 2004 года под давлением зарубежных производителей теплосчетчиков, имеющих «у себя» межповерочные интервалы свыше 4-х лет (в том числе даже для некоторых типов зарубежных механических «вертушек»), появилась слабая надежда, что вслед за зарубежными и некоторым украинским производителям, уже

более 10 лет тысячами выпускающим конкурентоспособные ультразвуковые приборы, тоже когда-нибудь присвоят межповерочный интервал, превышающий 2 года.

Достаточно полное и объективное сравнение теплосчетчиков различных типов проведено в [4], где в таблице 4 аккумулированы данные по всем типам счетчиков. Важно то, что статья написана специалистом из ГП «Теплоэнергетический комплекс Санкт-Петербурга», а этот город является «родиной» и потребителем большинства типов приборов, разработанных в бывшем СССР. Если бы в таблице 5 этой статьи были приведены данные СВТУ-10М производства фирмы «СЕМПАЛ», то там было бы написано, что динамический диапазон этих приборов равен 100, а класс точности – 1. Это хоть и не особо впечатляющие, но реальные и достаточные для практической расходомерии величины.

Причина, по которой столько внимания в данной статье уделено именно электромагнитным приборам с выдающимися характеристиками, заключается в следующем. Традиционно в России стандартизация и метрология находятся на очень высоком уровне, а документы, разрабатываемые в Москве, во многом становятся примером для специалистов-метрологов из других стран СНГ. На самой последней конференции Укрметртестстандарта в июне 2004г. его ведущими представителями неоднократно подчеркивалась мысль о необходимости гармонизации (согласования) ГОСТов стран СНГ. Ведь несмотря на практически одинаковые условия работы оборудования, разница в нормативных документах действительно приводит к проблемам на этапе взаимного признания средств измерений и внесения их в Госреестры различных государств бывшего СССР.

Поэтому ситуация, когда *в любой из стран СНГ* появляются дешевые, законно внесенные в Госреестр теплосчетчики с фантастическими характеристиками, которые потом никак не подтверждаются при последующей многолетней эксплуатации, *уже не является внутренним вопросом отдельных стран*. Ведь такие приборы далее часто вносятся в Госреестры всех других стран СНГ, и ситуация автоматически распространяется сразу *на весь рынок СНГ*.

Что касается ультразвуковых приборов, то на сегодня это приборы, главным преимуществом которых является разумный компромисс между стоимостью и высокой точностью. У них очень малые потери давления, широкий диапазон измерения, высокие надежность и быстродействие.

Рассматривая более подробно процессы научной разработки, испытаний и последующего промышленного внедрения ультразвуковых приборов, можно обратиться к более чем 10-летнему опыту фирмы «СЕМПАЛ» (г. Киев, Украина). Опыт данного предприятия говорит о том, что при освоении серийного выпуска таких приборов важен комплексный подход – любые самые смелые научные идеи должны быть затем подтверждены в жестких условиях эксплуатации.

Основные особенности такого подхода заключаются в следующем.

Во-первых, применение компьютерного моделирования динамики жидкости в измерительном тракте с целью получения оптимального варианта конструкции расходомерного участка, поскольку именно этот элемент (вместе с датчиками расхода) во всех приборах является наиболее слабым звеном. Математическое моделирование распространения луча, наложенное на модель протекающей через прибор среды, дает возможность с высокой точностью прогнозировать показания расходомера. Таким образом, уже на стадии разработки можно предвидеть и по возможности устранить факторы, влияющие на точность измерений.

Во-вторых, 100%-ый тройной компьютерный контроль и тестирование всех узлов теплосчетчика на стадии производства с занесением в несколько компьютерных баз всей истории каждого прибора. К слову, такой полный «паспорт» прибора непрерывно ведется далее на протяжении всей его «жизни». Сегодня выпускаемый ультразвуковой тепловодосчитчик СВТУ-10М имеет минимальный срок службы 12 лет.

В-третьих, тщательный подбор элементной базы. Фирма «СЕМПАЛ» никогда не использует для производства теплосчетчиков ненадежные дешевые материалы и комплектующие, применяются только новейшие электронные компоненты выпуска текущего года.

В-четвертых, непрерывное совершенствование выпускаемой продукции. Так, только за последний год успешно завершены 3 серии государственных испытаний, направленные на дальнейшее улучшение функциональных и метрологических характеристик СВТУ-10М. В начале 2005 года планируется начало выпуска полностью обновленной 6-й версии тепловодосчетчика СВТУ-10М.

Особое внимание уделяется оптимальному проектированию новых конструкций, в частности, обтекателей ультразвуковых датчиков расхода при их осевом расположении в трубе, которое осуществляется на базе симбиоза численных методов гидродинамики и геометрической трассировки луча. Аналогичный подход ранее использовался при гидродинамических расчетах механических расходомеров и доказал свою эффективность [5].

В последнее время такая работа сосредоточена в области изучения влияния местных сопротивлений (колена, двойное колено, сужение, расширение) и пульсаций в потоке на погрешность ультразвуковых приборов. Упомянутые дестабилизирующие факторы, изучавшиеся в диапазоне чисел  $Re$  300-110000, увеличивают интенсивность турбулентности потока и уровень шумов в выходном сигнале. Предполагается, что выявление дестабилизирующих факторов, а значит и погрешностей измерения, далее зашитых в программу обработки сигнала, даст возможность проводить самодиагностику прибора и соответственно повысить точность измерения.

Благодаря особенностям конструкции, выравнивающим поле скоростей потока, решается проблема снижения гидродинамических погрешностей в нижней части диапазона, возникающих в области ламинарных и переходных режимов.

Исследуются эффекты влияния турбулентности на прохождение звуковых волн. При этом задействованы такие параметры, как ширина луча, интенсивность вихреобразования, скорость звука, а также угол распространения луча относительно оси потока.

Для того, чтобы расходомер обеспечивал высокие метрологические характеристики в ходе длительной эксплуатации, учитываются также и эффекты от изменения шероховатости труб. С этой целью была разработана

модель учета шероховатости на базе классической модели распределения скорости в трубе и модифицированного уравнения Колбрука и Уайта, которая далее накладывалась на модель распространения луча.

Благодаря всем вышеупомянутым исследованиям удалось выявить причины, влияющие на увеличение погрешности в начале диапазона измерения, разработать способы ее уменьшения, а также расширить диапазон измерения. Результат проделанной работы - новая 6-я версия ультразвукового тепловодосчетчика СВТУ-10М с динамическим диапазоном 1:100 и классом точности 1 по результатам Госиспытаний 2004г.

В заключение отметим, что авторы статьи ни в коем случае не выступают против каких-либо типов тепловодосчетчиков, кроме ультразвуковых. Мы считаем, что на рынке в равной мере должны быть представлены все типы приборов. Однако, относительное замалчивание реально существующих недостатков одних приборов и молчаливое игнорирование достоинств других – не самый лучший способ развития рынка приборов тепловодоучета.

## ВЫВОДЫ

1. Несмотря на массовое использование электромагнитных приборов, им свойственны и многочисленные недостатки, подробно и убедительно рассмотренные в статьях известных российских авторов [1-3]. Столь широкое применение таких приборов объясняется во многом лишь исторически сложившимся рынком производителей в России и не гарантирует сохранения заявляемых высоких метрологических характеристик на протяжении межповерочного интервала при работе на загрязненном теплоносителе, что характерно для всех стран СНГ.
2. Имея при первичном выпуске достаточно средние метрологические характеристики по сравнению с некоторыми электромагнитными приборами, ультразвуковые теплосчетчики при последующей многолетней эксплуатации более надежно их сохраняют.
3. Несколько более высокая стоимость ультразвуковых приборов окупается в перспективе, так как в случае их использования тепловодоучет производится более корректно на протяжении всего межповерочного интервала и потребителю не приходится менять прибор через 5-6 лет, снова оплачивая проектные и монтажные работы при его установке.
4. Опыт такого мегаполиса, как г. Киев, где с 2003 года доля устанавливаемых ультразвуковых теплосчетчиков впервые превысила 50%, а в 2004 году будет составлять уже подавляющую часть устанавливаемых приборов учета, убедительно показывает, что в условиях теплосетей СНГ с загрязненным теплоносителем ультразвуковые теплосчетчики представляют собой не дорогую экзотику, а являются современным массовым средством измерения.

### Литература.

1. Данилов Е.А., Бригаденко И.Н., Иванова Г.М., Парамонова Е.Ю. Хорош ли продолжительный межповерочный интервал теплосчетчиков при расширенном диапазоне измерения расхода// Энергосбережение. – 2003. – №5.
2. Милейковский Ю.С. Реальности коммерческого учета тепловой энергии и теплоносителя в России// размещено на сайте «Теплоункт» 11.10.04
3. Лупей А.Г. Расходомеры со сверхширокими диапазонами измерений: желаемое и действительное// Материалы 3 го Международного научно-практического форума двух конференций : 18-й – «Коммерческий учет энергоносителей» и 13-й – «Совершенствование измерений расхода жидкости, газа и пара» 2-4 декабря 2003. – Санкт-Петербург.-2003.- С. 375-390
4. Осипов Ю.Н. Рекомендации к выбору преобразователей расхода и их установке на трубопроводах узлов учета тепловой энергии. Труды 19й конференции «Коммерческий учет энергоносителей», г. Санкт-Петербург, апрель 2004г.
5. Gryshanova I., Korobko I. Research on developing propeller flowmeters with increased accuracy // Proceedings of HT/FED'04 ASME Heat Transfer/Fluids Engineering Summer Conference July 11-15, 2004. - Charlotte, North Carolina, USA.-2004.

### Сведения об авторах:

Гришанова И.А. – ведущий инженер фирмы «СЕМПАЛ», к.т.н.  
Покрас С.И. – генеральный директор фирмы «СЕМПАЛ», к.т.н.  
Покрас А.И. – директор 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, 442-24-90, 442-04-34, 442-32-93

E-mail: info@sempal.com

Интернет-сайт: www.sempal.com