

Выбор приборов учёта расхода воды.

В.И.Мясников, советник генерального директора ОАО «Завод «Водоприбор», заведующий лабораторией информационно-измерительных систем НИИ ВОДГЕО, кандидат технических наук.

Типы расходомеров (водосчетчиков) классифицируются в соответствии с реализованными в них физическими методами измерения расхода (объема) воды [1,2]. Тип теплосчетчиков определяется по типу применяемых в его составе расходомеров (водосчетчиков) и точность теплосчетчиков зависит в основном от точности входящих в их состав расходомеров.

Для учета холодной, горячей воды и тепловой энергии в зданиях на территории Российской Федерации в настоящее время применяются в основном приборы, реализующие четыре метода измерений: тахометрический, вихревой, ультразвуковой и электромагнитный [3].

Каждый из указанных типов приборов имеет свои достоинства и недостатки. При выборе типа прибора для оснащения зданий важно оценить все их положительные и отрицательные характеристики, чтобы избежать в дальнейшем недостоверных результатов измерений и финансовых потерь, как со стороны Поставщиков, так и со стороны Потребителей энергоресурсов.

Сразу следует отметить, что в России направление развития рынка приборов учета холодной, горячей воды и тепловой энергии в зданиях не соответствует современным тенденциям характерным для большинства экономически развитых стран.

Рассмотрим особенности применения различных типов приборов с учетом зарубежного опыта, который имеет в данной сфере более богатую историю.

Охарактеризуем принципы работы каждого типа приборов, применяемых для измерения расхода (объема) воды. При анализе будем принимать во внимание тот факт, что область применения приборов – обеспечение измерений холодной, горячей воды и тепловой энергии в зданиях для осуществления учетно-расчетных операций.

Погрешность водосчетчиков (расходомеров) во время их эксплуатации не должна превышать 2%, данная величина погрешности принята для водосчетчиков во многих странах, включая Россию. Исходя из многолетнего опыта исследований различных типов приборов, считаем, что погрешность измерения расхода (объема) воды 2% является наиболее реальной для жилищно-коммунального хозяйства. Нормирование погрешности водосчетчиков (расходомеров) в диапазоне 0,25-0,5% для данных условий эксплуатации носит скорее рекламный характер, хотя при стендовых испытаниях приборов такие погрешности достижимы.

При анализе характеристик приборов мы не будем принимать во внимание конструкции, реализующие методы измерения местной скорости потока, например ультразвуковые доплеровские, электромагнитные зондовые и другие. Для

рассматриваемой области применения приборы таких конструкций не обеспечивают желаемой точности измерения.

Тахометрические приборы – имеют принцип действия, основанный на измерении скорости (количества оборотов) тела вращения, находящегося в потоке измеряемой воды, измеренная скорость тела вращения пропорциональна скорости движения воды. Тахометрические счетчики имеют несколько классов, но для измерений в зданиях применяются два из них: турбинные и крыльчатые водосчетчики. В турбинных водосчетчиках телом вращения является турбинка, ось вращения которой расположена параллельно оси движения потока. В крыльчатых счетчиках телом вращения является крыльчатое колесо (крыльчатка), ось вращения которого расположена перпендикулярно оси движения потока. [1,2].

Вихревые приборы – имеют принцип действия, основанный на измерении частоты срыва вихрей с помещенного в поток плохобтекаемого тела. Частота срыва вихрей и возникающие при этом пульсации давления пропорциональны скорости измеряемого потока. Для измерения частоты срыва вихрей применяют магнитный, ультразвуковой и другие способы съема сигнала, что принципиально не сказывается на основных методических параметрах вихревых приборов, однако может оказывать существенное влияние на их эксплуатационные характеристики[1,4].

Ультразвуковые приборы - имеют принцип действия, основанный на использовании акустических сигналов ультразвукового диапазона, зондирующих измеряемый поток. Измеряемые в приборах с помощью ультразвука параметры пропорциональны скорости потока. Ультразвуковые приборы - одно из новых направлений в приборостроении, получившее интенсивное развитие в последние 30 лет, благодаря новым достижениям в области микропроцессорной электроники. Особенностью данного типа приборов является использование Производителями принципиально различных ультразвуковых методов и конструктивных решений, что приводит к существенным различиям эксплуатационных и метрологических характеристик ультразвуковых приборов, производимых разными фирмами. В основном на рынке присутствуют приборы, реализующие дифференциальный, доплеровский и корреляционный методы [2,5].

Электромагнитные приборы - имеют принцип действия, основанный на взаимодействии движущейся электропроводной жидкости с магнитным полем, подчиняющимся закону электромагнитной индукции. При движении электропроводящей жидкости в магнитном поле наводится Э.Д.С. Разность потенциалов, возникающая при этом на изолированных электродах, перпендикулярных направлению движения жидкости и направлению силовых линий магнитного поля, пропорциональна скорости движения жидкости [1,6]. Существуют разные методы создания магнитного поля, принципиально различные из них – это создание интегрального поля (поля действующего на все поперечное сечение потока жидкости) и локального магнитного поля (действующего в одной или нескольких локальных областях поперечного сечения потока).

Применение приборов с локальным магнитным полем менее эффективно, чем приборов с интегральным магнитным полем, вследствие более высокой точности последних, поэтому мы не будем рассматривать в дальнейшем конструкции с локальным полем.

Основные достоинства и недостатки различных типов приборов приведены в таблице 1.

Таблица 1

Тип прибора	Достоинства	Недостатки	Требуемые длины прямого участка трубопровода для установки прибора	Диапазон измерения при погрешности не более 2%, $V_{\max}$ (8...10м/с)
Тахометрический	- относительная деше-визна; - автономность (не требуют внешнего питания); - стабильность показаний; - простота монтажа и обслуживания.	- высокая чувствительность к механическим примесям в воде и отложениям на проточной части прибора, в частности отложениям соединений железа; - плохая чувствительность на малых расходах; - наличие выступающих в поток движущихся деталей подверженных износу; - для ведения архивов и подключения к АСКУЭ требуется дополнительный электронный блок.	3-5Ду до 2-3Ду после	Турбинный 1:20-1:150 Крыльчатый 1:10- 1:25
Вихревой	- дешевизна при относительной простоте конструкции; - низкое энергопотребление (работа от автономных источников); - отсутствие подвижных деталей.	- требуют больших прямолинейных участков трубопровода; - плохая чувствительность на малых расходах, относительно небольшой рабочий диапазон; - наличие перекрывающих поток деталей; - повышенная чувствительность к	10-50Ду до 5Ду после	1:30-1:100

		вибрации.		
Тип прибора	Достоинства	Недостатки	Требуемые длины прямого участка трубопро-вода для установки прибора	Диапазон измерения при погрешности не более 2% V_{max} (8...10м/с)
Ультразвуковой	Ллл - - слабая зависимость от отложений на проточной части, в частности магнетита (конструкции без отражателей); - низкое энергопотребление (работа от автономных источников); - точность в широком диапазоне - отсутствие выступающих в поток деталей (за исключением конструкций с отражателями); - высокая чувствительность на малых расхода.	- - - чувствительность отдельных однолучевых конструкций к неравно-мерности поля скорос-тей измеряемого потока; - чувствительность преобразователей с отражателями к образо-ванию отложений на отражающих ультразвуком поверхностях.	-многолучевые, однолучевые осевые и с формирователем потока: 5-10Ду до 2-5 Ду после - однолучевые с диаметральной каналом: 10-50 Ду до 5 Ду после	1:50-1:150
Электромагнитный	- точность в широком диапазоне измерения; - низкая чувствительность к неравномерности поля скоростей измеряемого потока; - отсутствие выступающих в поток деталей; - высокая чувствительность на малых расхода.	- высокая чувстви-тельность к незначи-тельным отложениям на проточной части диэлектрических и токопроводящих осад-ков, в особенности магнетита; - чувствительность к внешним электро-магнитным полям и блуждающим токам; - высокое энергопотреб-ление.	5Ду до 2-3 Ду после	1:100-1:200

При анализе различных типов приборов принимались во внимание характеристики общие для всех проборов рассматриваемого типа. Мы не рассматривали и не принимали во внимание нереальные характеристики

отдельных производителей. Одним из критериев оценки являлись параметры, декларируемые для приборов, продаваемых на рынке Западной Европы крупными производителями. Эти приборы, как правило, получили оценку авторитетной немецкой организации РТВ. Следует отметить, что некоторых приборы иностранных производителей при пересечении российской границы резко улучшают свои характеристики, к этому мы относились критически.

Российский рынок приборов для коммунального хозяйства стремительно развивается, однако паспортные характеристики приборов часто носят рекламный, но никак не реальный характер [3,7]. В борьбе за место под солнцем отдельные отечественные производители выдают свои ничем не подкрепленные фантазии за фактические характеристики приборов. Словом Потребитель хочет сказку, и он получает ее в красивой упаковке, с паспортом, совсем недорого. Потребителя не удивляет недорогой «сверхточный, широкодиапазонный, универсальный расходомер», хотя любой Специалист в данной области понимает, что это взаимоисключающие друг друга понятия.

Проводя испытания различных типов приборов и анализируя приборный рынок, с конца 90-х мы обращаем внимание на то, что отдельные производители завышают основные показатели своих приборов. Это касается в первую очередь точности измерения, диапазона измерения и длин прямых участков трубопроводов, требующихся для установки расходомеров (водосчетчиков).

Чтобы оценить перспективность того или иного типа приборов для рассматриваемого сегмента рынка, подробнее рассмотрим характеристики приборов, приведенные выше в таблице 1, и проанализируем их достоинства и недостатки.

Сразу отметим, что имеются проблемы общие для каждого из рассматриваемых типов приборов. Существенное зарастание внутреннего сечения расходомера (водосчетчика), приводит к увеличению погрешности любого из рассматриваемых типов приборов. Объясняется это тем, что принцип действия приборов основан на измерении скорости потока. Значение расхода мы получаем, умножая измеренную площадь на градуировочный коэффициент, который содержит в себе величину площади поперечного сечения расходомера. Потому при изменении площади, вследствие образования отложений, пропорционально растет погрешность измерения расхода. Для замедления процессов образования отложений на проточной части водосчетчиков (расходомеров) следует применять приборы, первичные преобразователи которых изготовлены из некорродирующих материалов или имеют коррозионностойкие покрытия.

Второй фактор, оказывающий отрицательное воздействие на все типы рассматриваемых приборов – содержание в измеряемой воде нерастворенных газов. Ни один из приборов не определяет их концентрацию в воде, поэтому погрешность измерения может возрасти как минимум на процентное содержание нерастворенного газа в измеряемой воде, но как показывает опыт на самом деле погрешность измерения еще выше [8]. Дополнительная погрешность в данном случае обусловлена неадекватности восприятия скорости воздушных и водо-воздушных потоков датчиками приборов. При наличии нерастворенного воздуха в воде нельзя обеспечить измерения расхода и объема с нормированной

точностью. Тахометрические счетчики, например, работают (измеряют объем) независимо оттого, что движется по трубе вода или воздух.

Тахометрические приборы - самый распространенный до последнего времени тип водосчетчиков. Эти приборы выпускаются более 100 лет, конструкция их очень хорошо отработана. Главное достоинство – дешевизна, простота установки и обслуживания. Основные недостатки общеизвестны: износ подвижных деталей, чувствительность к отложениям соединений железа. Приборы требуют установки магнитомеханических фильтров, которые полностью не позволяют защитить тахометрические счетчики. В результате уже через полгода турбинные водосчетчики начинают занижать показания. В среднем за 5-6 лет эксплуатации погрешность может возрасти в среднем до 5-8%. Также подвержены существенному ухудшению точности в процессе эксплуатации крыльчатые водосчетчики [9].

Тахометрические водосчетчики имеют плохую чувствительность на малых расходах, причем в процессе эксплуатации чувствительность водосчетчиков снижается, что приводит к увеличению погрешности учета потребления холодной и горячей воды в ночное время. Применение более чувствительных на малых расходах водосчетчиков класса С, как правило малоэффективно, так как эти счетчики теряют свое преимущество при образовании отложений на их проточной части. Водосчетчики класса С более чувствительны к отложениям, чем счетчики класса В.

В зарубежной практике в качестве альтернативы тахометрическим счетчикам в последнее время находят применение ультразвуковые приборы. Для домашнего учета их производят Sensus, Kamstrup, Hydrometer, Siemens. Эти фирмы, имеющие авторитет на мировом рынке и известные как производители тахометрических приборов, продвигают в настоящее время приборы ультразвукового типа, как продукцию передовых технологий.

Отметим, что на российском рынке для измерения холодной воды в трубопроводах Ду 15-32 мм и горячей воды в трубопроводах Ду 15-20мм, в ближайшее время, скорее всего, не будет альтернативы тахометрическим счетчикам, так как эти приборы имеют очень низкую стоимость. В то же время отметим, что такие фирмы как Kamstrup, Hydrometer уже выпускают ультразвуковые квартирные водосчетчики и теплосчетчики.

Укажем еще одну из причин вытеснения тахометрических приборов с рынка. Современное развитие электроники позволяет полностью автоматизировать процессы измерений, сбора информации о потреблении энергоносителей, передачи ее в диспетчерские и биллинговые системы. Для применения в таких системах тахометрических приборов требуется интегрирование механических устройств этих приборов с электроникой, что лишает тахометрические приборы таких преимуществ как дешевизна, простота монтажа и эксплуатации.

Вихревые приборы – имеют простую конструкцию проточной части, относительно дешевы. Главные недостатки этого типа приборов - низкая чувствительность на малых расходах и зависимость точности измерений от неравномерности поля скоростей измеряемого потока жидкости. Учитывая, что некоторые отечественные производители замалчивают вышеназванные недостатки, приведем в качестве аргумента характеристики вихревого

расходомера известной зарубежной фирмы Endress+Hauser из каталога, изданного на английском языке, без учета «специфики российского рынка».

Погрешность вихревого расходомера фирма Endress+Hauser задает в зависимости от числа Рейнольдса[10], что с позиции гидродинамики закономерно, так как устойчивый процесс срыва вихрей наступает при числах Рейнольдса больших некоторого порогового значения.

Используя данные Endress+Hauser, представим в более понятной для Потребителя форме параметры вихревых расходомеров (водосчетчиков) для типоразмеров, используемых при измерениях в зданиях.

Таблица 2

Условный диаметр, Ду, мм	25	32	40	50	80	100
Минимальный расход при погрешности не более 2%, м ³ /час	0,5	0,7	0,9	1,1	1,8	2,1
Максимальный диапазон измерения при погрешности не более чем 2%	30	40	45	60	95	100
Порог устойчивой работы, м ³ /час	0,3	0,4	0,5	0,6	1,0	1,2

Проанализировав данную таблицу, мы видим, что даже характеристики вихревых расходомеров, признанного мирового лидера, уступают практически всем из рассматриваемых типов приборов.

Теперь рассмотрим требования к длинам прямых участков Производители, реализующие вихревые приборы на российском рынке, обычно декларируют длину прямого участка до преобразователя расхода – 10Ду, после 3-5Ду. С точки зрения анализа гидродинамики вихревых приборов, такие показатели вызывают сомнение. Вихревые расходомеры измеряют скорость потока в зоне, расположенной вдоль диаметра трубы, данная скорость не является средней скоростью потока, а поле скоростей потока в данной области чувствительно к воздействию различных местных сопротивлений (отводов, тройников и пр.).

Приведем данные по прямым участкам трубопроводов, которые декларирует для вихревых приборов фирма Endress+Hauser [10].

Таблица3

Тип местного сопротивления	Длина прямого участка трубопровода до прибора	Длина прямого участка трубопровода после прибора
Конфузор	15Ду	5Ду
Диффузор	18Ду	5Ду
Колено (отвод 90°)	20Ду	5Ду
Два колена в одной плоскости	25Ду	5Ду

Два колена в разных плоскостях	40Ду	5Ду
Затвор, задвижка	50Ду	5Ду
Струевыпрямитель (2Ду до струевыпрямителя и 8 после)	10Ду	5Ду
Два и более местных сопротивлений, не указанных в таблице выше	50Ду	5Ду

Таким образом, мы видим, что для обеспечения нормированной точности вихревых приборов, на практике для их установки требуется прямой участок трубопровода длиной 55Ду или же 10Ду, но при установке струевыпрямителя. Стендовые исследования вихревых приборов подтверждают вышесказанное [11].

Следует отметить некоторые конструктивные особенности вихревых расходомеров, проявляющиеся в процессе эксплуатации. Вихревые приборы с магнитной системой съема сигнала чувствительности к магнетиту. Приборы с ультразвуковой системой съема сигнала могут неустойчиво работать при высоких скоростях потока и низком давлении в трубопроводе.

На зарубежном рынке вихревые расходомеры в жилищно-коммунальной сфере не находят применения, в силу таких недостатков, как плохая чувствительность на малых расходах и усложнение монтажа за счет требования больших прямых участков трубопроводов для их установки, эти приборы используются в первую очередь при измерениях пара, а также различных газов, там где применение других типов приборов затруднено [9].

Ультразвуковые и электромагнитные приборы – наиболее современные средства измерения, масштабное производство этих приборов стало возможным благодаря интенсивному развитию микропроцессорной техники, совершенствованию характеристик и снижению стоимости электронных компонентов. Электромагнитные и ультразвуковые приборы имеют широкий диапазон измерения, они легко интегрируются в автоматизированные системы.

Общим достоинством этих приборов является отсутствие выступающих в измеряемый поток деталей. Принципы действия электромагнитных и ультразвуковых приборов основаны на использовании свойств соответственно электромагнитных и акустических полей. Одним из критериев оценки чувствительности и того и другого типа приборов является отношение «шум/полезный сигнал». Задачей разработчиков является снизить данный показатель, а также добиться эффективного интегрирования поля скоростей контролируемого потока жидкости.

Электромагнитные приборы имеют различные конструктивные решения формирования магнитного поля, основная цель, к которой стремятся при формировании магнитного поля – добиться его равномерности. От равномерности магнитного поля и соотношения «шум/полезный сигнал» зависит точность приборов и диапазон измерения.

В конце 90-х на российском рынке стали появляться электромагнитные приборы с диапазоном измерения 1:500, затем 1:1000 и даже 1:2000. Под лозунгами, на которых начертаны данные цифры, началось покорение российского рынка. Специалисты в области расходомерии недоумевали, Потребители, в большей части, воспринимали эти цифры с воодушевлением. Одним из первых публично

обратил внимание на нереальность широкого диапазона электромагнитных водосчетчиков специалист «Ленэнерго» в 2003г.[12]. В данной статье анализируются погрешности электромагнитных приборов, которые в процессе эксплуатации могут достигать 50-60%. В качестве причины таких погрешностей рассматривается образование небольших отложений в виде пленки, замыкающей электроды [12 ,стр.388].

Миф о высокой точности электромагнитных приборов в широком диапазоне окончательно был развеян в 2009 году специалистом фирмы Взлет, которая является одним из производителей этих приборов [13]. В статье достаточно грамотно изложены, в общем-то, известные факты, суть которых – обоснование нереальности декларируемых производителями электромагнитных расходомеров характеристик. Таким образом, в течение десяти лет многие Производители электромагнитных приборов вводят в заблуждение

Потребителей, выигрывают тендеры и поставляют приборы, декларируя характеристики, которые невозможно обеспечить в условиях эксплуатации данных приборов на объектах ЖКХ.

В зарубежной практике электромагнитные расходомеры широко используются в пищевой, фармацевтической, химической целлюлозно-бумажной промышленности, но не находят широкого применения в жилищно-коммунальном секторе. На российском рынке ситуация иная, попробуем проанализировать с чем это связано.

Давно известно, что на точность электромагнитных расходомеров влияют даже тонкие отложения на проточной части преобразователя [1,8,12, 14].

При образовании в процессе эксплуатации, пленки шунтирующей электроды, электромагнитный прибор начинает занижать показания. Данный факт легко обнаруживается на объектах, где установлены электромагнитные расходомеры на прямом и обратном трубопроводах закрытой системы, когда скорость образования отложений в этих трубопроводах различна. В подобных случаях в динамике фиксируется рост расхождения показаний между приборами на прямом и обратном трубопроводах. Разность показаний достигает -15% и более [15], в то время как, она не должна превышать 4%. Чтобы скрыть расхождения в показаниях приборов некоторые фирмы стали встраивать специальные программы, которые корректируют результаты измерений, прежде чем зафиксировать их в счетчиках и в архивах [16], что, безусловно, недопустимо.

Следует отметить, что рассмотренное выше явление встречается нередко, но его нельзя признать массовым. Как правило, образование пленки идет равномерно на прямом и обратном трубопроводах и занижение показаний приборов происходит синхронно, поэтому фиксировать данный процесс сложно. Обнаруживается занижение показаний при поверке, если не проводить предварительной очистки и промывки электромагнитных преобразователей. Результаты проверки двух с половиной тысяч электромагнитных приборов после трех лет эксплуатации показали, что даже после отмывки отложений, 40% счетчиков не обеспечивают нормированной погрешности измерения [17]. Некоторые Производители электромагнитных приборов утверждают, что отложения в российских трубопроводах, в отличие от отложений в западноевропейских - особенные, они

не замыкают электроды приборов, не отлагаются на фторопластовом покрытии, да и магнетита в наших системах нет.

Известно, что при эксплуатации систем водоснабжения и теплоснабжения идут процессы коррозии стальных и чугунных трубопроводов. Образующиеся оксиды железа состоят из трех гидратированных окислов: FeO , Fe_2O_3 и Fe_3O_4 , последний из них – магнетит [18]. Магнетит имеет черный цвет, его процентное содержание различно в разных случаях, микрочастицы окислов железа могут иметь ядро из магнетита, окруженное FeO и Fe_2O_3 . Такие частицы в больших количествах задерживаются фильтрами с магнитными улавливателями даже на холодной воде, но, как известно, при повышении температуры воды равновесие смещается в сторону образования магнетита [19]. В европейских системах магнетита может быть меньше чем в российских системах за счет более качественной водоподготовки. Несмотря на это, европейские производители приборов рассматривают магнетит как существенный фактор, оказывающий влияние на точность как электромагнитных, так и тахометрических приборов и, в последнее время, предлагают в качестве альтернативы ультразвуковые приборы [20]. Важно отметить, что на работоспособность электромагнитных приборов воздействует не только магнетит, влияющий на магнитное поле генерируемое прибором, но и любые другие отложения, изменяющие проводимость между электродами преобразователя. Что касается химического состава отложений, приведем в качестве примера результаты исследований пробы, взятой с фторопластового покрытия электромагнитного преобразователя, установленного в системе

теплоснабжения здания одного из российских городов. Толщина отложений не превышала 0,1-0,3мм, цвет отложений - черный с вкраплениями красно-коричневого. С помощью спектрального анализа установлено следующее содержание химических элементов в пробе: Fe (железо) – 50%, O (кислород) – 32%, C (углерод) - 10%. Следует отметить, что при измерении горячей воды образование отложений на проточной части приборов идет интенсивнее, чем в системах отопления. Это вполне закономерно, так как системы горячего водоснабжения постоянно подпитываются обогащенной кислородом, не обессоленной водопроводной водой.

Выполняя исследования водосчетчиков, мы обратили внимание, что при длительном контакте с воздухом отложения, образовавшиеся на проточной части приборов в процессе эксплуатации, изменяют свою структуру, становятся более рыхлыми. При проведении стендовых испытаний после просушки проточной части отложения частично смываются. Поэтому оценить реальное воздействие отложений на погрешность прибора можно только на объекте, установив последовательно с прибором, находящимся на длительной эксплуатации новый прибор или проводить длительные испытания последовательно установленных приборов разного типа.

Результаты испытаний в условиях эксплуатации электромагнитного и ультразвукового расходомеров в Германии показали, что электромагнитный расходомер через три года эксплуатации занижал показания на 20% , а ультразвуковой менее чем на 1% [9]. Следует отметить, что Западная Европа прошла определенный эволюционный путь от тахометрических счетчиков к электромагнитным и затем к ультразвуковым. Пик применения электромагнитных расходомеров в коммунальном секторе Западной Европы приходится на середину 80-х прошлого века их доля составляла

тогда около 40%. Затем ситуация стала изменяться. Например, в датских системах теплоснабжения к началу 90-х доля ультразвуковых приборов составила 80%, а доля электромагнитных упала с 40% до 12% [9]. В настоящее время в Западной Европе преобладают ультразвуковые счетчики. Причина в том, что точность измерений потребления воды и тепловой энергии на коммунальных объектах при использовании ультразвуковых счетчиков выше, чем при использовании электромагнитных, вследствие влияния на точность электромагнитных счетчиков различных отложений. В настоящее время ультразвуковые теплосчетчики и водосчетчики производят такие зарубежные формы как Sensus, Hydrometer, Techem, Siemens, Kamstrup. Фирма Kamstrup в 2009-2010 годах реализует в двух европейских городах крупнейший проект, который предполагает использование ультразвуковых приборов при учете воды и тепловой энергии на нескольких тысячах объектов.

В Украине, также как и в европейских странах, ультразвуковые приборы находят широкое применение. В Киеве уже в 2003 году доля ультразвуковых приборов превышала 50% [21].

Еще один существенный недостаток электромагнитных приборов – жесткие требования к качественному заземлению, что связано с высокой чувствительностью этих приборов к блуждающим токам и внешним электромагнитным полям [1], плохое заземление, или окисление контактов системы заземления приводят к ухудшению метрологических характеристик приборов.

Итак, назовем основные причины доминирования электромагнитных приборов на рынке России:

- высокая точность электромагнитных приборов в стендовых условиях и нетребовательность их к прямым участкам, что ввело в заблуждение, в свое время, даже опытных западноевропейских производителей;
- отсутствие на рынке в 90-е годы недорогих ультразвуковых приборов приемлемого качества способных создать конкуренцию;
- более простая и относительно недорогая в производстве конструкция электромагнитных приборов;
- мощная реклама и замалчивание информации о значительном ухудшении характеристик электромагнитных приборов в период эксплуатации [22].

Ультразвуковые приборы на российском рынке представлены несколькими отечественными и зарубежными производителями.

Проанализируем их основные характеристики и особенности применения для измерения объема воды и тепловой энергии в зданиях. Как отмечалось ранее, одна из особенностей российского рынка ультразвуковых приборов – использование Производителями принципиально разных конструктивных и методических решений, что существенно отражается на метрологических и эксплуатационных характеристиках приборов разных Производителей. В основном применяется три ультразвуковых метода измерения: дифференциальный, корреляционный и доплеровский.

Приборы, реализующие доплеровский и корреляционный методы не обладают высокой точностью, они требуют больших прямолинейных участков трубопроводов: от 35Ду до 85Ду - доплеровские, от 15Ду до 55Ду - корреляционные. Достоинство данных приборов – измерение неоднородных по составу потоков. Промышленные образцы доплеровских и корреляционных расходомеров появились за рубежом более 30 лет назад, но они не находят применения в сфере коммунального хозяйства вследствие указанных выше недостатков.

Широкое распространение получил ультразвуковой дифференциальный метод, основанный на измерении разности времен прохождения ультразвуковых сигналов по потоку и против потока движущейся жидкости. Измеренная разность времен прохождения ультразвуковых сигналов пропорциональна скорости контролируемого потока. В зависимости от аппаратной реализации дифференциального метода различают три способа измерения разности времен прохождения ультразвуковых сигналов: временной, фазовый и частотный [5]. Все три указанных способа находят применение, но наибольшее распространение получил временной способ.

Приборы, реализующие дифференциальный метод, имеют различные конструкции первичного преобразователя. Данный тип приборов, при правильно выбранной конструкции, не чувствителен к загрязнению воды. Ультразвуковые приборы успешно эксплуатируются на неочищенной воде из водоемов и даже на сточной жидкости.

Конструкция первичного преобразователя во многом определяет метрологические и эксплуатационные характеристики ультразвукового прибора.

Для трубопроводов диаметром 15-40мм применяются осевые первичные преобразователи, акустические сигналы в данной конструкции распространяются вдоль оси движения потока. Различают осевые преобразователи без отражателей и с отражателями. Конструкция без отражателей обеспечивает распространение ультразвуковых сигналов непосредственно между двумя ультразвуковыми датчиками. В конструкции с отражателями ультразвуковые сигналы распространяются по более сложной траектории, причем, как правило, оси акустических преобразователей несоосны с осью активной части акустического канала. Конструкции с отражателями применяются в основном с целью снижения себестоимости производства приборов.

Отражатели частично перекрывают поток и приводят к ослаблению ультразвуковых сигналов, образование отложений на отражателях ультразвуковых сигналов приводит к снижению точности измерений. Приборы с отражателями, по данным фирмы Danfoss [20], чувствительны к качеству воды и поэтому менее надежны. Эффективность очистки ультразвуком датчиков выше, чем эффективность очистки отражателей. На отражателях происходит искажение фронта ультразвукового сигнала [23], при образовании отложений на отражателях данный процесс усиливается, что ведет к увеличению погрешности измерений.

Для российского рынка наиболее подходят ультразвуковые приборы без отражателей, данная конструкция первичного преобразователя не имеет выступающих в поток деталей и обеспечивает более высокую надежность измерений при наличии загрязнений в воде.

Ультразвуковые приборы с осевыми преобразователями, как правило, не требуют больших прямых участков, для установки преобразователя необходим прямой участок 3-5 Ду до места установки и 3Ду – после.

Для трубопроводов диаметром 50-100мм применяются ультразвуковые преобразователи следующих конструкций:

- с одним ультразвуковым лучом, зондирующим измеряемый поток по диаметру;
- с одним лучом, зондирующим измеряемый поток по трем хордам;
- с двумя лучами, расположенными по двум хордам;
- с формирователем потока и одним или двумя лучами.

Общий принцип работы вышеуказанных конструкций в зондировании потока ультразвуковыми сигналами под углом к оси движения жидкости.

Ультразвуковые расходомеры с одним ультразвуковым лучом, зондирующим измеряемый поток по диаметру, наиболее простая и широко распространенная на российском рынке конструкция.

Суть метода в измерении разности времен прохождения ультразвукового сигнала по потоку и против потока в диаметральной плоскости под углом к оси преобразователя.

Декларируя погрешность этих приборов и требующиеся для их установки прямые участки трубопровода, некоторые Производители вводят Потребителей в заблуждение. Для приборов данного типа требуются большие прямые участки трубопровода, как и для вихревых приборов, от 20Ду до 55Ду (см. таблицу 3), именно такие прямые участки указывались в документации на все приборы данной конструкции 15 лет назад. Но чего не сделаешь для Потребителя, чтобы заинтересовать его своим прибором, ну а возросшую погрешность прибора он авось не обнаружит.

Нормированная погрешность прибора рассматриваемой конструкции отдельными Производителями необоснованно занижается до 0,5-1,5%, реальное значение – 2-3% при условии соблюдения указанных выше длин прямых участков трубопровода. Причины низкой точности давно известны – зависимость показаний приборов данной конструкции от числа Рейнольдса и шероховатости стенок трубопровода [24]. Попытки некоторых Производителей скомпенсировать эту зависимость ничего общего с метрологией не имеют, так как определение эквивалентной гидравлической шероховатости трубопровода дело сложное и дорогое, а использование расчетных значений напоминает «гадание на кофейной гуще».

За рубежом данная конструкция прибора в последнее время не вызывает интерес, за исключением ультразвуковых расходомеров с накладными датчиками. Известно, что ультразвуковые приборы с накладными датчиками не обеспечивают высокой точности измерения [25]. Декларируемые в документации некоторых Поставщиков этих приборов погрешности 0,5-1%, далеки от действительных значений, которые на самом деле находятся в диапазоне 2-5%. Область применения ультразвуковых приборов с накладными датчиками –

технологические экспресс измерения. Эти приборы непригодны, с учетом рассмотренных выше недостатков, при измерениях для расчетных операций.

Суть работы ультразвукового прибора с одним лучом, зондирующим измеряемый поток по трем хордам – увеличение области акустического поля и смещение траектории луча в область средних скоростей с распространением ультразвуковых колебаний по трем хордам, проекция которых на поперечное сечение образует треугольник [23]. Сложная траектория распространения ультразвуковых колебаний в данной конструкции обеспечивается с помощью четырех отражателей. Поэтому прибор имеет все недостатки, характерные для приборов с отражателями, описанные выше. Кроме того, данная конструкция очень чувствительна к закрутке потока. Производители, зная данный эффект, предлагают устанавливать струевыпрямители или обеспечивать прямой участок перед преобразователем не менее 20Ду. Однако, как известно, закрутка потока может сохраняться и на участках 30-50Ду. Дополнительная погрешность измерения при наличии закрутки потока в створе установки преобразователя прибора может достигать 5-10%.

Для измерения воды и тепловой энергии в трубопроводах зданий диаметром 50-100мм наиболее целесообразно применять ультразвуковые преобразователи с формирователем потока и двухлучевые преобразователи с измерением скорости потока по двум хордам. Эти приборы обеспечивают точность измерения не хуже 2%, в широком диапазоне расходов. Прямые участки трубопровода перед створом установки данных приборов не превышают 5-10Ду, поэтому установка их в подвалах зданий не вызывает проблем. Приборы не чувствительны к повышенному содержанию железа и других веществ в измеряемой воде, не требуют установки фильтров. В конструкциях преобразователей этих приборов нет выступающих в поток деталей и отражателей. Приборы могут работать как от сетевых, так и от автономных источников питания.

В заключение остановимся на некоторых общих условиях при организации измерения воды и тепловой энергии в зданиях.

- Следует иметь в виду, что монтаж приборов должен производиться в строгом соответствии с техническими требованиями Производителя, только в этом случае может быть достигнута нормированная точность измерения. При выполнении монтажа необходимо обеспечивать соосность преобразователя расхода и трубопровода, так как отклонение от соосности ведет к существенному увеличению погрешности измерения. Для обеспечения соосности следует применять преобразователи расхода с муфтовым и фланцевым типами подсоединения. К существенным погрешностям измерения до 20% и более может привести выступающая в поток перед водосчетчиком уплотнительная прокладка.
- Вероятность ошибки при косвенной поверке водосчетчиков (расходомеров) небольшого диаметра существенно возрастает, поэтому поверять приборы, устанавливаемые в зданиях, следует проливным методом.
- Приборы с сетевым электропитанием следует подключать с применением встроенных или внешних сетевых фильтров, что повышает надежность работы приборов. Внешние сетевые фильтры имеют определенное преимущество: выход из строя фильтра при броске тока, как правило,

позволяет сохранить работоспособность измерительной техники, в этом случае не потребуется ее дорогостоящий ремонт и поверка.

- При наличии в здании нескольких контуров учета тепловой энергии целесообразно на каждом контуре использовать отдельный теплосчетчик. Данный теплосчетчик должен иметь паспорт, выписанный Производителем, и не требовать каких-то дополнительных настроек после выпуска из производства. Именно такой подход практикуется во всем мире [22]. Опыт показывает, что удорожание приборов при этом не превышает 1-2% от стоимости всей системы, но мы получаем ряд преимуществ:
 1. уменьшается длина сигнальных кабелей;
 2. повышается надежность системы за счет упрощения;
 3. сокращается объем потерянной информации при выходе из строя тепловычислителя;
 4. упрощается контроль за системой и снижается вероятность несанкционированного вмешательства.

ВЫВОДЫ

1. Выбор приборов для измерения холодной горячей воды и тепловой энергии в зданиях – это ответственный шаг. Недостоверность измерения потребляемых энергоресурсов может приводить, как к дополнительным финансовым издержкам населения, так и к серьезным убыткам ресурсоснабжающих компаний.
2. При выборе приборов, из числа представленных на российском рынке, не следует доверять рекламе. Ряд Производителей и Дилеров искажают информацию, как о точности приборов, так и об области их возможного применения. Выбирая приборы, следует принимать во внимания обширный зарубежный опыт с учетом специфики российских коммунальных систем.
3. Получившие в последнее время распространение на российском рынке электромагнитные приборы обладают повышенной чувствительностью даже к незначительным отложениям на их проточной части. Что может приводить в процессе эксплуатации к росту погрешности электромагнитных приборов до 10-15% и более.
4. Для измерения холодной, горячей воды и тепловой энергии в зданиях наиболее эффективны ультразвуковые счетчики. Сбыт этих приборов в экономически развитых странах в последние два десятилетия имеет наибольший рост, причем ультразвуковые приборы практически полностью, вытеснили из коммунального сектора рынка электромагнитные теплосчетчики и водосчетчики.
5. Ультразвуковые водосчетчики и теплосчетчики имеют различные конструкции. Не все ультразвуковые приборы подходят для измерения воды и тепловой энергии в зданиях, так как они имеют различную точность и надежность. Конструкции с отражателями чувствительны к отложениям на проточной части, полнопроходные приборы с диаметральной расположением луча не обладают достаточной точностью и требуют больших прямых участков трубопровода, однолучевые ультразвуковые приборы с преломлением луча по трем хордам чувствительны к закрутке потока.
6. Наиболее эффективны для измерения воды и тепловой энергии в зданиях ультразвуковые счетчики осевого типа без отражателей, двухлучевые с расположением лучей по двум параллельным хордам, одно- и двухлучевые с формирователем потока.

7. При наличии в здании нескольких контуров учета тепловой энергии на каждом контуре целесообразно применять отдельный, простейший тепловычислитель, что повышает надежность системы учета в целом, сокращает затраты на кабельные линии, упрощает процесс контроля за возможными несанкционированными вмешательствами в систему измерения. Удорожание приборов при этом не превышает 1-2% от стоимости системы в целом, что быстро окупается при монтаже и эксплуатации узлов учета.
8. При выборе приборов для измерений энергоресурсов в зданиях следует ориентироваться на исполнения, которые легко интегрируются в автоматизированные системы сбора данных. Учитывая современный уровень развития вычислительной техники и IT-технологий переход на автоматизированный учет энергоресурсов в ближайшие годы неизбежен.