

Гришанова И.А.

НАКЛАДНЫЕ И ВРЕЗНЫЕ РАСХОДОМЕРЫ В КОММЕРЧЕСКОМ УЧЕТЕ: ЖЕЛАЕМОЕ ИЛИ ДЕЙСТВИТЕЛЬНОЕ

Введение.

В настоящее время очень много говорится об уникальности ультразвукового метода измерений с накладными датчиками, который заключается в возможности бесконтактного определения расхода протекающей по трубопроводу среды. При этом нельзя не отметить целый ряд существенных преимуществ накладных расходомеров:

- нет необходимости встраивать расходомерный участок в трубу;
- исключена потеря давления на расходомерном участке;
- датчики расхода не погружены в измеряемую среду, а значит, исключено их загрязнение и образование на них осадка;
- возможность использования там, где нежелательно вторгаться в измеряемую среду.

«Таковыми особенностями не обладает ни один другой метод измерения», - заявляют производители данных приборов и при этом указывают на такое важное для потребителя обстоятельство, как независимость цены расходомера от диаметра трубы, на которую он устанавливается. Все это конечно привлекает внимание, если закрыть глаза на существенные недостатки бесконтактного метода измерений. Об этих недостатках мы и хотели бы напомнить в данной статье, сказав свое решительное «нет» накладным ультразвуковым расходомерам в коммерческом учете энергоносителей.

Фирма «СЕМПАЛ», которая сама является производителем ультразвуковых средств измерения расхода, весьма обеспокоена попытками дискредитации метода в целом из-за многочисленных нареканий на накладные датчики. В прошлой публикации [1] мы останавливались в основном на теоретических аспектах их эксплуатации, однако, на этот раз для большего правдоподобия своих суждений перейдем от теории к практике. Постараемся кратко проанализировать опытные данные по исследованию накладных расходомеров, полученные нашими коллегами из европейских и американских инженерных лабораторий [2-6], поскольку именно им удалось достигнуть немалых успехов в развитии этого метода измерений. Вместе с тем, несмотря на эти успехи, они не боятся заявлять об имеющихся проблемах и, в отличие от наших производителей, выдают весьма достоверную информацию.

Общие рекомендации по монтажу накладных датчиков.

Вначале остановимся на тех требованиях, которые обязательно соблюдать при монтаже накладных датчиков расхода, чтобы потом не списывать некорректную работу ультразвукового расходомера на некачественный монтаж.

1. Необходимо убедиться, что датчики под конкретные условия эксплуатации подобраны верно, т.е. с необходимыми размерами и рабочей частотой.
2. Крепление датчиков к трубе должно производиться очень тщательно, с учетом точного позиционирования.
3. Длина прямого участка, предшествующего расходомерному, должна быть не менее 20 Ду.
4. Желательно избегать установки накладных датчиков на участках, где есть двойные и тройные колена, либо ставить датчики как можно дальше от этих местных сопротивлений с учетом приведенного выше п.3.
5. Необходимо иметь точные знания об измеряемой среде, а также размерах, материале и состоянии трубы, по которой она протекает.

С учетом всех вышеприведенных достаточно жестких рекомендаций, а также с привлечением квалифицированных специалистов-монтажников и высокоточного монтажного оборудования были проведены экспериментальные исследования. Целью данных весьма тщательно проведенных исследований было выяснить, какие же еще факторы необходимо принимать во внимание при работе с накладными расходомерами, а также, на какую реальную точность можно выйти при их эксплуатации в различных условиях.

Условия проведения эксперимента [2].

Экспериментальные стенды были заполнены водой и работали на старт-стопном принципе с применением статического взвешивания. Погрешность стендов составляла 0,1%. Диапазон тестовых скоростей воды находился в пределах 50:1.

Данные по тестовым скоростям, соответствующим им расходам и количеству повторных испытаний на каждом расходе даны в таблице.

Для проведения экспериментальных исследований были взяты приборы с накладными датчиками 3-х производителей (выбор осуществлялся из 9 наиболее известных фирм на рынке расходомерной техники в Великобритании). Образцы отличались количеством каналов и методами обработки сигналов измерительной

информации, а также шириной ультразвукового луча, зондирующего поток.

Таблица

| Скорость, м/с | % от максимума | Расход на трубе диаметром 100 мм, л/с | Расход на трубе диаметром 200 мм, л/с | Расход на трубе диаметром 600 мм, л/с | Количество повторных опытов |
|---------------|----------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------|
| 0,10 | 2 | 0,8 | 3,1 | 28,3 | 5 |
| 0,25 | 5 | 2,0 | 7,9 | 70,7 | 5 |
| 0,50 | 10 | 3,9 | 15,7 | 141,4 | 5 |
| 2,00 | 40 | 15,7 | 62,8 | 565,5 | 5 |
| 3,50 | 70 | 27,5 | 110,0 | 989,6 | 5 |
| 5,00 | 100 | 39,3 | 157,1 | 1413,7 | 5 |

Эксперименты проводились с целью оценки следующих факторов:
-воспроизводимости результатов при повторных наложениях датчиков на трубу;
-влияния смещения датчиков от нулевого (исходного) положения на точность показаний;
-влияния местных сопротивлений на точность показаний;
-влияние диаметра трубы на характер градуировочной характеристики расходомера;
-влияние материала трубы на прохождение ультразвукового сигнала.

В процессе исследования **воспроизводимости результатов измерений**, датчики снимались с трубы, а затем вновь устанавливались, причем они не смещались относительно заданной позиции, а переустанавливались на то же место. Влияние снятия/наложения датчиков на точность прибора отображено на рис.1. Данные фиксировались в определенных точках всего диапазона скоростей потока и сравнивались с образцовой градуировочной характеристикой, полученной для трубы диаметром 600 мм (пунктирная линия). Жирная линия получена путем аппроксимации результатов измерений (символ ×) во всем диапазоне скоростей.

Как видно из рисунка, отклонения в показаниях на одной и той же скорости доходят до 1%, а это весьма много для коммерческого учета, где борьба ведется за десятые доли процента.

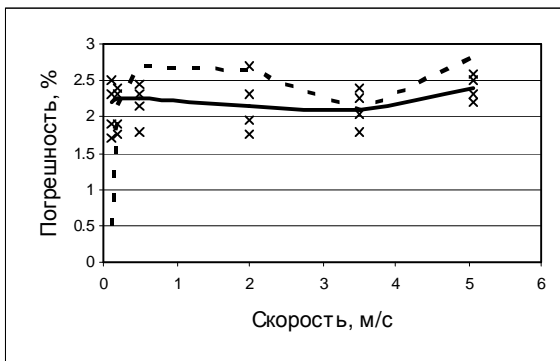


Рис.1. Оценка воспроизводимости результатов измерений расходомера с накладными датчиками

Дополнительные тесты были проведены на скорости 2 м/с, когда **датчики смещались** на ± 50 мм (с шагом 5, 10, 25 и 50 мм) на трубе из нержавеющей стали диаметром 200 мм (рис.2).

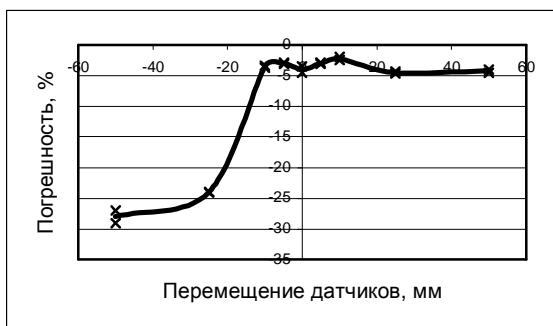


Рис.2. Эксперименты по смещению накладных датчиков расходомера

Результаты этого теста свидетельствуют о том, насколько важно соблюдать инструкции относительно точного позиционирования датчиков на трубопроводе. Даже малые смещения датчиков в пределах нескольких миллиметров могут легко привести к ухудшению точности на 1-2%, тогда как большие – существенно влияют на показания прибора, увеличивая погрешность измерений до 30%. Повторяемость результатов в данном эксперименте также нельзя назвать достаточно высокой, поскольку отклонения показаний между начальной и повторной градуировками в разных точках, смещенных относительно

начального положения, доходят в ряде случаев до нескольких процентов.

Оценка влияния на точность измерений местных сопротивлений проводилась на трубе из нержавеющей стали диаметром 200 мм с прикрепленными к ней заранее ультразвуковыми датчиками. Это делалось для поддержания чистоты эксперимента, чтобы не перепутать реально получаемые эффекты от воздействия местных сопротивлений со случайно наложившимися эффектами от «перенакладывания» датчиков.

Из местных сопротивлений наибольший интерес вызвали двойные и тройные колена, расположенные перед тестовыми расходомерами. Струевыпрямитель располагался на расстоянии не менее 10 диаметров до указанных местных сопротивлений и после них шел прямой участок в 30 диаметров, на котором и располагался тестируемый прибор.

Испытания показали, что искаженный профиль скоростей, вызванный тройным коленом, оказывает весьма существенное влияние на исполнение накладных датчиков, даже если тройное колено удалено от расходомера на расстояние до 40Ду. Этот эффект обусловлен сложным взаимодействием искривленного профиля течения и ультразвуковых лучей, проходящих через него.

В ходе других исследований накладных ультразвуковых расходомеров [3] было замечено, что увеличение количества диаметральных путей прохождения ультразвукового сигнала не уменьшает влияния местных сопротивлений на точность прибора. Расходомеры, использующие акустическое зондирование потока по двум хордам, проходящим через половины радиусов трубы по обе стороны от оси, значительно менее подвержены влиянию местных сопротивлений.

При исследовании влияния двойного колена на точность накладных расходомеров было отмечено, что в ряде случаев на расстоянии 20 Ду от этих сопротивлений результаты были значительно лучше, чем на расстоянии 30 Ду. Однако в количественном соотношении пока не удалось окончательно определить влияние упомянутых местных сопротивлений на погрешность накладных ультразвуковых средств измерения расхода.

Интересно было также оценить, **насколько диаметр трубы влияет на характер градуировочной характеристики** накладных расходомеров.

С этой целью испытания каждого из 3-х расходомеров (рис.3,4,5) проводились в образцовых условиях на трубе диаметром 200 мм

(пунктирная линия) и в обычных условиях на трубе диаметром 100 мм (сплошная линия).

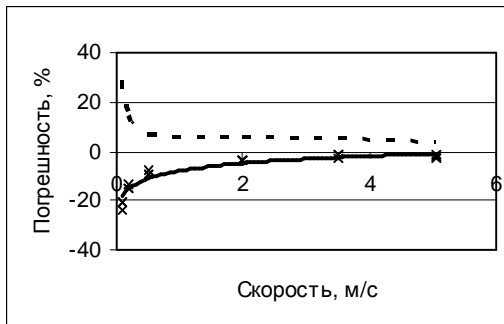


Рис.3. Сравнение кривых погрешностей расходомера 1 на трубах диаметрами 100 и 200 мм

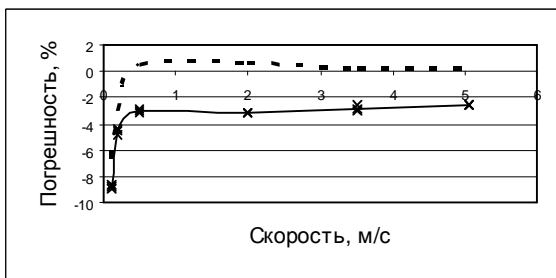


Рис.4. Сравнение кривых погрешностей расходомера 2 на трубах диаметрами 100 и 200 мм

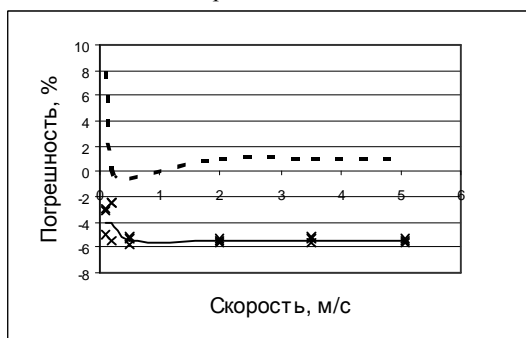


Рис.5. Сравнение кривых погрешностей расходомера 3 на трубах диаметрами 100 и 200 мм

Количество повторных опытов в обычных условиях равнялось 5 (символ ×) на каждой из определенных точек диапазона, а затем по средним значениям была построена результирующая кривая (жирная линия).

Как свидетельствуют полученные графики (рис.3,4,5), характер точностных характеристик для труб разных диаметров, но полученных одним и тем же расходомером (каждым из 3 испытуемых), весьма существенно отличался. Попросту говоря, на этапе градуировки получался один результат, а в процессе эксплуатации – несколько другой, причем с отклонением по точности на несколько процентов. Данные результаты лишней раз показывают непредсказуемость поведения накладных датчиков в реальных условиях эксплуатации.

Было также обнаружено, что с увеличением скорости, повторяемость результатов и нелинейность характеристик улучшается. Стартовой точкой можно считать скорость 1 м/с, начиная с которой отслеживаются более или менее устойчивые показания. Хотя в ряде случаев этот скоростной порог может быть и меньшим, но для общих рекомендаций целесообразно руководствоваться начальным значением скорости именно в 1 м/с. Вообще даже для скоростей выше 1 м/с погрешности варьируются от случая к случаю и составляют порядка нескольких процентов.

В качестве альтернативы порогового значения в некоторых источниках фигурирует [3] также число Рейнольдса $Re=6000$. При меньших его значениях наблюдались погрешности до 10-16% и отмечалась плохая повторяемость результатов. При числах $Re>6000$, т.е. для турбулентного режима результаты измерений накладными расходомерами были явно лучше, вместе с тем встречались случаи, когда один и тот же прибор давал разные погрешности (-7 – +6 %) в зависимости от места расположения на трубе.

Материал труб в основном не представлял проблем для достижения требуемых характеристик передачи сигнала. Тестируемые расходомеры были работоспособны на трубах из разного материала, хотя достаточно хороший сигнал не всегда был получен с первой попытки. Никакой модификации поверхности труб не делалось. Нелинейность характеристики могла быть вызвана влиянием шероховатости на характер профиля скоростей, а также толщины стенки трубы на распространение сигнала.

В целом можно отметить, что разные по конструктивному исполнению расходомеры дают разные результаты, и кроме конструктивного исполнения играют роль и условия, в которых проводились испытания. Иногда необходимо проводить более

подробные исследования, чтобы полностью оценить имеющиеся место эффекты. Разница в показаниях расходомеров определяется также разными методами эмпирической коррекции показаний и введенными в программное обеспечение коэффициентами, подобрать которые – непростая задача из-за отсутствия стабильности в такого рода измерениях. Даже при достаточно скрупулезном выборе и применении накладных расходомеров ожидаемая погрешность измерений вряд ли будет менее $\pm 5\%$, да и то при скоростях потока более 1 м/с.

В ряде случаев многие недостатки **накладных расходомеров** пытаются ликвидировать за счет использования другой разновидности ультразвукового метода измерений - **врезных ультразвуковых датчиков расхода**. Не будем останавливаться на том, что условия врезки, а точнее методика должна быть продумана до мелочей, но даже и в этом случае при всей кажущейся простоте и доступности такого метода измерений, по-прежнему остается много вопросов, касающихся эксплуатации врезных датчиков.

Особенности эксплуатации врезных датчиков.

Эксперименты проводились на трубах калибром 150 мм экспериментального оборудования лаборатории NEL [6]. В качестве измеряемой среды использовалось углеводородное масло вязкостью 24сСт и плотностью 0.85 кг/л при 20⁰С. Точность испытываемых расходомеров оценивалась по образцовому расходомеру.

Расходомеры для испытаний были получены от известных европейских производителей, и все они основывались на измерении разности времен прохождения сигналов от излучателя к приемнику и обратно, хотя различались методами расположения датчиков относительно потока, начиная от бесконтактных и заканчивая традиционно монтируемыми в отводах расходомерного участка.

В ходе испытаний особый интерес представляли два неградуированных 2-канальных преобразователя расхода с врезными и накладными ультразвуковыми датчиками, поскольку, несмотря на разный принцип монтажа датчиков, поведение их было весьма сходно.

Тестовый расходомер 1 использовал 2 пары датчиков, которые поставлялись с расходомерным участком, причем одна пара датчиков состояла из врезных, а другая пара датчиков размещалась в гильзах, по очереди вставляемых в отводы, чтобы иметь возможность замены датчиков в процессе испытаний. Каждая пара датчиков размещалась на линии, проходящей через середину радиуса сечения трубы и под углом 45⁰ к горизонтальной оси.

Тестовый расходомер 2 использовал 2 пары накладных датчиков, расположенных на трубе диаметром 150 мм из углеродистой стали.

Расположение датчиков аналогично тому, как в первом расходомере, т.е. под углом 45^0 к горизонтальной оси и на расстоянии половины радиуса от центра трубы.

Результаты испытаний можно в целом определить так.

1. У каждого расходомера (рис.6-9) нелинейность составляла порядка 1% лишь в узкой части диапазона измерений, и повторяемость результатов в диапазоне 0.1% - 0.5% наблюдалась для скоростей только более 1 м/с. Ниже 1 м/с возрастание погрешности измерений может быть объяснено наличием нестабильной переходной ламинарно-турбулентной зоны.
2. Как видно из рис.6, если расходомер (первый) двуххордовый и в процессе измерений задействованы обе хорды, то стабильная часть кривой погрешности (та, которая отвечает диапазону скоростей от 1 м/с и выше) находится практически в нуле. Но, глядя на рис. 7, 8, становится очевидным, что для этого же расходомера, но работающего в режиме использования одной хорды, надо уже задействовать некий поправочный коэффициент, чтобы «опустить» кривую погрешности в ноль.

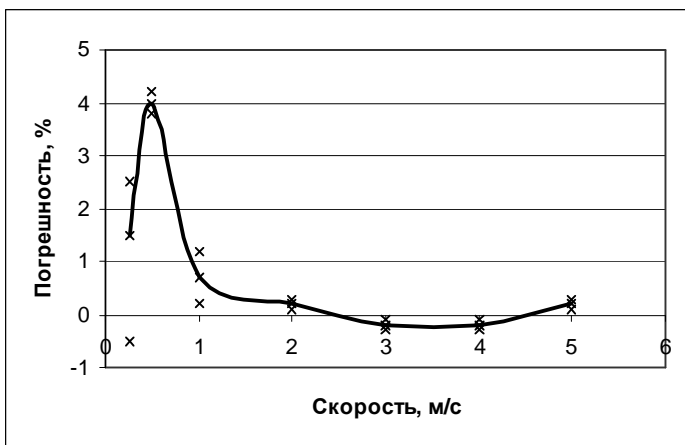


Рис.6. Кривая погрешности, полученная по результатам градуировки тестового расходомера 1, при двухканальном режиме

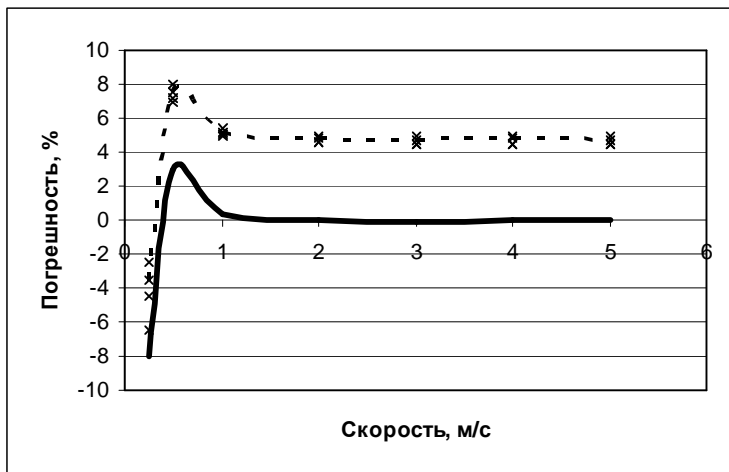


Рис.7. Кривая погрешности тестового расходомера 1, работающего в режиме одноканального с врезными датчиками (после применения градуировочного коэффициента данная характеристика стала такой, как показывает жирная линия)

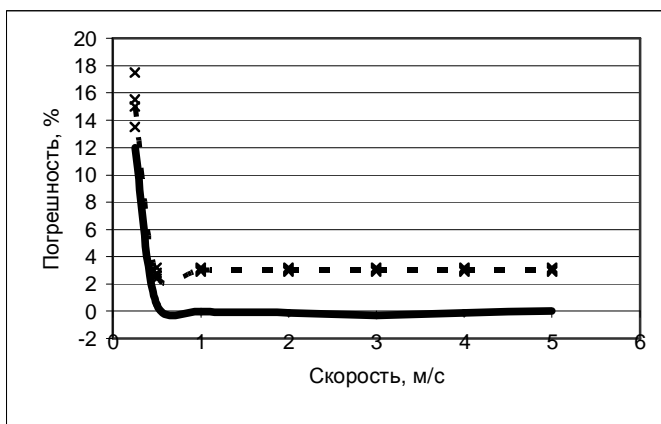


Рис.8. Кривая погрешности тестового расходомера 1, работающего в режиме одноканального с датчиками в гильзах (после применения градуировочного коэффициента данная характеристика стала такой, как показывает жирная линия)

- Интересно отметить, что обычные врезные датчики (рис.7) до применения поправочного коэффициента дают большую погрешность, чем датчики, расположенные в специальных гильзах и не соприкасающиеся непосредственно с потоком (рис.8).
- На рис.7 и 8 показано по две кривые. Следует четко представлять, что одна из них (верхняя, пунктирная) строго отражает результаты испытаний, а вторая (нижняя, отмеченная жирной линией) – это «приведенная к нулю» первая кривая. При этом фактически получаемый объем домножался на поправочный коэффициент, полученный по результатам градуировки на образцовом расходомерном оборудовании.

Необходимо иметь в виду, что **в реальных условиях, в процессе установки образцовые расходомеры всегда отсутствуют**, а в процессе эксплуатации значение упомянутого коэффициента скорее всего будет меняться. Поэтому не будет и «попадания в нуль».

- Результаты испытаний накладных датчиков второго расходомера во многом показали сходство с врезными. Стабильные показания отмечались только в диапазоне скоростей от 1 м/с и выше. При снятии и повторном прикреплении датчиков результаты варьировались в пределах 0.5-1%.

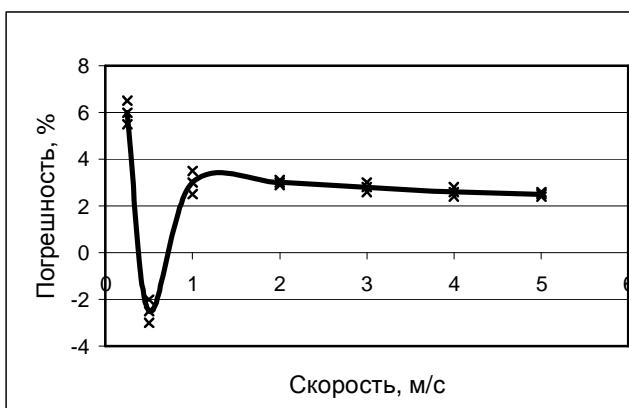


Рис.9. Кривая погрешности тестового расходомера 2 с накладными датчиками

Общие выводы.

1. Для высокоэффективного использования накладных и врезных ультразвуковых расходомеров необходимо четко знать возможные режимы течения измеряемой жидкости в трубе, чтобы избежать неточных и нестабильных измерений на ламинарных и переходных зонах. В связи с этим напрашивается и следующий вывод.
2. Не следует применять накладные и врезные датчики на трубах малого диаметра.
3. Значительный вклад в ошибку накладных и врезных расходомеров вносит трудность в определении точных размеров трубы. При этом следует учитывать такие факторы, как шероховатость стенок трубопровода, которая варьируется от места к месту крепления датчиков, овальность трубопроводов (согласно ГОСТ 10704 она может достигать только при выпуске 2-3% и даже 4%) и др. Кроме того, неверно введенный материал трубы также вносит большую долю в суммарную погрешность измерений.
4. В ходе калибровки на проливном стенде для накладных и врезных расходомеров в принципе можно добиться относительно стабильных показаний в определенном диапазоне скоростей течения (результаты варьируются в пределах 1-2%). В реальных же условиях эксплуатации для таких расходомеров весьма трудно определиться с поправочным коэффициентом, который бы позволял «вгонять» эти «застабилизировавшиеся» показания в ноль. Поэтому при реальной эксплуатации в узлах коммерческого учета суммарная погрешность измерения ультразвуковых расходомеров накладного и врезного типов может весьма разочаровать оптимистично настроенных почитателей этих «дешевых и точных» приборов.

От авторов.

После всего сказанного очень сомнительными кажутся утверждения многих украинских и российских производителей о точности выпускаемых ими накладных и врезных расходомеров, достигающей 1% во всем диапазоне измерений (иногда заявляются даже весьма фантастические цифры 0.25 – 0.5%!). Тем более, что даже лабораторные эксперименты, проведенные на «идеальных» трубах небольших диаметров дают весьма неутешительные результаты.

Основываясь на приведенных доказательствах, мы делаем вывод, что накладные и врезные расходомеры в коммерческом учете энергоносителей – это скорее желаемое со стороны их производителей, но никак не действительное, которое требует однозначно точного и правдивого подхода в оценке потребляемых ресурсов.

Литература

1. Гришанова И.А., Покрас С.И., Покрас А.И. Ультразвуковая расходометрия на примере тепловосчетчика СВТУ-10М: мнения и факты // Материалы XXI-й международной научно-практической конференции «Коммерческий учет энергоносителей», Санкт-Петербург, 2005. – С.245-262.
2. Clamp-on Ultrasonic Meters // Flow Measurement Guidance Note No.24. – NEL, Glasgow, 2000.
3. Project FEUS05 Final report on Clamp-on Transit Time Ultrasonic Flowmeter Performance Evaluation // DTI reference: GBBK/C/03/18 October 2005.
4. Bernt Svensson, Jerker Delsing Application of ultrasonic clamp-on flow meters for in situ tests of billing meters in district heating systems // Flow Measurement and Instrumentation, Vol. 9. – 1998. – P. 33-41.
5. Further Guidance on the use of Clamp-on Transit Time Ultrasonic Flow Meters // Flow Measurement Guidance Note No.48. – NEL, Glasgow, 2005.
6. Long-term Evaluation of Ultrasonic Flowmeters // Flow Measurement Guidance Note No.25. – NEL, Glasgow, 2000.

Сведения об авторах

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