

ВЫБОР ПЕРИОДА ОПРОСА РАСХОДА В ОБЩЕДОМОВЫХ РАСХОДОМЕРАХ И ТЕПЛОСЧЕТЧИКАХ.

И. С. Покрас, фирма «СЕМПАЛ», Киев

В большинстве современных ультразвуковых и электромагнитных расходомеров измерение скорости (объема, расхода) производится с постоянной частотой. Далее эти отдельные отсчеты, в основном, обрабатываются одним из двух способов: либо после накопления некоторого определенного объема выдается импульс, «вес» которого равен указанному объему, импульсы далее суммируются в вычислителе вплоть до момента выдачи, когда накопленная сумма умножается на «вес»; либо результаты каждого упомянутого измерения с постоянным периодом далее суммируются вплоть до момента выдачи, когда вводятся соответствующие коэффициенты. Минимальный интервал выдачи объема (расхода) на печать – один час.

Обычно оценка погрешности измерения расхода определяется с помощью проливных стендов или имитаторов при постоянном расходе; полученная погрешность заносится в Руководство по эксплуатации (РЭ) на расходомер. Однако при учете холодной или горячей воды, расход, как правило, меняется во времени, возникает динамическая ошибка, которая становится заметной на почасовых распечатках. Эта ошибка появляется, в основном, за счет неверно выбранной указанной выше первоначальной частоты или периода опроса расхода; так, если отсчеты редкие, то сумма таких отчетов, то есть объем и расход, будут определяться с ошибкой по сравнению со случаем чистого интегрирования; эта ошибка должна суммироваться с ошибкой, указанной в РЭ.

Ошибка за счет дискретности важна не только в «чистой» расходомерии, но и в учете тепла в открытых системах, потому что в общей относительной ошибке учета тепла вклад ошибки измерения расхода, как известно, составляет порядка 90% [1,2]. Поэтому ошибка за счет дискретности при измерении расхода почти целиком суммируется и с ошибкой измерения тепла, указанной в РЭ, а каждый процент ошибки по теплу ведет к немалым материальным затратам [3].

Для определения ошибки дискретности надо знать характеристики случайного процесса, однако реальные картины потребления холодной и горячей воды настолько разнообразны, что описать их единым образом не удастся. Поэтому делаются попытки оценить эти ошибки для достаточно широких классов случайных процессов, хотя бы для «крайних» случаев большого и малого потребления. Так, в [4] приведены оценки ошибок дискретности для объектов, в которых в каждый момент времени включены N сантехнических устройств, в каждый момент времени расход меняется, и распределение расхода горячей (холодной) воды одним потребителем при включении одного крана равновероятное от некоторого минимального a л/с до максимального A л/с. При этом $a \gg 0$ (протекающие краны, сливные бачки,...), $A-a \gg A+a$, рис.1.

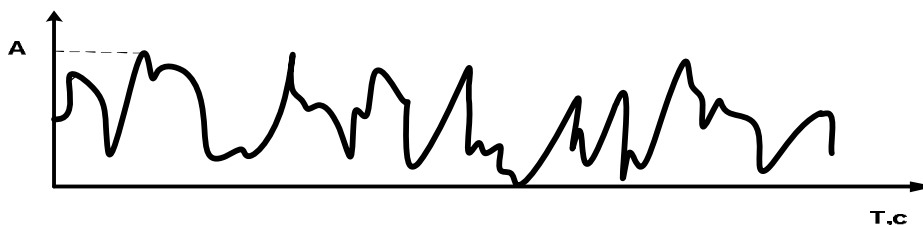


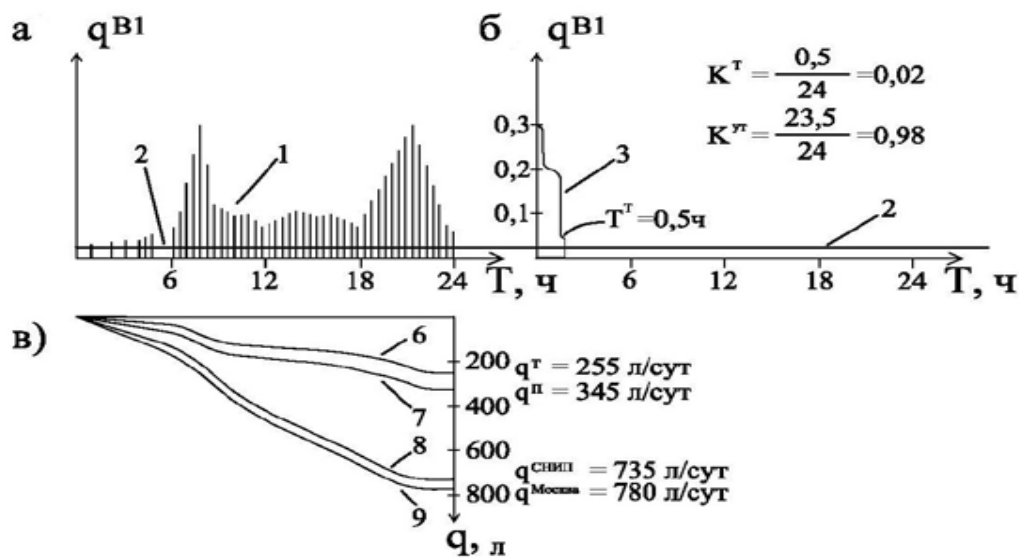
Рис.1

Поскольку практически ошибка за счет дискретности отсчетов присутствует всегда, желательно свести ее влияние к минимуму, иными словами выбрать шаг дискретизации такой, чтобы величина этой ошибки не превышала, например, 0.1 или 0.2 от величины ошибки, указанной в РЭ.

Далее рассмотрены возможные способы выбора указанного периода опроса для реального жилого дома: случай малого потребления холодной воды в ночные часы, когда в каждый момент времени расход либо отсутствует, либо включено лишь одно сантехническое устройство, и случай большого потребления, в «часы пик», когда в каждый момент времени включено несколько сантехнических устройств одновременно.

Воспользуемся результатами, изложенными в [5], где достаточно подробно исследованы случаи потребления холодной и горячей воды в квартире на 3 человека и 100-квартирном жилом доме на 300 человек. Рис. 2 позаимствован из этой статьи.

— квартира заселенностью 3 человека



— дом заселенностью 300 человек

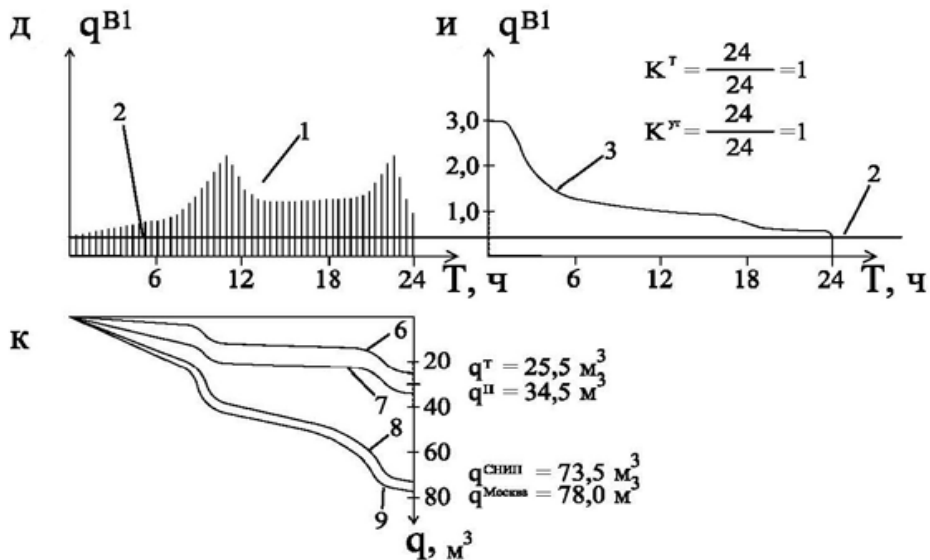


Рис. 2

К рис. 2: Режимы водопотребления в водопроводе холодной воды.

а, д – режимы водопотребления холодной воды в течение суток для квартиры (3 человека), для дома (300 человек), соответственно;

б, и – ранжированный график секундных расходов для квартиры (3 человека), для дома (300 человек), соответственно;

в, к – интегральный график водопотребления для квартиры (3 человека), для дома (300 человек), соответственно;

1 – технологическое (полезное) водопотребление;

2 – расход утечки;

3 – график ранжирования расходов;

6 – технологический расход;

7 – суточные потери воды;

8 – суточные расходы воды по СНиП;

9 – суточные расходы воды по Москве.

Подчеркнем еще раз, что нижеприведенные рассуждения касаются лишь одного конкретного объекта [5].

Оценим величину периода опроса Δ для ночных часов минимального потребления.

Для холодной воды технологический (полезный) разбор в ночные часы составляет 2л/чел в час, то есть $2\text{л/чел}\cdot\text{час}\cdot 300 = 600\text{л/час}$ на дом, или 0.17 л/с; утечка составляет 9000л/сутки, или 0.1 л/с.

Для горячей воды ночной разбор составляет 0.5 л/чел-час, то есть 150 литров на 300 человек, или 0.04л/с; утечка составляет 0.1 л/с, циркуляция – 1.0 л/с. Так как циркуляция имеется в жилых домах далеко не всегда, исключим ее из рассмотрения для получения «еще более минимальной» нагрузки. Поскольку утечки холодной и горячей воды одинаковы – 0.1л/с, а технологический разбор горячей воды меньше, чем технологический разбор холодной воды, произведем интересующие нас выкладки для ночных часов потребления горячей воды: технологический разбор 0.04 л/с, или 144л/час; утечка 0.1л/с, или 360л/час; общее потребление $Q_m = 144+360 = 504\text{л/час}$.

Считаем среднюю производительность одного сантехнического устройства равной $q_0 = 0.2\text{л/с}$ [8]; длительность однократного использования такого устройства, от включения до выключения, примем равной 30 секунд. Считаем также, что расходы для каждого интервала равны друг другу. За такой 30-секундный интервал будет вылит $0.2\text{л/с}\cdot 30\text{с} = 6\text{л}$ воды. Полагая, что при малых нагрузках интервалы расходов при использовании сантехнических устройств не перекрываются, получаем количество таких 30-секундных интервалов за час равным $m = 144\text{л}/6\text{л} = 24$.

Рассмотрим подробнее один интервал расхода, попадающий произвольным образом на ось времени, разбитую на равные интервалы квантования Δ (дискретизации), рис. 2. Напомним, что значения Δ нам неизвестны. Фактически мы решаем задачу квантования прямоугольного сигнала.

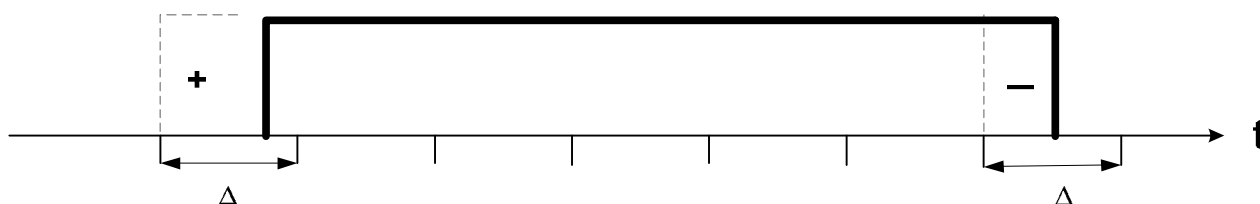


Рис.2

Интервал расхода состоит из трех частей по времени:

- фронт, местоположение которого на интервале по времени Δ равновероятное с математическим ожиданием $\Delta/2$ и дисперсией $\Delta^2/12$; за счет эффекта квантования фронт интервала расхода всегда принимается равным левому значению того интервала квантования, в который попадает этот фронт, и величина расхода q_0 за счет этого увеличивается на случайную величину с указанными выше характеристиками;
- средняя часть, состоящая из целого числа дискрет Δ , в каждой из которых расход полностью перекрывает дискрету, и потому ошибка за счет дискретности равна нулю, а ошибка измерения расхода соответствует величине ошибки, указанной в РЭ;
- спад, распределение которого на интервале по времени Δ равновероятное с математическим ожиданием $\Delta/2$ и дисперсией $\Delta^2/12$; за счет эффекта квантования спад интервала расхода всегда принимается равным правому значению того интервала квантования, в который попадает этот спад, то есть нулю, и величина расхода q_0 за счет этого уменьшается на случайную величину с указанными выше характеристиками.

Получается, что за счет квантования границ одного интервала, то есть фронта и спада при измерении расхода, возникает ошибка по времени: математическое ожидание этой ошибки равно нулю, поскольку математические ожидания для фронта и спада компенсируются, а дисперсия равна $2 \Delta^2/12 = \Delta^2/6$.

Для суммы 24 интервалов ошибка распределена по нормальному закону с математическим ожиданием, равным нулю, и дисперсией, равной $24\Delta^2/6 = 4\Delta^2$; среднеквадратическое отклонение $\sigma_t = 2\Delta$. Подчеркнем еще раз, что эта величина имеет место по времени. За счет нее среднеквадратическая ошибка по расходу $\sigma_q = 2\Delta \cdot q_0$.

Считаем величину максимально допустимой абсолютной ошибки по расходу равной $3\sigma_q$; тогда для нашего случая эта ошибка равна $3 \cdot 2\Delta \cdot 0.2 \text{ л/с} = 1.2\Delta \text{ л/с}$, а относительная ошибка равна $1.2\Delta/504$.

Примем, что для приборов, для которых максимальная относительная ошибка измерения расхода равна 2%, ошибка за счет дискретности, которой следует пренебречь, не должна превышать $\delta = 0.1$ от 2%. При этих исходных данных должно выполняться неравенство:

$$\frac{1.2\Delta}{504} \leq 0.002 \quad (4)$$

Отсюда интервал квантования, или искомый темп опроса расхода $\Delta \leq 0.84 \text{ с}$, для однопроцентных приборов – вдвое меньше.

В общем виде формула для определения Δ для малой загрузки имеет вид

$$\Delta \leq \frac{Q_m \delta \sqrt{6/m}}{k q_0}, \quad (5)$$

где Q_m – общий расход за один час в литрах,

δ – относительная ошибка за счет дискретности,

m – количество включений сантехнических устройств за час,

$k = 3$ согласно «правилу трех сигм»,

q_0 – расход при использовании одного сантехнического устройства.

Сделаем два важных замечания.

Первое. Часть величин в последней формуле была нами «назначена»: так, величину « k » обычно выбирают из диапазона 2.5 – 3.0, $q_0 = 0.2 - 0.3 \text{ л/с}$ [8], δ целесообразно выбирать из

диапазона 0.1 – 0.2 от 2%. При этих значениях и тех же исходных данных с объекта величина Δ находится в районе от 0.6с до 2с.

Второе. Интересно оценить величину ошибки δ для тех же исходных данных, но для иных, «неоптимальных», значений Δ . Из (5)

$$d \geq \frac{\Delta k q_0}{Q_m \sqrt{6/m}} \quad (6)$$

В таблице 2 приведены значения δ в процентах, которыми полагается пренебречь ввиду их малости относительно 2%.

Таблица 2

Δ, c	4	6	10	30
$\delta \%$	1.0	1.4	2.4	7.0

Видно, что пренебречь такими значениями никак нельзя; более того, часть этих значений превышает саму величину 2%, а тем более 1%, если речь идет о приборах с погрешностью 1%.

Здесь мы ограничились величиной $\Delta = 30c$, хотя встречаются и большие значения: так, после публикации статьи [4] от читателей сайта ТЕПЛОПУНКТ автору пришло письмо с просьбой оценить погрешность для расходомера с величиной темпа опроса $\Delta = 5mn$ (пять минут!). Этот расходомер предлагался авторам письма для использования в открытой системе в жилом фонде. Производителя не называем.

Более того, в процессе обсуждения настоящей статьи на сайте ТЕПЛОПУНКТ, автору стало известно из доклада С.И. Черноморченко «О достоверности тепловых измерений» на 29й Конференции «Коммерческий учет энергоносителей», Санкт – Петербург, май 2009г., о существовании сертифицированного прибора с периодом опроса расхода, равным 17 минут!

Итак, мы получили, что искомый период опроса расхода для отслеживания малых расходов для принятых исходных данных должен быть не более 0.84с для 2%-ных приборов.

Перейдем к случаю большой загрузки. Поскольку здесь имеет место случайный процесс с постоянно изменяющимся во времени расходом, то и математический аппарат должен быть несколько иной по сравнению с предыдущим случаем. Можно было бы для разработки общедомового расходомера сначала собрать статистику посекундных (и с меньшими периодами) расходов для жилых и нежилых домов определенного типа, и на основании таких архивов либо выбрать искомый период, либо описать расход как случайный процесс, а потом проектировать прибор для измерения характеристик отдельных реализаций этого процесса (то есть реализация за такой – то час, месяц,...). Однако для разных типов домов и других объектов это неподъемная задача с учетом климатических зон, времен года и иных факторов. Поэтому разработчики при выборе периода опроса, к сожалению, вынуждены искать иные пути: одни идут методом проб и ошибок, другие, если разрабатывают батарейный прибор, - увеличивают указанный период для увеличения ресурса батарейки, третьи – повторяют результат иностранных фирм, четвертые – вводят набор периодов, оставляя окончательный выбор потребителю, и т.д. Мы предлагаем более простой, на наш взгляд, метод, используя данные [5].

Холодная вода в квартиру поступает потребителям в течение 30 минут в сутки – технологический (полезный) расход, остальные 23.5 часа имеет место только утечка; кроме того, в часы максимальной нагрузки жильцы потребляют 3 куб.м холодной воды, или 1/8.5 часть из общего суточного потребления 25.5 куб.м. Из этих данных определим количество одновременно включенных сантехнических устройств в часы максимальной нагрузки. При условии поступления в квартиру одного и того же технологического расхода в течение 30 минут в сутки, получаем, что в «час пик» холодная вода поступает в одну квартиру в течение

30/8.5 = 3.5 минут, а в 100 квартир - в течение 3.5·100 = 350 минут. Это может иметь место при одновременной работе в «час пик» $N = 350/60 \approx 6$ сантехнических устройств в доме. Таким образом, мы определили, что в час максимальной нагрузки в среднем $N = 6$. Зная эту величину, мы можем определить относительную ошибку определения расхода за счет использования n независимых отсчетов в час по методике, аналогичной [4].

Более естественно принять распределение расхода горячей (холодной) воды одним потребителем при включении одного крана не равновероятное от некоторого минимального a л/с до максимального A л/с, как это имело место в [4], а нормальное, поскольку граничные значения a л/с и A л/с используются практически достаточно редко. При N одновременно работающих в доме сантехнических устройствах математическое ожидание величины расхода в каждый момент времени $M = \frac{A+a}{2} N$ и среднеквадратическое отклонение

$s = \frac{A-a}{6} \sqrt{N}$. Здесь принято, что интервал $[a, A]$ равен 6σ , то есть $\pm 3\sigma$. Зная M и σ , можно определить максимальную относительную ошибку дискретности на интервале времени n дискрет; эта ошибка имеет место с доверительной вероятностью β того, что отклонение величины суммарного расхода, полученного путем усреднения n отсчетов Mn , от истинного M будет по абсолютной величине менее ε :

$$P (|Mn - M| < \varepsilon) = \beta \quad (1)$$

Задавая величины β и n , определяем из таблиц [6] величину t_β , а с помощью равенства

$$\varepsilon = t_\beta \sigma / \sqrt{n} \quad (2)$$

получаем величину относительной ошибки за счет использования n отсчетов

$$\left(\frac{e}{M} \right) \% = \frac{t_\beta}{\sqrt{n}} \frac{(A-a)\sqrt{N} 2}{6(A+a)N} 100\% = \frac{t_\beta}{3\sqrt{Nn}} \frac{(1-a/A)}{(1+a/A)} 100\% \quad (3)$$

Эта формула справедлива как для варианта рис.1, так и для более общего варианта рис.3. Заметим, что относительная погрешность обратно пропорциональна корню из N .

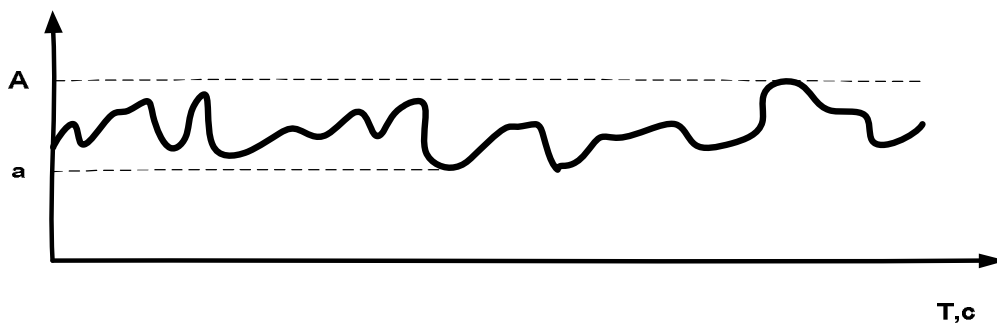


Рис.3

В таблице 1 приведены значения относительной погрешности в %, полученные по последней формуле для $\beta = 0.99$, $N = 6$, $a/A = 0$, и $n = 120, 360, 900, 3600, 7200$ отсчетов в час, то есть для периодов дискретности 30с, 10с, 4с, 1с, 0.5с.

Таблица 1

n	Отн. ош. %
120 (30с)	3.2
360 (10с)	1.8
900(4с)	1.2
3600 (1с)	0.58
7200 (0.5с)	0.4

Как видно, для рассматриваемого объекта [5], за исключением случая $n = 7200$, когда период опроса расхода равен 0.5с, полученные значения превышают допуски, указанные выше, то есть 0.2 – 0.4% для 2%-ных приборов.

Для случая большой загрузки можно пойти более коротким путем, правда сделав при этом больше различных «волевых» предположений, а именно: будем считать, что в «час пик» каждый из 250 – 300 жильцов дома использует 6 -10 включений и выключений холодной воды. Сюда относятся не только открывание/закрывание кранов, но и заполнение фильтров накопительного типа, сливных бачков, в которых, как известно, расход зависит от степени заполненности бачка, и плавную кривую этого расхода заменим 2х-3хступенчатой кривой. Тогда количество переключений расхода за час, то есть за 3600с, может изменяться от $250 \cdot 6 = 1500$ до $300 \cdot 10 = 3000$. Отсюда получается, что одно переключение в среднем производится за 1.2с – 2.4с. Согласно теореме Котельникова [7] для восстановления процесса необходимо иметь период опроса более чем вдвое меньший, т.е. меньший, чем 0.6с – 1.2с.

Таким образом, приходим примерно к тем же результатам, что дают формулы: период опроса расхода для получения пренебрежимо малой относительной ошибки дискретности отсчетов должен лежать в районе десятых долей секунды. Подобные рассуждения можно применять и для использования горячей воды, однако ее расход зависит от ее температуры (в объекте [5] этот расход составляет 65% от расхода холодной воды), и потому получаемые результаты не имеют достаточной «общности».

Итак, мы получили, что искомый период опроса расхода для интервалов максимальной загрузки, «часа пик», для принятых исходных данных должен быть не более 0.5с для 2%-ных приборов.

Подытоживая изложенное выше, отметим следующее: «к счастью» оказалось, что для случаев и большой и малой загрузки выбранного 100 – квартирного жилого дома необходимый темп опроса лежит в одном и том же диапазоне – в районе десятых долей секунды. Превышение этих значений ведет к ухудшению точности, и, следовательно, к значительным материальным потерям, учитывая стоимость одного процента погрешности [3].

Устанавливая раз и навсегда значение темпа опроса в районе нескольких десятых долей секунды, разработчики приборов могут с большей уверенностью гарантировать большинству потребителей ту точность, которую они указали в РЭ.

Отметим, что приведенные материалы касаются не только батарейных ультразвуковых приборов, где тема выбора темпа опроса особенно актуальна, но и сетевых ультразвуковых, а также иных приборов, которые могут работать на принципах дискретного по времени опроса расхода.

Выводы

1. За счет дискретного по времени измерения расхода горячей и холодной воды на реальных объектах всегда имеет место дополнительная ошибка измерения расхода и тепла,

которая часто превышает величину относительной ошибки, указанной в РЭ на прибор, и полученную в идеальных условиях проливного стенда.

Минимизация этой дополнительной ошибки для случаев большого и малого потребления в достаточно типичном городском жилом доме приводит к одному и тому же порядку величины темпа опроса при измерении расхода. В частности, для приборов с относительной ошибкой по расходу 2%, величина периода опроса должна быть не выше 0.5с. Разработчикам приборов этот факт значительно облегчает выбор темпа опроса в домовых расходомерах и теплосчетчиках.

2. Организациям, дающим разрешения в той или иной форме на допуск расходомеров и теплосчетчиков к серийному производству, следует включить в перечень обязательных и проверяемых характеристик величину указанного периода опроса расхода и добиваться ввода ее в ТО и ТУ, чтобы избежать появления на рынке расходомеров заведомо некачественной продукции.

3. Инспекторам ТСО при постановке на коммерческий учет общедомовых расходомеров и теплосчетчиков для открытых систем, а также после поверки этих приборов, необходимо производить установку указанных значений периода опроса; это касается приборов, у которых есть возможности выбора этого периода из широкого диапазона значений, чтобы не допустить умышленной установки завышенного значения.

Автор благодарит Д. Анисимова за ценные замечания и плодотворную дискуссию, организованную им на сайте ТЕПЛОПУНКТ, позволившие улучшить изложение предлагаемых материалов.

Литература

1. Васильев Н.К., Карташов А.А., Мартынов В.И. Анализ проблем измерения тепловой энергии и воды в системах горячего водоснабжения. Коммерческий учет энергоносителей. Материалы 21й Международной научно – практической конференции, май 2005г.

2. И.В.Кузник, М.Ю.Тиунов, В.А.Брюханов. Погрешности измерений тепловой энергии теплосчетчика и нормирование метрологических требований к средствам измерений расхода теплоносителя. Коммерческий учет энергоносителей. Материалы 12й Международной научно – практической конференции, ноябрь 2000г.

3. Гришанова И.А., Покрас И.С., Миллионы — на ветер, или сколько стоит некачественный теплосчетчик«С.О.К. Сантехника, отопление, кондиционирование» №3, 2007. www.sempal.com.

4. Покрас И.С. Об одной неучтенной погрешности измерения расхода. Коммерческий учет энергоносителей. Материалы 26й Международной научно-практической конференции, ноябрь 2007 г, www.sempal.com.

5. В.Н.Исаев, М.В.Пупков. Управление водопотреблением и точность учета воды в жилом фонде. «Сантехника», 6, 2006г.

6. Е.С. Вентцель. Теория вероятностей.

7. А.Б. Сергиенко. Цифровая обработка сигналов. Учебник для вузов. 2006.

8. СНиП 2.04.01-85. Внутренний водопровод и канализация зданий.