

УДК 621.121/122

ВЫБОР ПЕРИОДА ОПРОСА РАСХОДА В ОБЩЕДОМОВЫХ РАСХОДОМЕРАХ И ТЕПЛОСЧЕТЧИКАХ

Ефремов В. Е., Лежоев Р. С., НПП «Измерительные Технологии», Киев.

Расход холодной и горячей воды и теплоносителя в ряде современных приложений является быстроизменяющимся процессом. В этом случае уместен вопрос о пригодности конкретных средств измерения для поставленной задачи. Речь идет о проведении динамических измерений, решении одной из сложнейших задач измерительной техники и метрологии, поскольку включает в себя вопросы нормирования, сертификации и поверки во временной области.

Диапазон подходов исследователей данной задачи достаточно широк. Порой здесь не обходится без курьезов.

Одни исследователи приводят пример 100-квартирного дома, где в полночь за 4 секунды наполняется 1-литровый чайник. На основании простейших умозаключений счетчики, измеряющие расход реже одного раза в четыре секунды, объявляют непригодными, поскольку упомянутый чайник может оказаться неучтенным или наоборот – наполненный стакан может быть ошибочно принят за чайник (о доле данного 1л воды в среднесуточном расходе 78м^3 при нормированных утечках до 8.5м^3 в сутки скромно умалчивают) [1].

Другие исследователи того же 100-квартирного дома объявляют быстропротекающие процессы в бытовой расходомерии и учете тепла случайными, обязательно с нормальным распределением, и называют любое отклонение измеренного значения мгновенного расхода (от среднего в диапазоне измерений) – динамической погрешностью. То есть среднеквадратическое отклонение принимается $\delta = \pm 34.4\%$, а доверительный интервал при 99.9% вероятности ($3 \cdot \delta$) простирается на весь диапазон измерения $\pm 100\%$! И вот эту «погрешность» предлагают усреднить за один час, принимая в качестве «независимого события», подлежащего усреднению, мгновенные значения измеренного расхода, помноженные на некоторое условное количество «одновременно включенных» нагрузок.

$$\gamma = \frac{\pm 100\%}{\sqrt{n \cdot N}}$$

Примерно так – делением всего диапазона измерений ($\pm 100\%$ относительно среднего значения) на корень квадратный из количества мгновенных измерений в час n

(умноженных на количество одновременно включенных нагрузок N) получена следующая таблица «погрешностей» γ .

Таблица 1

Период опроса, с, (изм/час)	0.1 (36000)	0.5 (7200)	1 (3600)	4 (900)	10 (360)	15 (240)	30 (120)	60 (60)	300 (12)
Относительная ошибка γ , %	0.2	0.5	0.7	1.4	2.1	2.6	3.7	5.3	40

Вывод: в 100-квартирном доме достоверный результат измерения расхода в часы максимальной нагрузки можно получить при частоте измерений не ниже 10 раз в секунду (лишь тогда вносимая динамическая погрешность будет 10 раз меньше допустимой для расходомера 2%). Абсурдность описанного подхода вычисления динамической погрешности и его результатов нам представляется очевидной.

Третьи исследователи утверждают, что для достоверного измерения среднечасовых значений расхода необходимо воспользоваться частотой измерения, исходя из спектральных характеристик контролируемого процесса по теореме Котельникова. Искомую частоту они определяют исходя из количества вероятных включений/выключений во всех точках разбора здания в течение часа. Вообще-то процесс включения потребителей никак не привязан к дискретной временной шкале, то есть фундаментально не имеет ограничений спектра. Поэтому точного «восстановления сигнала» не получится и при гораздо более высокой частоте. К счастью, для оценки интегральных характеристик стохастических процессов никакого «восстановления сигнала» не требуется.

Любопытно отметить также, что необходимая частота измерений расхода должна была бы расти (как критическая в теореме Котельникова) пропорционально количеству нагрузок за час, а в вероятностной модели – могла бы уменьшаться обратно пропорционально корню квадратному из того же количества нагрузок за час...

Так или иначе, попытки определиться с вопросом похвальны. Мы согласны с общим тезисом исследователей, сформулированном на качественном уровне: чем меньше период опроса расхода, тем выше точность измерения. Однако, более доскональное изучение имеющихся материалов показывает наличие в представленных выше подходах ряда допущений, не позволивших исследователям получить достоверную картину процесса.

Попытаемся провести собственную оценку динамической погрешности измерений расхода на основе статистического метода. События, происходящие при включении разнообразных нагрузок в точках разбора [2], можно разделить на три категории: 1) кратковременные включения на время t меньше, чем период измерения

расхода T ; 2) продолжительные включения на время t , превышающее период измерения расхода T ; 3) включения любой длительности на фоне расхода, близкого к максимальному в данном здании.

При событиях первой категории вероятность того, что событие включения нагрузки будет зарегистрировано $p = t/T$, а вероятность оставления данного события незамеченным $q = 1 - p = (T - t)/T$. Математическое ожидание подсчета некоторого количества N таких событий со средним расходом v л/с $M1 = v \cdot N \cdot p$. Таким образом, средняя длительность включения нагрузки такого типа и суммарный расход будут определены верно (при достаточном их количестве). Дисперсия показаний составит $D1 = v^2 \cdot N \cdot T^2 \cdot p \cdot q$, а среднее квадратическое отклонение от среднего $\delta 1 = v \cdot T \cdot \sqrt{N \cdot p \cdot q} = v \cdot T \cdot \sqrt{N \cdot p \cdot (1 - p)}$. Заметим, что максимальное значение $\delta 1$ принимает при $t/T = 0.5$ и равно $\delta 1 = v \cdot T \cdot \sqrt{N/4}$. Вычислять относительную погрешность измерения объема воды соответствующего количества N кратковременных включений пока рано – ведь вклад столь кратковременных нагрузок на потребление всего дома (и даже одной квартиры!) относительно невелик. Отчасти, малость влияния таких кратковременных нагрузок объясняется их малой амплитудой: наполнение стакана и даже чайника с расходом $v = 0.2$ л/с (0.72 м³/ч) и более – очень проблематично. При таком расходе (энергии струи) из крана вода будет выплескиваться из чайника.

При событиях второй категории ($t > T$) измерение расхода всегда происходит достоверно, за исключением крайних отсчетов, где возможно возникновение динамической погрешности, пропорциональной периоду измерений T . Математическое ожидание $M2$ такой погрешности равно нулю, дисперсия $D2 = v^2 \cdot N \cdot T^2 / 6$, а среднее квадратическое отклонение $\delta 2 = v \cdot T \cdot \sqrt{N/6}$.

При событиях третьей категории суммарный расход в здании близок к максимальному и определяется мощностью источника водоснабжения, суммой гидравлических сопротивлений подающего трубопровода и системы трубопроводов внутри здания (включая вентили, фильтры, диафрагмы, датчики расходомеров). Поэтому, начиная с некоторого количества включенных нагрузок, рост суммарного расхода вначале замедляется, а потом останавливается. Дальнейшее увеличение количества нагрузок не может увеличить суммарный расход, поэтому значения расходов в каждой точке раздачи снижается, а время необходимое для наполнения емкостей растет. Это приводит к прогрессивному снижению динамической погрешности измерений в часы максимальной нагрузки.

Приведем таблицу Табл.2 результатов расчета динамической погрешности в 100-квартирном доме, построенную исходя из того, что в системе потребления превалируют события потребления второго типа. При вычислении относительной погрешности принят доверительный интервал $\pm 3 \cdot \delta$, что соответствует вероятности попадания в данный интервал 99.9%

Таблица 2

Период опроса T, с	4	6	10	15	30
Час минимального потребления, $0.5\text{м}^3/\text{ч}$, γ , %	1,0	1,4	2,4	3,5	8,4
Час максимального потребления, $10.8\text{м}^3/\text{ч}$, γ , %	0,4	0,6	1,0	1,5	3,6
Одни сутки, 78м^3 , γ , %	0,14	0,21	0,35	0,5	1,3
Неделя, 546м^3 , γ , %	0,06	0,08	0,14	0,2	0,5
Месяц, 2340м^3 , γ , %	0,02	0,04	0,07	0,1	0,2

Заметим, что данные оценки погрешности весьма завышены: 1) для реальных объектов наблюдается заметное снижение дисперсии за счет ограничения максимального расхода в зданиях, при большом количестве активных потребителей, по нашим оценкам погрешность может при этом снизиться в 5-12 раз; 2) доверительный интервал 3δ – чрезвычайно жесткий: например, ограничившись доверительной вероятностью 95%, можно было бы снизить оценку погрешности в 1.5 раза; 3) среднее потребление $0,2\text{л}/\text{с}$ – не среднее, а весьма близкое к максимальному для реальных кратковременных потребителей [2]; 4) в оценках погрешности для часов с максимальным потреблением, суточных, недельных и месячных объемов потребления не учтены объемы утечек, которые постоянны и поэтому снижают оценку погрешности примерно в 1.2 раза.

В то же время при периоде опроса 30с и выше, события кратковременного потребления (t меньше, чем период опроса T) становятся превалирующими, оценка дисперсии оказывается примерно в 1,5 раза больше, а значит – оценки погрешности возрастут примерно в 1,2 раза, что отражено в Табл. 2.

Как видно из Табл. 2, статистическая погрешность измерения радикально снижается не только со снижением периода опроса расхода, но и, естественно, с увеличением времени измерения. При этом следует заметить, что ни суточные, ни недельные интервалы не являются отчетными.

Мало того, в разветвленных трубопроводах, каковыми и являются трубопроводы холодного и горячего водоснабжения, иногда встречаются флуктуации потока, вызванные гидравлическими резонансами системы на уровне единиц процентов от

величины номинального расхода и усугубляемые в период пикового потребления воды. Это явление приводит к периодическому опережению-запаздыванию изменений скорости потока в обратном трубопроводе. И его воздействие не может быть устранено снижением периода опроса измеряемого расхода. Эти колебания, имея период в десятки минут, также трудно усредняются, как и рассмотренная выше статистическая погрешность, и имеют ту же статистическую природу. В этом отношении расходомеры и теплосчетчики с минимальным и максимальным периодами опроса по величине статистической погрешности практически уравниваются по состоянию отчетного периода, на конец месяца.

Выводы:

1. Для точного общедомового ежемесячного учета воды и тепла пригодны приборы учета с периодом опроса расхода вплоть до 30 секунд и даже выше.
2. Предложения директивно пронормировать период опроса расхода «на уровне секунды или долей секунды» содержат интерес продвигенцев конкретного оборудования, а не реальные потребности потребителей.

Литература

1. Исаев В. Н. и Пупков М. В. Управление водопотреблением и точность учета воды в жилом фонде. Сантехника, №6, 2006.
2. СНИП 2.04.01-85. Внутренний водопровод и канализация зданий.