

## К ВОПРОСУ О СЛИЧЕНИЯХ ПРОЛИВНЫХ РАСХОДОМЕРНЫХ УСТАНОВОК

А.А. Данилов

Поводом для настоящей публикации послужила статья [1] настоящих энтузиастов – Каханкова А.Е. и Чигинева А.В., в которой они привели методику и результаты межлабораторных сличений расходомерных стандов. Названная статья послужила именно поводом ещё раз определиться с целью и возможностями столь трудоёмких исследований.

Сделаем некоторые общепринятые допущения:

1. В сличениях участвуют только пригодные к применению (т.е. поверенные) проливные расходомерные установки, к которым никаких претензий нет.

2. Участие в сличениях добровольное.

3. Цель сличений – оценка степени доверия к результатам измерений, получаемых с помощью применяемых проливных расходомерных установок, в том числе, быть может, выявление общепризнанной лаборатории, которая впоследствии может быть принята в качестве референтной.

Учитывая многообразие принципов построения проливных установок, в качестве меры сличения выберем объёмный расходомер.

Как отмечалось раньше [2–4], важно, чтобы при проведении сличений условия воспроизводимости были по-возможности приближены к условиям повторяемости. К сожалению, это не всегда реализуемо, т.к. одинаковое значение объёмного расхода может быть не воспроизведено (точнее, не может быть воспроизведено!) на двух даже идентичных установках.

Какие в этом случае возможны варианты? По-видимому, следующие два.

Первый вариант, обеспечивающий условия повторяемости, может быть реализован для установок воспроизведения объёмного расхода, в которых в качестве эталона используются объёмные расходомеры, и заключается в следующем. Объёмные эталонные расходомеры демонтируются со своих установок и «проливаются» одновременно на какой-либо проливной расходомерной установке, из участвующих в сличениях. Возможны способы реализации первого варианта, в которых все объёмные эталонные расходомеры «проливаются» на каждой из проливных расходомерных установок при всех возможных сочетаниях размещений расходомеров на рабочем столе. Преимущества первого варианта очевидны: для сличаемых объёмных расходомеров обеспечиваются одинаковые условия, в том числе и измеряемого объёмного расхода. Недостатки тоже очевидны: как организационные сложности реализации эксперимента, так и невозможность участия в сличениях установок воспроизведения массового расхода.

Второй вариант, наиболее употребительный заключается в использовании объёмного расходомера в качестве меры сравнения, которую последовательно «проливают» при различных значениях воспроизводимого расхода на каждой из проливных расходомерных установок, участвующих в сличениях. К преимуществам второго варианта следует отнести возможность участия в сличениях установок воспроизведения массового расхода, а к недостаткам – невозможность обеспечения условий воспроизводимости, близких к условиям повторяемости. В том числе это касается и невозможности воспроизведения абсолютно одинаковых значений расхода на различных проливных расходомерных установках. С этим недостатком можно было бы сравнительно легко справиться при наличии объёмного расходомера, используемого в качестве меры сравнения, для которого известна градуировочная характеристика с приемлемой точностью (которая, к сожалению, обычно неизвестна).

Следовательно, приходится искать иные варианты математической обработки результатов сличений, один из которых заключается в следующем.

Для упрощения математических выкладок (из-за ограниченного объёма настоящей публикации) сделаем следующие предположения:

1. Установки, принимающие участие в сличениях, основаны на воспроизведении объёмного расхода, значения которого контролируются с помощью объёмных эталонных расходомеров.

2. Действительное значение  $\varepsilon$  погрешности  $i$  – го объёмного эталонного расходомера для каждого из воспроизводимых значений объёмного расхода  $Q$  можно представить суммой двух составляющих – систематической  $\varepsilon_{i \text{ сист}}$  и случайной  $\varepsilon_{i \text{ случ}}$ .

3. Действительное значение  $\varepsilon$  погрешности объёмного эталонного расходомера, применяемого в качестве меры сравнения, для каждого из воспроизводимых значений объёмного расхода  $Q$  также можно представить суммой двух составляющих – систематической  $\varepsilon_{\text{МС сист}}$  и случайной  $\varepsilon_{\text{МС случ}}$ .

4. Действительное значение систематических составляющих погрешности объёмных эталонных расходомеров не имеют разрывов и изменяются несущественно в окрестности воспроизводимых значений объёмного расхода  $Q$ , что иллюстрируется зависимостью, изображённой на рис. 1.

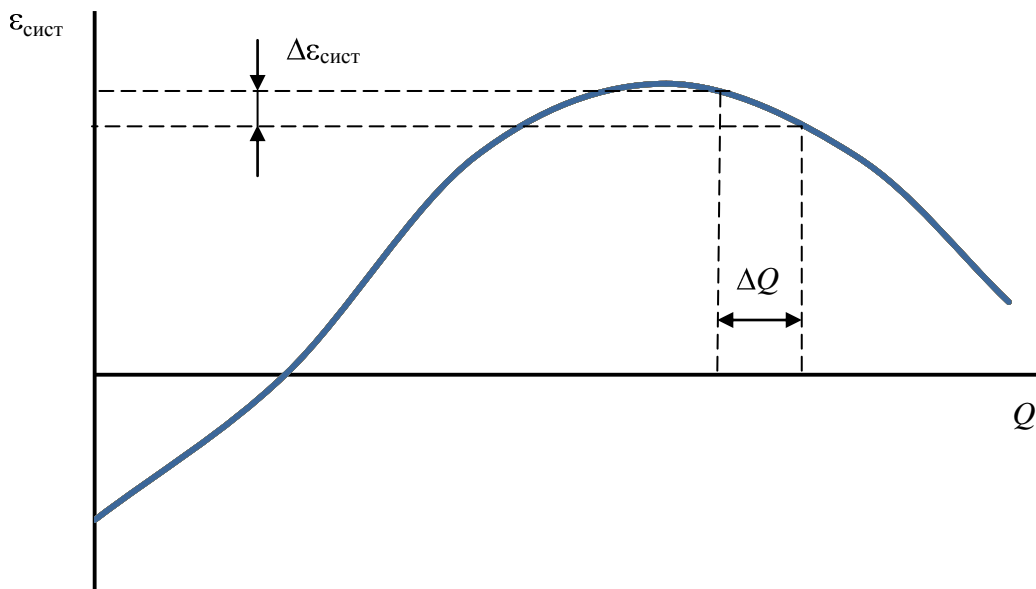


Рис. 1. Пример зависимости систематической составляющей погрешности объёмных расходомеров от измеряемого объёмного расхода

5. При отклонении значения объёмного расхода от номинального в разумных пределах (например, до 5% от верхнего предела измерений объёмного расхода, что сравнительно легко может быть реализовано при воспроизведении номинального значения проверяемой точки в диапазоне воспроизведения объёмного расхода с помощью каждой из сличаемых проливных расходомерных установок) систематическая составляющая погрешности изменяется всего на  $\Delta\varepsilon_{\text{сист}}$ . Для упрощения расчётов предполагаем  $\Delta\varepsilon_{\text{сист}} = 0$ .

6. Для каждой проверяемой точки диапазона измерений объёмного расхода каждой из сличаемых проливных расходомерных установок действительные значения  $\varepsilon_{i \text{ сист}}$  систематических составляющих погрешности независимы между собой и случайны на множестве сличаемых проливных расходомерных установок.

7. Для каждой проверяемой точки диапазона измерений объёмного расхода каждой из сличаемых проливных расходомерных установок выполнено достаточное количество измерений, что позволяет пренебречь случайной составляющей погрешности в точечных оценках выборочных средних.

Принятые допущения позволяют составить систему из  $n$  уравнений (по числу сличаемых проливных расходомерных установок) с  $n + 1$  неизвестными (действительными значениями систематических составляющих погрешности  $n$  объёмных эталонных расходомеров и объёмного эталонного расходомера, применяемого в качестве меры сравнения):

$$\begin{cases} \varepsilon_1 = \varepsilon_{\text{МС сист}} - \varepsilon_{1 \text{ сист}} \\ \varepsilon_n = \varepsilon_{\text{МС сист}} - \varepsilon_{n \text{ сист}} \end{cases}$$

Сложив  $n$  уравнений системы, после преобразований получим:

$$\varepsilon_{\text{MC сист}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \varepsilon_i + \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \varepsilon_{i \text{ сист}}.$$

Учитывая принятое допущение б, т.е.

$$\sum_{i=1}^n \varepsilon_{i \text{ сист}} \approx 0,$$

получим:

$$\varepsilon_{\text{MC сист}} \approx \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \varepsilon_i.$$

Таким образом, усреднением результатов  $n$  сличений показаний объёмного эталонного расходомера, применяемого в качестве меры сравнения, с показаниями объёмных эталонных расходомеров, может быть получена оценка действительного значения систематической составляющей погрешности меры сравнения, подстановка которого в приведённую выше систему позволяет получить оценки действительных значений систематических составляющих погрешности каждого из объёмных эталонных расходомеров:

$$\varepsilon_{i \text{ сист}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \varepsilon_i - \varepsilon_i.$$

Осталось определиться с минимальным количеством сличаемых проливных расходомерных установок. Для этого целесообразно воспользоваться результатами, приведёнными в работе [5], в соответствии с которыми достаточно  $n=8$  в предположении, что все сличаемые проливные расходомерные установки обладают сопоставимой точностью.

Таким образом, оценка действительного значения погрешности объёмных эталонных расходомеров может быть выполнена сличениями не менее 8 проливных расходомерных установок одинакового уровня точности при использовании объёмного эталонного расходомера в качестве меры сравнения.

### Список литературы

1. Каханков А.Е., Чигинев А.В. Межлабораторные сличения расходомерных стенов – новые результаты // [http://teplotpunkt.ru/forum/index.php?t=828&a=stdforum\\_view&o=&st=0](http://teplotpunkt.ru/forum/index.php?t=828&a=stdforum_view&o=&st=0)
2. Данилов А.А. Теоретические основы сличения эталонов // В сб. докл. XXIV Межд. науч.-прак. конф. правильности “Коммерческий учет энергоносителей”: Санкт-Петербург, ноябрь, 2006.
3. Тамми В.В. Несходимость показаний расходомерных установок // В сб. докл. XXVII Межд. науч.-прак. конф. “Коммерческий учет энергоносителей”: Санкт-Петербург, май, 2008.
4. Данилов А.А. О достоверности результатов сличений проливных расходомерных установок // В сб. докл. XXVIII Межд. науч.-прак. конф. “Коммерческий учет энергоносителей”: Санкт-Петербург, ноябрь, 2008.
5. Бержинская М.В. Об оценивании нестабильности средства сличения // В сб. докл. XXIX Межд. науч.-прак. конф. “Коммерческий учет энергоносителей”: Санкт-Петербург, апрель, 2009.

### Автор

Данилов Александр Александрович – зам. директора ФГУ “Пензенский ЦСМ”, д.т.н., профессор  
Россия, 440039, Пенза, ул. Комсомольская, 20 [www.penzacsm.ru](http://www.penzacsm.ru)  
Тел. (841-2) 49-51-90, факс 49-82-65 E-mail: [aa-dan@mail.ru](mailto:aa-dan@mail.ru)