

О ДОСТОВЕРНОСТИ РЕЗУЛЬТАТОВ СЛИЧЕНИЙ ПРОЛИВНЫХ РАСХОДОМЕРНЫХ УСТАНОВОК

А. А. Данилов, д.т.н., профессор, зам. директора ФГУ «Пензенский ЦСМ»

Многолетняя практика проведения сличений проливных расходомерных установок (проводимых уважаемыми коллективами), результаты которых были опубликованы в том числе и в сборниках трудов конференции «Коммерческий учёт энергоносителей», к сожалению, показывает невысокую сходимость характеристик мер сравнения (средств измерений, направляемых на сличения), полученных с помощью различных проливных расходомерных установок, что вызывает не только скептическое отношение к этой работе, но и боязнь участия в ней.

В связи с этим считаю необходимым повторно [1] обратить внимание на особенности, которые должны быть учтены в программах проведения сличений эталонов, и сформулировать некоторые рекомендации, основанные на ГОСТ Р ИСО 5725 [2], которые, на мой взгляд, могут повысить достоверность результатов сличений проливных расходомерных установок.

В соответствии с ГОСТ Р ИСО 5725 [2] «на изменчивость результатов измерений, выполненных по одному методу, помимо различий между предположительно идентичными образцами (мерами сравнения), могут влиять многие различные факторы, в том числе:

- а) оператор;
- б) используемое оборудование;
- в) калибровка оборудования;
- г) параметры окружающей среды (температура, влажность, загрязнение воздуха и т.д.);
- д) интервал времени между измерениями.

Различия между результатами измерений, выполняемых разными операторами и/или с использованием различного оборудования, как правило, будут больше, чем между результатами измерений, выполняемых в течение короткого интервала времени одним оператором с использованием одного и того же оборудования».

Следовательно, даже при выполнении повторных измерений на одном и том же оборудовании могут быть получены различные результаты. При этом под повторными независимыми измерениями должны пониматься измерения с полным повторением процедуры измерений, регламентированной методикой, включая монтаж/демонтаж мер сравнения — расходомеров, а не только фиксацией результатов измерений, выполненных последовательно. Разумеется, проведение таких измерений более трудоёмко, но именно такая процедура

предусмотрена ГОСТ Р ИСО 5725 [2] — что толку смотреть на весы, положив на них гирю, другого результата всё равно не получить — вот если гирю снимать, и возвращать на место, предварительно подготовив весы к взвешиванию и убедившись в правильной настройке весов, тогда и результат может получиться другой — это и будет проверкой повторяемости.

Очевидно, что при неизменных факторах а)-д) изменчивость результатов измерений будет меньше, чем при их изменении. Именно поэтому ГОСТ Р ИСО 5725 [2] вводит такие понятия как прецизионность, повторяемость и воспроизводимость:

- «**прецизионность** — степень близости друг к другу независимых результатов измерений, полученных в конкретных регламентированных условиях»;
- «**повторяемость** — прецизионность в условиях повторяемости, т.е. в условиях, при которых независимые результаты измерений получаются одним и тем же методом на идентичных объектах испытаний, в одной и той же лаборатории, одним и тем же оператором, с использованием одного и того же оборудования, в пределах короткого промежутка времени»;
- «**воспроизводимость** — прецизионность в условиях воспроизводимости, т.е. в условиях, при которых результаты измерений получают одним и тем же методом, на идентичных объектах испытаний, в разных лабораториях, разными операторами, с использованием различного оборудования».

Поскольку «прецизионность зависит только от случайных погрешностей и не имеет отношения к истинному или установленному значению измеряемой величины» [2], то к сличениям имеет смысл допускать лишь те эталоны, для которых различие результатов измерений, выполненных в условиях повторяемости, не превышает установленного предела повторяемости. Только с помощью таких эталонов могут быть получены закономерно повторяющиеся результаты измерений в условиях повторяемости. При этом в качестве предела повторяемости n результатов измерений, выполненных в условиях повторяемости, принимается $1,96 \sigma_w \times n^{0,5}$ [2], где σ_w — внутрилабораторное среднее квадратическое отклонение повторяемости, в качестве которого может быть принято среднее квадратическое отклонение случайной составляющей погрешности проливной расходомерной установки. В качестве оценки σ_w сверху (в предположении, что систематическая составляющая погрешности проливной расходомерной установки пренебрежимо мала) может быть принято $\sigma_w \leq \Delta/2$, Δ — предел допускаемой абсолютной погрешности проливной расходомерной установки в проверяемой точке воспроизведения расхода. При этом указанное различие n результатов измерений, выполненных в условиях

повторяемости, не должно превышать $\Delta \times n^{0,5}$. Учитывая, что кроме случайной составляющей погрешности эталон содержит и систематическую составляющую погрешности, то в предположении равенства границ указанных составляющих погрешности в качестве оценки σ_w целесообразно принять $\sigma_w = \Delta/4$. При этом в качестве предела повторяемости n результатов измерений, выполненных в условиях повторяемости, может быть принято $\Delta \times n^{0,5}/2$.

Если же факторы а)-д) не будут неизменными, то результаты измерений могут существенно превысить предел повторяемости. Подтверждение сказанному приведено в работе [3].

Именно поэтому при проведении сличений эталонов необходимо, по возможности, уменьшить изменчивость факторов а)-е), чтобы минимизировать значение воспроизводимости, чтобы оно в пределе стремилось к значению повторяемости. Разумеется, оборудование будет другое — именно оно и подлежит сличению, но остальные факторы желательно стабилизировать. При этом самое сложное — минимизировать диапазоны изменения влияющих величин в пределах регламентированных условий проведения сличений во всех лабораториях, участвующих в сличениях. Условия проведения сличений должны быть более жёсткими, чем нормальные условия эксплуатации, используемые при поверке [1]. В противном случае погрешность проливной расходомерной установки только за счёт изменения условий сличений (в пределах нормальных условий) может измениться в пределах $\pm 0,35\Delta$ [4]. Кроме того, при изменении температуры окружающего воздуха и температуры воды на достоверность результатов сличений повлияет и изменчивость характеристик меры сравнения — расходомера. Поэтому пределы допускаемых отклонений температуры окружающего воздуха и температуры воды от 20°C должны быть не хуже $\pm 2^\circ\text{C}$ (или даже $\pm 1^\circ\text{C}$). К сожалению, не во всех лабораториях могут быть реализованы указанные требования к отклонениям температуры окружающего воздуха, и не все установки позволяют стабилизировать температуру воды... Однако иначе при изменяющихся от лаборатории к лаборатории условиях проведения сличений невозможно будет достичь желаемой достоверности результатов их сличений и отыскать погрешности проливных расходомерных установок — они «потонут» среди многих других составляющих!

Кроме характеристик случайной погрешности — повторяемости и воспроизводимости — ГОСТ Р ИСО 5725 [2] вводит также и понятие систематической погрешности — правильности:

«правильность — степень близости среднего значения, полученного на основании большой серии результатов измерений, к принятому опорному значению».

При этом «принятое опорное значение — значение, которое служит в качестве согласованного для сравнения и получено как:

- а) теоретическое или установленное значение, базирующееся на научных принципах;
- б) приписанное или аттестованное значение, базирующееся на экспериментальных работах какой-либо национальной или международной организации;
- в) согласованное или аттестованное значение, базирующееся на совместных экспериментальных работах под руководством научной или инженерной группы;
- г) математическое ожидание измеряемой характеристики, то есть среднее значение заданной совокупности результатов измерений — лишь в случае, когда а), б) и в) недоступны».

При сличении эталонов важно оценить именно систематическую погрешность эталона (т.е. правильность), поскольку в соответствии с Федеральным законом «Об обеспечении единства измерений» [5]: «сличение эталонов единиц величин — совокупность операций, устанавливающих соотношение между единицами величин, воспроизводимых эталонами единиц величин одного уровня точности и в одинаковых условиях».

Другими словами, для определения правильности необходимо иметь меры сравнения, значения характеристик которых известны. К сожалению, при проведении сличений проливных расходомерных установок, значения характеристик мер сравнения обычно неизвестны, а потому в качестве принятого опорного значения приходится довольствоваться лишь «г) математическим ожиданием измеряемой характеристики», поскольку а) не существует, а б) и в) недоступны. Однако оценке «математического ожидания измеряемой характеристики» также не следует доверять, если она получена с использованием результатов измерений с неудовлетворительными повторяемостью и воспроизводимостью.

Кроме того, в соответствии с Р 50.2.050 [6] «в качестве меры сравнения используют меру более высокого разряда по сравнению со сличаемыми средствами поверки, либо стабильную меру одинакового с ними уровня точности», для которой в соответствии с пунктом 6.1 [6] известно действительное значение. Следовательно, для определения правильности проливных расходомерных установок необходимо использовать расходомеры, обладающие достаточно высокой стабильностью характеристик (нестабильность меры сравнения за время проведения сличений не должна превышать 20% от погрешности меры сравнения [6]), для которых проведена индивидуальная градуировка функции преобразования. При этом следует обеспечить стабильность значений характеристик мер сравнения «на протяжении любых

интервалов времени, которые могут предшествовать периоду фактического выполнения измерений» [2].

Выводы и предложения

1. К сличениям имеет смысл допускать лишь те проливные расходомерные установки, для которых различие n результатов измерений, выполненных в условиях повторяемости (с полным повторением процедуры измерений, регламентированной методикой, включая монтаж/демонтаж мер сравнения — расходомеров в каждом из независимых измерений), не превышает предела повторяемости, в качестве которого может быть принято $\Delta \times n^{0,5} / 2$.
2. При проведении сличений проливных расходомерных установок необходимо минимизировать диапазоны изменения влияющих величин во всех лабораториях, участвующих в сличениях. В частности, пределы допускаемых отклонений температуры окружающего воздуха и температуры воды от 20°C должны быть не хуже $\pm 2^\circ\text{C}$ (или даже $\pm 1^\circ\text{C}$), а не $\pm 5^\circ\text{C}$, как это обычно принято при поверке. При этом и пределы повторяемости следует уменьшить.
3. В качестве меры сравнения необходимо использовать расходомеры, нестабильность которых за время проведения сличений не превышает 20% от погрешности меры сравнения, для которых проведена индивидуальная градуировка функции преобразования.