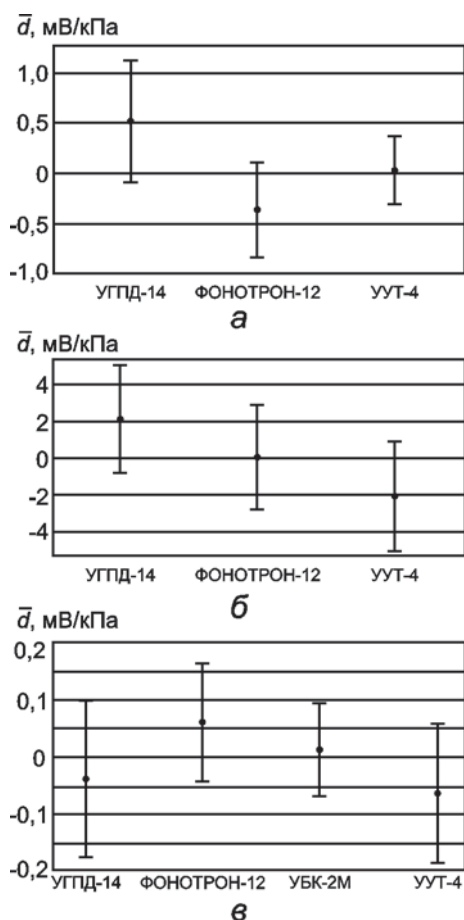




Результаты сличений эталонных установок с помощью эталона сличения с датчиком 8510В-200 (а); 7031 (б); М113В31 (в)

На основании данных, приведенных в табл. 3 и на рисунке, можно сделать вывод о том, что результаты измерений коэффициентов преобразования, полученные на различных эталонных установках и с разными эталонами сличений, достоверные и согласуются между собой с заявленными неопределенностями. Это позволяет утверждать, что различными эталонными установками, входящими в состав государственного эталона ГЭТ 131—81, обеспечивается воспроизводимость единицы давления для области переменных давлений.

Литература

1. **ГОСТ 8.433—81.** ГСИ. Государственный специальный эталон и государственная поверочная схема для средств измерений переменного давления в диапазоне $1 \cdot 10^2$ — $1 \cdot 10^6$ Па для частот от $5 \cdot 10^{-2}$ до $1 \cdot 10^4$ Гц и длительностей от $1 \cdot 10^{-5}$ до 10 с при постоянном давлении до $5 \cdot 10^6$ Па.
2. **Верозубов С. Е., Смирнов В. Я.** Эталонные СИ для области переменных давлений. Практика их применения // Метрологическое обеспечение обороны и безопасности в Российской Федерации: Тез. докл. VI Всерос. науч.-техн. конф. М., 2006. Ч. 1. С. 35—37.
3. **COOMET R/GM/14:2006.** Руководство по оцениванию данных ключевых сличений COOMET.

Дата принятия 02.08.2010 г.

681.121

Об оценке воспроизводимости результатов поверки счетчиков — расходомеров воды

В. А. ВЛАСОВ*, Е. М. ЗЫБИН**

* Ростест-Москва, Москва, Россия, e-mail: info@rotest.ru

** ОАО «Центральная Метрологическая Компания», Москва, Россия, e-mail: mservis@onsite.ru

Предложен подход к анализу метрологической сопоставимости поверочных расходомерных установок и различных позиций рабочего стола отдельной установки. Приведены результаты экспериментальных исследований.

Ключевые слова: расходомеры воды, поверка, воспроизводимость результатов.

The approach to analysis of metrological comparability of flowmetric verification installations and of separate installation working table position is proposed. The experimental research results are given.

Key words: water flowmeters, verification, reproducibility results.

Расходомерные установки для поверки счетчиков жидкости в целях обеспечения высокой производительности снабжены многопозиционными рабочими столами. Количество

одновременно поверяемых приборов достигает двадцати. Однако при поверке в условиях гидродинамического подобия, т. е. при одинаковых расходах одного и того же эк-

земплера счетчика — расходомера воды, последовательно смонтированного на разных позициях рабочего стола, количественные результаты могут отличаться.

Способ оценки влияния того, что течение жидкости по гидравлическому тракту установки, включая рабочий стол, не является стационарным и однородным, рассмотрен в [1], где для сопоставления потоков на различных позициях рабочего стола предложен коэффициент сопоставимости

$$K_m = \frac{\left| \frac{\max_n \delta_{mn} - \min_n \delta_{mn}}{\Delta_p} \right|}{\Delta_p},$$

где $\max \delta_{mn}$, $\min \delta_{mn}$ — максимальное и минимальное средние значения относительных погрешностей n -го прибора на различных позициях рабочего стола при m -м расходе; Δ_p — предел допускаемой относительной погрешности поверяемого прибора.

В качестве характеристики рабочего стола можно предложить также и коэффициент

$$K'_m = \frac{\max_n \left| \delta_{mn} - \overline{\delta_m} \right|}{\Delta_p}.$$

Если условно принять $\overline{\delta_m}$ за основную систематическую погрешность прибора при m -м расходе, то числитель коэффициента K'_m можно рассматривать как еще одну «дополнительную» составляющую основной погрешности, источником которой является нестационарность и неоднородность потока жидкости, т. е. неидентичность позиций рабочего стола.

Условность заключается в том, что дополнительная погрешность, будучи следствием воздействия каких-то известных факторов, обычно детерминирована и формализована через функцию влияния. В рассматриваемом случае она носит случайный характер.

Коэффициент сопоставимости потоков на различных позициях рабочего стола можно считать достаточно важным параметром поверочной установки, характеризующим качество ее гидравлического тракта.

Результаты экспериментальных исследований [1, 2] показали, что при поверке электромагнитных расходомеров на некоторых установках с рабочим столом, снабженным зажимным устройством, коэффициент сопоставимости потоков находится в диапазоне от нескольких десятых до единицы.

Полученная картина была подтверждена и при исследованиях, проведенных по аналогичной методике, крыльчатых счетчиков [3]. Работы выполнены на установках УП-1525/2565 и УП-65 (ОАО «Центральная Метрологическая Компания») с пределом допускаемой относительной погрешности при объемном методе измерения $\Delta_p = 0,2$ %. Установки позволяют поверять рабочие счетчики по нормам [4].

Эталонные расходомеры, входящие в установки, были калиброваны массовым методом по результатам десяти измерений во всем рабочем диапазоне расхода непосредственно перед выполнением данной работы. При этом их действительные метрологические характеристики были значительно выше нормированных.

В качестве инструмента сопоставления использовали крыльчатые счетчики воды D_{y15} моделей ET-I («Lorenz») и FAZ ETWi («Minomess») с пределом допускаемой относительной погрешности $\Delta_p = 2$ % для 1-го и 2-го поверочных расходов и $\Delta_p = 5$ % для 3-го поверочного расхода.

Выполнены четыре серии измерений (приборы каждой из двух моделей прошли поверку последовательно на каждой из двух установок). Результаты одной серии измерений приведены в табл. 1.

Очевидно, что степень влияния конфигурации потока [1] на результаты поверки приборов зависит от принципа действия счетчика-расходомера. Для крыльчатых счетчиков, например, она должна быть меньше, чем для приборов типа «площадь—скорость».

Таблица 1

Результаты экспериментальных исследований приборов моделей ET-I («Lorenz») на установке УП-1525/2565

Заводской номер прибора	Номер позиции, n	Значения погрешности и коэффициентов сопоставимости для поверочных расходов								
		1-го			2-го			3-го		
		$\delta_{1n}, \%$	K_1	K'_1	$\delta_{2n}, \%$	K_2	K'_2	$\delta_{3n}, \%$	K_3	K'_3
413798	1	–0,03	0,23	0,12	–1,41	0,09	0,05	–1,88	0,13	0,08
	2	0,25			–1,36			–1,23		
	3	0,43			–1,53			–1,30		
	Среднее	0,22			–1,43			–1,47		
413799	1	0,20	0,26	0,14	–0,68	0,22	0,12	–0,77	0,30	0,20
	2	0,73			–0,23			0,74		
	3	0,43			–0,38			0,66		
	Среднее	0,45			–0,43			0,21		
413803	1	1,08	0,11	0,06	–0,21	0,17	0,09	–1,89	0,22	0,13
	2	1,22			–0,55			–1,62		
	3	1,29			–0,33			–2,73		
	Среднее	1,20			–0,36			–2,08		

Таблица 2

Нормализованные результаты экспериментальных исследований

Условный номер счетчика, x_1	Номер позиции на рабочем столе, x_2	Поверочный расход, $\text{м}^3/\text{ч}$, x_3	Нормализованное значение случайной составляющей основной погрешности, %, y	Условный номер счетчика, x_1	Номер позиции на рабочем столе, x_2	Поверочный расход, $\text{м}^3/\text{ч}$, x_3	Нормализованное значение случайной составляющей основной погрешности, %, y	Условный номер счетчика, x_1	Номер позиции на рабочем столе, x_2	Поверочный расход, $\text{м}^3/\text{ч}$, x_3	Нормализованное значение случайной составляющей основной погрешности, %, y
1	1	1,5	-0,015	1	1	0,15	-0,705	1	1	0,03	-0,376
1	2	1,5	0,125	1	2	0,15	-0,680	1	2	0,03	-0,246
1	3	1,5	0,215	1	3	0,15	-0,765	1	3	0,03	-0,260
2	1	1,5	0,100	2	1	0,15	-0,340	2	1	0,03	-0,154
2	2	1,5	0,365	2	2	0,15	-0,115	2	2	0,03	0,148
2	3	1,5	0,215	2	3	0,15	-0,190	2	3	0,03	0,132
3	1	1,5	0,540	3	1	0,15	-0,105	3	1	0,03	-0,378
3	2	1,5	0,610	3	2	0,15	-0,275	3	2	0,03	-0,324
3	3	1,5	0,645	3	3	0,15	-0,165	3	3	0,03	-0,546

Результаты экспериментальных исследований показывают, что коэффициент сопоставимости — существенная характеристика, отражающая качество и рабочего стола установки, и монтажа поверяемых приборов на нем, и гидравлического тракта установки в целом.

Статистический анализ данных измерительного эксперимента, приведенных в табл. 2, показал, что для систематической нормализованной составляющей основной погрешности крыльчатых счетчиков D_{y15} моделей ET-I («Lorenz») по критерию минимума погрешности неадекватности имеет следующая зависимость:

$$\tilde{\Delta}_s(x_2, x_3) = -4,0998319 \cdot 10^{-1} + 3,9666668 \cdot 10^{-2} x_2 + 4,2219222 \cdot 10^{-1} x_3 \pm 0,78 \approx -0,41 + 0,04x_2 + 0,42x_3 \pm 0,78, \quad (1)$$

где 0,78 — средний модуль погрешности неадекватности модели [5].

Результаты обработки данных измерительного эксперимента с использованием алгоритма структурно-параметрической идентификации ММКМНК-3 эталонной программы «ММК-стат М20» [5] представлены на рис. 1 и в табл. 3.

Исключение нормализованной систематической погрешности (1) позволяет оценить распределение нормализованной случайной составляющей погрешности [6]. Влияние позиции на рабочем столе на случайную составляющую основной погрешности счетчика за вычетом систематической составляющей показано на рис. 2.

Таким образом, можно допустить, что центрированная случайная составляющая нормализованной основной погрешности счетчиков на выбранных позициях рабочего стола соответствует равномерному распределению в пределах от -0,537 до +0,466, что для рассмотренного объема выборки $N = 27$ с учетом поправочного множителя $(N + 1)/(N - 1)$ окончательно дает [-0,624; +0,476].

Учет нормализованного предела допускаемой погрешности поверочной установки для худшего случая $(0,2\% / 2,0\% = 0,1)$ окончательно дает интервал возможных значений нормализованной основной погрешности счетчиков [-0,724; +0,576].

Зависимость нормализованной основной погрешности счетчиков от x_2 (позиции на рабочем столе) и от x_3 (поверочного расхода) принимает вид

$$\Delta_{ON}(x_2, x_3) = -0,41 + 0,04x_2 + 0,42x_3 \begin{matrix} +0,576 \\ -0,724 \end{matrix}.$$

Полученное выражение отражает влияние позиции рабочего стола на количественные результаты поверки приборов, точно так же, как в иной форме — коэффициент сопоставимости.

Из сводной табл. 4, в которой приведены результаты вычисления коэффициентов сопоставимости для всех четырех серий измерений, видно, что дополнительная погрешность

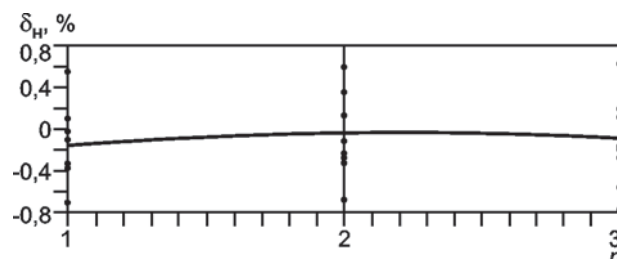


Рис. 1. Влияние позиции на рабочем столе на систематическую составляющую основной погрешности счетчика:

n — номер позиции на рабочем столе; δ_n — нормализованное значение случайной составляющей основной погрешности счетчика

Таблица 3

Нормализованные результаты экспериментальных исследований основной погрешности за вычетом систематической составляющей

Условный номер счетчика, x_1	Номер позиции на рабочем столе, x_2	Поверочный расход, $m^3/ч$, x_3	Нормализованное значение случайной составляющей основной погрешности, %, y	Условный номер счетчика, x_1	Номер позиции на рабочем столе, x_2	Поверочный расход, $m^3/ч$, x_3	Нормализованное значение случайной составляющей основной погрешности, %, y	Условный номер счетчика, x_1	Номер позиции на рабочем столе, x_2	Поверочный расход, $m^3/ч$, x_3	Нормализованное значение случайной составляющей основной погрешности, %, y
1	1	1,5	-0,278	1	1	0,15	-0,398	1	1	0,03	-0,018
1	2	1,5	-0,178	1	2	0,15	-0,413	1	2	0,03	0,072
1	3	1,5	-0,127	1	3	0,15	-0,537	1	3	0,03	0,018
2	1	1,5	-0,163	2	1	0,15	-0,033	2	1	0,03	0,204
2	2	1,5	0,062	2	2	0,15	0,152	2	2	0,03	0,466
2	3	1,5	-0,127	2	3	0,15	0,038	2	3	0,03	0,410
3	1	1,5	0,277	3	1	0,15	0,202	3	1	0,03	-0,020
3	2	1,5	0,307	3	2	0,15	-0,008	3	2	0,03	-0,006
3	3	1,5	0,303	3	3	0,15	0,063	3	3	0,03	-0,268

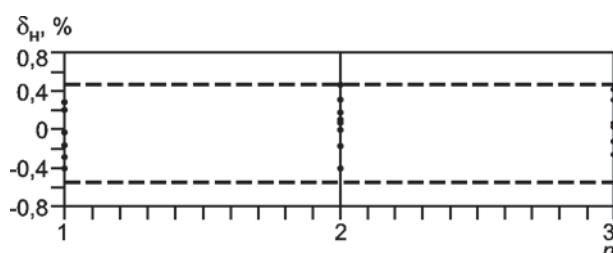


Рис. 2. Влияние позиции на рабочем столе на случайную составляющую основной погрешности счетчика за вычетом систематической составляющей

крыльчатых счетчиков, источником которой является «неравнозначность» позиций рабочего стола, может составлять до 30 % основной погрешности. Оценить порядок величины

коэффициента сопоставимости можно по результатам экспериментальных исследований и при одном поверочном расходе, например, максимальном. Эта «неравнозначность» — прямое следствие конструктивных особенностей гидравлического тракта конкретной установки.

Применив изложенную выше методику, рассмотрим коэффициент сопоставимости рабочих столов двух различных установок

$$K_{AB} = (\bar{\delta}_{Am} - \bar{\delta}_{Bm}) / \Delta_p,$$

где K_{AB} — коэффициент сопоставимости рабочих столов установок А и В; $\bar{\delta}_{Am}$, $\bar{\delta}_{Bm}$ — средние арифметические значения погрешности прибора на рабочем столе при m -м пове-

Таблица 4

Результаты вычисления коэффициентов сопоставимости для четырех серий измерений на установках УП-1525/2565 и УП-65

Заводской номер прибора	Значения коэффициентов сопоставимости для поверочных расходов											
	УП-1525/2565						УП-65					
	1-го		2-го		3-го		1-го		2-го		3-го	
	K	K'	K	K'	K	K'	K	K'	K	K'	K	K'
413798	0,23	0,12	0,09	0,05	0,13	0,08	0,27	0,17	0,01	0,01	0,48	0,30
413799	0,26	0,14	0,22	0,12	0,30	0,20	0,03	0,02	0,26	0,17	0,19	0,12
413803	0,11	0,06	0,17	0,09	0,22	0,13	0,38	0,22	0,30	0,17	0,23	0,13
2166710	0,22	0,14	0,61	0,31	0,19	0,09	0,15	0,10	0,14	0,08	0,13	0,08
2166627	0,27	0,15	0,15	0,08	0,08	0,04	0,26	0,14	0,23	0,12	0,37	0,21
2166697	0,08	0,05	0,48	0,32	0,10	0,06	0,07	0,05	0,29	0,18	0,07	0,04

Результаты последовательной поверки приборов на установках УП-1525/2565 и УП-65

Модель и заводской номер прибора		Значения погрешностей и коэффициентов сопоставимости для поверочных расходов								
		1-го			2-го			3-го		
		$\bar{\delta}_{A1}$	$\bar{\delta}_{B1}$	K_{AB1}	$\bar{\delta}_{A2}$	$\bar{\delta}_{B2}$	K_{AB2}	$\bar{\delta}_{A3}$	$\bar{\delta}_{B3}$	K_{AB3}
ET-I	413798	0,22	0,20	0,01	-1,43	-1,28	-0,08	-1,47	-3,44	0,39
	413799	0,45	0,16	0,15	-0,43	-1,13	0,35	0,21	-0,44	0,13
	413803	1,20	0,81	0,20	-0,36	-1,20	0,42	-2,08	-3,92	0,37
FAZETWi	2166710	0,79	0,26	0,27	2,29	1,52	0,39	1,23	1,62	-0,08
	2166627	0,68	0,08	0,30	0,69	0,42	0,14	-1,24	-0,82	-0,08
	2166697	0,60	0,36	0,12	1,32	0,87	0,23	-1,54	-0,86	-0,14

П р и м е ч а н и е. Индекс *A* при символе $\bar{\delta}$ соответствует установке УП-1525/2565, а индекс *B* — установке УП-65.

рочном расходе соответственно установок *A* и *B* как оценки систематической составляющей погрешности по данным многократных измерений.

Анализ результатов последовательной поверки приборов на двух различных установках, приведенных в табл. 5 (один «промах» исключаем), показывает, что эти установки могут считаться метрологически взаимозаменяемыми по отношению к крыльчатым счетчикам указанных моделей. При этом коэффициент сопоставимости рабочих столов K_{AB} , значения которого в данной работе не превышают 0,4, может служить оценкой воспроизводимости результатов поверки.

Приведенные результаты получены на основании экспериментальных исследований приборов на трех позициях многопозиционного рабочего стола. Представляет интерес сравнение результатов, полученных по этой же методике, с большим количеством позиций рабочего стола.

Исследование коэффициента сопоставимости различных позиций рабочего стола расходомерной поверочной установки как ее существенного параметра может стать, по мнению авторов, одним из пунктов работ по испытаниям в целях утверждения типа точно так же, как исследование коэффициента сопоставимости рабочих столов различных установок, — необходимым этапом при их сличении.

Л и т е р а т у р а

1. **Власов В. А.** О воспроизводимости результатов поверки счетчиков — расходомеров воды // Измерительная техника. 2009. № 6. С. 46—48; **Vlasov V. A.** The reproducibility of the results of a check of water flow meters // Measurement Techniques. 2009. V. 52. N 6. P. 632—635.
2. **Медведев В. А., Власов В. А., Ковригин С. Б.** Сличение поверочных расходомерных установок // Коммерческий учет энергоносителей: Материалы 23-й Междунар. науч.-практ. конф. СПб, 2006. С. 261—267.
3. **ГОСТ 8.156—83.** Счетчики холодной воды. Методы и средства поверки.
4. **ГОСТ Р 50193.3—92 (ИСО 4064/3-83).** Измерение расхода воды в закрытых каналах. Счетчики холодной питьевой воды. Методы и средства испытаний.
5. **Р 50.2.004—2000.** ГСИ. Определение характеристик математических моделей зависимостей между физическими величинами при решении измерительных задач. Основные положения.
6. **МИ 2916—2005.** ГСИ. Идентификация распределения вероятностей при решении измерительных задач.

Дата принятия 06.07.2010 г.