

Межлабораторные сличения расходомерных стендов – новые результаты.

1. Основные положения программы сличений и условия проведения испытаний.

Процедура сличения расходомерных стендов несомненно представляет практический интерес для всех лабораторий, реально занимающихся поверкой расходомеров. Серьезные сложности организации этого процесса вполне понятны, но по нашему мнению они вряд ли могут служить оправданием отсутствия планомерной реализации этой работы если не в масштабе всей страны, то, как минимум, в зонах отдельных регионов или хотя бы в районе действия одного отдельно взятого ЦСМ.

Наши предыдущие работы по сличению расходомерных стендов затрагивали в основном вопросы выявления принципиально существенных особенностей этого процесса, разработки программы выполнения испытаний и методической части в смысле обработки полученных результатов.

Обсуждение результатов испытаний, представленное в настоящей статье, продолжает тему, поднятую в последней публикации [3] – обработку сличений в соответствии с ГОСТ 5725-2-2002, но на принципиально другом уровне. Просто нам удалось, наконец, использовать меру сравнения (МС), отвечающую требованиям ГОСТ по классу точности и стабильности характеристик. В качестве нее в этот раз использовался электромагнитный расходомер MAGFLO FLOWMETER тип MAG1100 Ду=10 с преобразователем сигналов MAG6000. Для данного типа расходомера, с указанным преобразователем, нормирована относительная погрешность $\delta = \pm 0,25\%$ от действительного расхода, при скорости потока $v \geq 0,5$ м/с, и $\delta = \pm 0,125/v[\text{м/с}]\%$, при скорости потока $v < 0,5$ м/с. Повторяемость результатов нормирована в пределах $\pm 0,1\%$ от действительного расхода, при скорости потока $v \geq 0,5$ м/с.

До проведения сличений МС была собрана с прямыми участками длиной 10Ду и проходила все испытания в таком виде без разборки.

В качестве сличаемых средств поверки (ССП) в испытаниях, как и прежде, участвовали три тольяттинских проливных стенда:

- №1 – расходомерный стенд STEP-MT-150/220-70, ОАО ТЕВИС, метод измерения – объемный, $\delta=0,3\%$;
- №2 - расходомерный стенд STEP-50/70-70, ОАО ТЕВИС, метод измерения – массовый, $\delta=0,15\%$;
- №3 - расходомерный стенд STEP-50/70-70, ЗАО "Лидер", метод измерения – массовый, $\delta=0,15\%$;

Сличения были круговыми и выполнялись в следующей последовательности: ССП №1, ССП №2, ССП №3, ССП №1. Завершение испытаний на стенде №1 выполнялось с целью контроля долговременной стабильности характеристик МС.

Аналогично предыдущим испытаниям [3] пролив велся в точках 20%; 26%; 34%; 46% и 60% от максимального паспортного расхода МС. Последовательность пролива была установлена в следующем порядке: 0,99; 1,33; 1,64; 0,74; 0,6; 0,99 м³/ч. В каждой точке заданного расхода выполнялась серия из девяти измерений.

Как было показано в [2], разброс величин расхода, реализуемых ССП в каждой серии измерений, не должен превышать удвоенную основную паспортную погрешность стенда:

$$\frac{Q_{cni} \max - Q_{cni} \min}{Q_{cni} \text{cp}} \leq 2d_{cni} \quad (1);$$

где $Q_{ccpi\max}$, $Q_{ccpi\min}$ – соответственно максимальное и минимальное значение расходов по показаниям ССП в i -й серии, $Q_{ccpi\text{ср}}$ – среднее значение расхода по показаниям ССП в i -й серии.

Нарушение этого условия приводит к завышенной оценке дисперсии и, соответственно, СКО. Результаты измерений, которые не удовлетворяют условию (1), вообще говоря, должны быть исключены из дальнейшей обработки, а если не исключены, то с соответствующим обоснованием причины этого. Затем в соответствии с программой испытаний, если в серии оставалось больше семи значений, дополнительно признавались *непредставительными* и исключались наибольшее и/или наименьшее значение X_{ij} . Таким образом, для дальнейшей обработки оставалось ровно семь значений в каждой серии.

В контексте настоящего обсуждения интересно остановиться на процессе исключения *непредставительных* значений из серий измерений после проверки выполнения критерия (1). При окончательной обработке результатов оказалось, что просто исключение максимального и минимального значения из серии иногда может привести к увеличению оценки дисперсии оставшихся в серии значений. В результате после обсуждения данного факта было принято решение производить исключение непредставительных значений следующим образом – *непредставительной* признается и исключается величина X , отклоняющаяся на наибольшую величину от среднего значения этой серии. Эта процедура повторяется, пока в серии не останется семь значений.

Величиной X , используемой для оценки результатов испытаний, принималось относительное отклонение значения объемного расхода, определенного по показаниям МС, от значения расхода по показаниям ССП:

$$X_{ij} = \frac{Q_{mcij} - Q_{ccnij}}{Q_{ccnij}} \quad (2);$$

где Q_{mcij} – расход, по показаниям меры сравнения, Q_{ccnij} – расход по показаниям ССП в j -м измерении i -й серии.

Дублирование величины расхода в первой и последней (шестой) серии измерений на каждом ССП производилось для оценки кратковременной стабильности МС. Характеристика МС считалась стабильной, если выполнялось неравенство:

$$|X_{cp1} - X_{cp6}| \leq 0,5d_{mc} + d_{ccn} \quad (3);$$

где X_{cp1} и X_{cp6} - средние значения относительных отклонений объемного расхода в первой и шестой сериях, а d_{mc} и d_{ccn} основные относительные погрешности МС и ССП соответственно.

Для оценки долговременной стабильности МС сравнивались средние значения каждой серии измерений X_i на ССП в первом и завершающем испытаниях по неравенству:

$$|X_{ccn1cpi} - X_{ccn1cpiFIN}| \leq 0,5d_{mc} + d_{ccn} \quad (4);$$

где $X_{ccn1cpi}$ и $X_{ccn1cpiFIN}$ - средние значения относительных отклонений объемного расхода в i -й серии первого и завершающего испытаний.

После проведения испытаний обнаружилось, что критерии кратковременной (3) и долговременной (4) стабильности были выполнены, а критерий разброса показаний (1) оказался невыполненным для ССП №1 в завершающих испытаниях в третьей, пятой и шестой сериях измерений. После обсуждения предварительных результатов обработки

измерений, было принято решение оставить указанные серии измерений для дальнейшей обработки. Причинами данного решения явились:

- соблюдение критериев кратковременной (3) и долговременной (4) стабильности,
- определенная наглядность результатов окончательной обработки, которая должна подтвердить или опровергнуть необходимость соблюдения «самодельного» критерия (1).

Как и в предыдущей работе [3] обработка результатов измерений велась по ГОСТ Р ИСО 5725-2-2002 [1]. При этом, было принято решение, провести обработку результатов и для девяти, и для семи измерений, чтобы обосновать необходимость выполнения достаточно трудоемкой операции исключения непредставительных значений.

2. Обработка результатов без исключения непредставительных значений (серии из 9 измерений).

В соответствии с ГОСТ5725-2-2002 в результате проведения МЛС определяются следующие количественные показатели:

S^2_1 – оценка межлабораторной дисперсии;

S^2_w – оценка внутрилабораторной дисперсии;

S^2_r – среднее арифметическое S^2_w , являющееся оценкой дисперсии повторяемости (сходимости);

$S^2_R = S^2_1 + S^2_r$ – оценка дисперсии воспроизводимости;

Исходные данные заносятся в стандартные формы, по результатам измерений вычисляются средние значения для каждой серии измерений (x_{cpij}) для каждого стенда и оценки среднеквадратичного отклонения (внутриэлементные стандартные отклонения по формулировке ГОСТа) для каждой серии измерений для каждого стенда:

$$S_{ij} = \sqrt{\frac{\sum (x_{ij} - x_{cpij})^2}{n_{ij} - 1}} \quad (5);$$

а также общее среднее значение x_{Pcpij}

$$x_{Pcpij} = \frac{\sum x_{cpij}}{P_i} \quad (6);$$

для каждой серии измерений для всех стендов.

Для достоверной оценки стандартных отклонений повторяемости и воспроизводимости, необходимо принять решение по отдельным лабораториям p_j (в нашем случае под лабораториями p_j подразумеваются сличаемые средства поверки ССП) или сериям измерений, о совместимости или несовместимости значений измерений по сравнению с другими ССП или сериями измерений. Вводятся два подхода к принятию таких решений:

- а) графический анализ совместимости;
- б) статистическое тестирование выбросов.

Для каждой лаборатории рассчитывают статистики межлабораторной совместимости h_{ij} ,

$$h_{ij} = \frac{(x_{cpij} - x_{Pcpij})}{\sqrt{\frac{\sum (x_{cpij} - x_{Pcpij})^2}{P_i - 1}}} \quad (7);$$

и статистики внутрилабораторной совместимости k_{ij} ,

$$k_{ij} = \frac{S_{ij} \sqrt{P_j}}{\sqrt{\sum S_{ij}^2}} \quad (8);$$

Можно отметить, что статистика h является фактически показателем "правильности", т.е. приведенного значения систематической погрешности, а статистика

внутрилабораторной совместимости является, соответственно, показателем "прецизионности", т.е. приведенного значения случайной погрешности. Значения h_{ij} и k_{ij} наносятся на диаграммы в последовательности увеличения индекса i , так, чтобы каждому номеру ССП соответствовала группа значений, относящихся к разным сериям измерений.

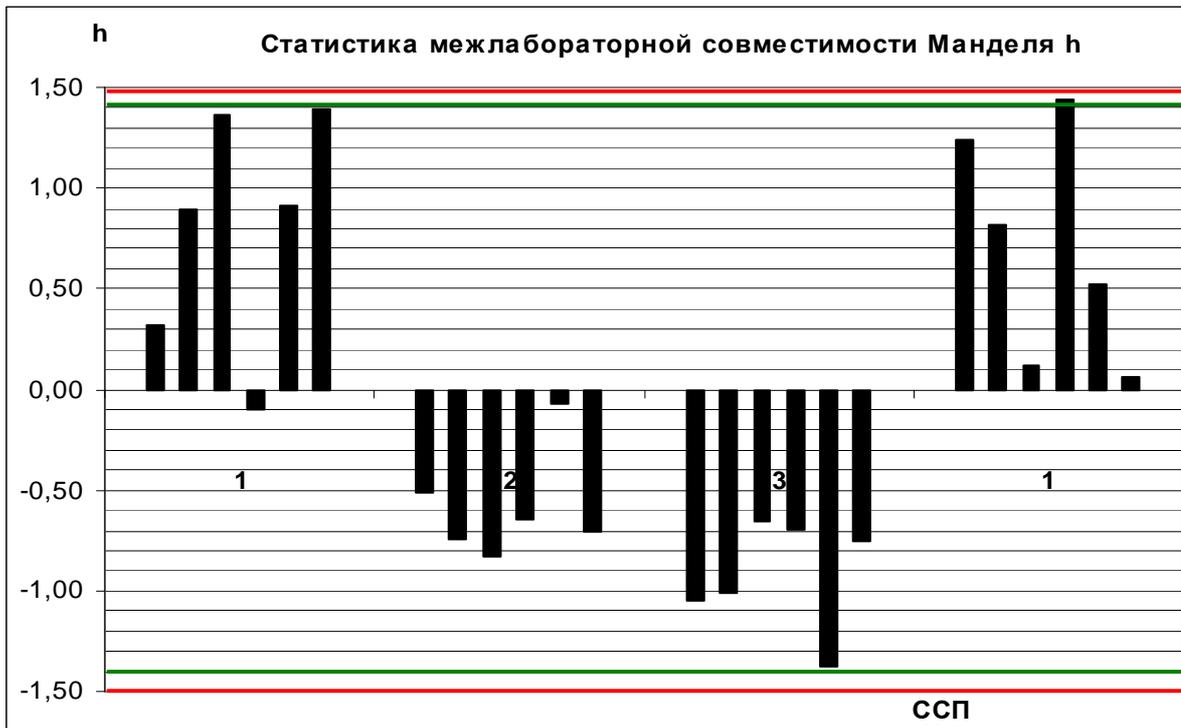


Рис.1 Значения межлабораторной статистики h для серий из девяти измерений.



Рис.2 Значения внутрилабораторной статистики k для серий из девяти измерений.

На диаграммы h и k наносятся индикаторные линии для 1%-ого и 5%-ого уровней значимости, $h_{н}(1\%)=1,49$; $h_{н}(5\%)=1,42$; $k_{н}(1\%)=1,45$; $k_{н}(5\%)=1,33$; взятые из таблиц 6 и 7

ГОСТ 5725-2. Диаграмма для межлабораторной статистики h наглядно показывает, что результаты ССП №1 отличаются от результатов ССП №2 и №3, причем по знаку. Возможно, у ССП №1 имеется источник постоянной систематической погрешности, и здесь желательнее найти причину такого отклонения. В то же время, ни одна статистика не превысила индикаторный 1%-й уровень значимости, и одна статистика для ССП №1 в завершающих испытания в 4-й серии превысила 5%-й уровень значимости. Является ли данная серия выбросом, оценим по статистическому тестированию. Внутрिलाбораторные статистики k не показывают значительных расхождений для каждой серии измерений и не превышают индикаторного значения k .

Далее проводится статистическое тестирование выбросов по критериям Кохрена и Граббса. Критерий Кохрена предназначен для обработки внутрिलाбораторных расхождений и должен применяться в первую очередь. Тестовая статистика Кохрена имеет вид:

$$C = \frac{S_{i\max}^2}{\sum S_i^2} \quad (9)$$

где $S_{i\max}$ – максимальное значение стандартного отклонения для каждой серии измерений среди всех ССП, $\sum S_i^2$ – сумма дисперсий всех ССП для соответствующей серии измерений. Критические значения для статистики Кохрена для 9-ти измерений и 4-х ССП составляют: $C_{кр}(1\%) = 0,592$; $C_{кр}(5\%) = 0,520$. Полученные результаты сведены в Таблицу 1.

Таблица 1

Q (м ³ /ч)	0,99	1,33	1,64	0,74	0,6	0,99
C (n=9; p=4)	0,4367	0,4777	0,4209	0,5491*	0,3867	0,5627*

При идентификации выбросов сравнивается статистический критерий с 5%-ым и 1%-ым критическими значениями тестовой статистики (критическими значениями для 5%-ого и 1%-ого уровней значимости). Если значение тестовой статистики меньше или равно 5%-ого критического значения, то тестируемую позицию признают корректной. Если значение тестовой статистики больше 5%-ого критического значения и меньше или равно 1%-ого критического значения, то тестируемую позицию называют **квазивыбросом** и помечают одной звездочкой. Если значение тестовой статистики больше 1%-ого критического значения, то тестируемую позицию называют **статистическим выбросом** и помечают двумя звездочками. Две позиции статистики Кохрена приняли значение квазивыброса. Таковыми оказались 4-я серия измерений для ССП №3 и 6-я серия для ССП №1 в завершающих испытаниях. В таблицу 2 сведены оценки среднеквадратичного отклонения (внутриэлементные стандартные отклонения по формулировке ГОСТа) для каждой серии измерений для каждого стенда. Из таблицы 2 видно, что для указанных выше серий (отмечено «звездочками») среднеквадратичные отклонения являются наибольшими для соответствующих ССП:

Таблица 2. СКО величины X в сериях измерений из 9 значений.

	S_{ij}					
ССП№1	0,020940	0,045890	0,031493	0,024601	0,025667	0,034172
ССП№2	0,010687	0,011168	0,019539	0,009489	0,019876	0,009242
ССП№3	0,025840	0,017110	0,031039	0,038803*	0,026316	0,023099
ССП№1	0,017642	0,043417	0,041215	0,023268	0,006663	0,047950*

Можно отметить, что в пределах одной лаборатории квазивыбросы появились только на одной из серий, следовательно, разброс внутрिलाбораторной дисперсии не велик, и данные значения можно оставить для дальнейшей обработки.

Для проверки максимальных значений средних арифметических каждой серии измерений среди всех ССП на предмет выброса, применяется критерий Граббса. Тестовая статистика Граббса определяется по формуле:

$$Gp = \frac{(x_{cp\max} - x_{pcp})}{S_M} \quad (10);$$

где S_M – среднеквадратичное отклонение среднеарифметических результатов измерений для всех ССП, характеризующее межлабораторный разброс средних арифметических.

$$S_M = \sqrt{\frac{\sum (x_{cpi} - x_{pcp})^2}{p - 1}} \quad (11).$$

Критические значения для критерия Граббса для одного наибольшего значения для четырех ССП $G_{кр} = 1,496$ и для 1%-ого и 1,481 для 5%-ого уровней значимости. Результаты представлены в таблице 3.

Таблица 3

Q (м ³ /ч)	0,99	1,33	1,64	0,74	0,6	0,99
G (n=9; p=4)	1,2398	0,8962	1,3670	1,4454	0,9189	1,3904

По критерию Граббса, максимальные значения средних арифметических результатов измерений для всех серий измерений не превысили критических значений. В результате, для вычисления характеристик повторяемости (сходимости) и воспроизводимости берутся все серии измерений для всех ССП. Полученные оценки сведены в таблицу 4.

Таблица 4

Q (м ³ /ч)					
0,99	1,33	1,64	0,74	0,6	0,99
Дисперсия повторяемости $S_{rj}^2 = \sum(n_{ij} - 1)S_{ij}^2 / \sum(n_{ij} - 1)$					
$0,3829 \times 10^{-3}$	$1,1021 \times 10^{-3}$	$1,0089 \times 10^{-3}$	$0,6856 \times 10^{-3}$	$0,4477 \times 10^{-3}$	$1,0215 \times 10^{-3}$
Межлабораторная дисперсия $S_{lj}^2 = (S_{di}^2 - S_{rj}^2) / n_{cp\ общ}$					
$0,2246 \times 10^{-3}$	$0,1618 \times 10^{-3}$	$0,2784 \times 10^{-3}$	$0,1731 \times 10^{-3}$	$0,0223 \times 10^{-3}$	$0,2376 \times 10^{-3}$
Дисперсия воспроизводимости $S_R^2 = S_r^2 + S_l^2$					
$0,6075 \times 10^{-3}$	$1,2707 \times 10^{-3}$	$1,2873 \times 10^{-3}$	$0,8586 \times 10^{-3}$	$0,4700 \times 10^{-3}$	$1,2591 \times 10^{-3}$

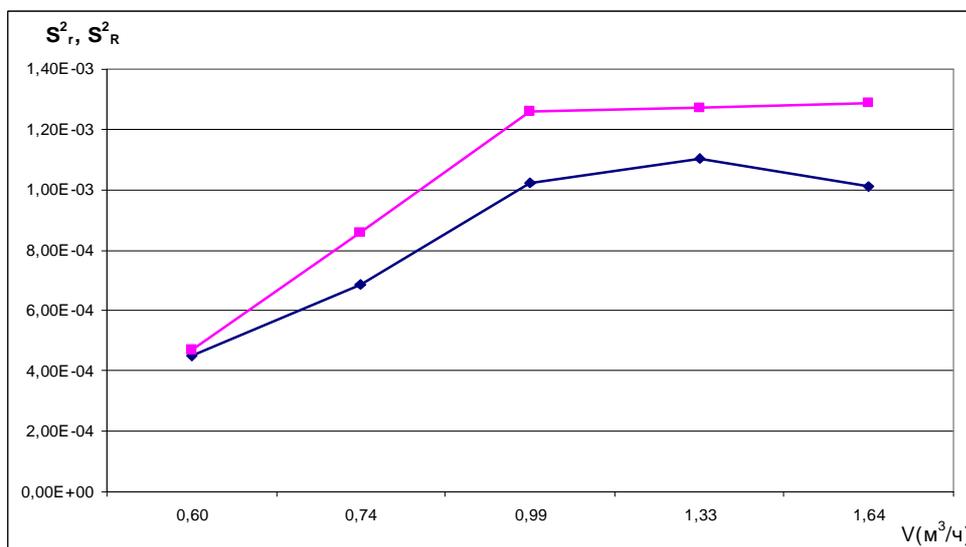


Рис.3 Зависимость дисперсии повторяемости и воспроизводимости от расхода для серий из девяти измерений.

В Таблице 4 не приведены оценки дисперсии, полученные в предыдущих МЛС, в которых участвовали те же проливные стенды, но с другой мерой сравнения. Несмотря на то, что измерения проводились на тех же скоростях потока, что и настоящие МЛС, все-таки в испытаниях реально работали другие мерные баки и весы, иные гидравлические тракты стендов. Поэтому было принято решение не сравнивать оценки дисперсий настоящих и предыдущих МЛС, хотя следует отметить, что дисперсия воспроизводимости в последний раз уменьшилась более чем на порядок.

На Рис.4 приведены значения систематической погрешности для всех ССП в зависимости от расхода для случая серий из 9 измерений.

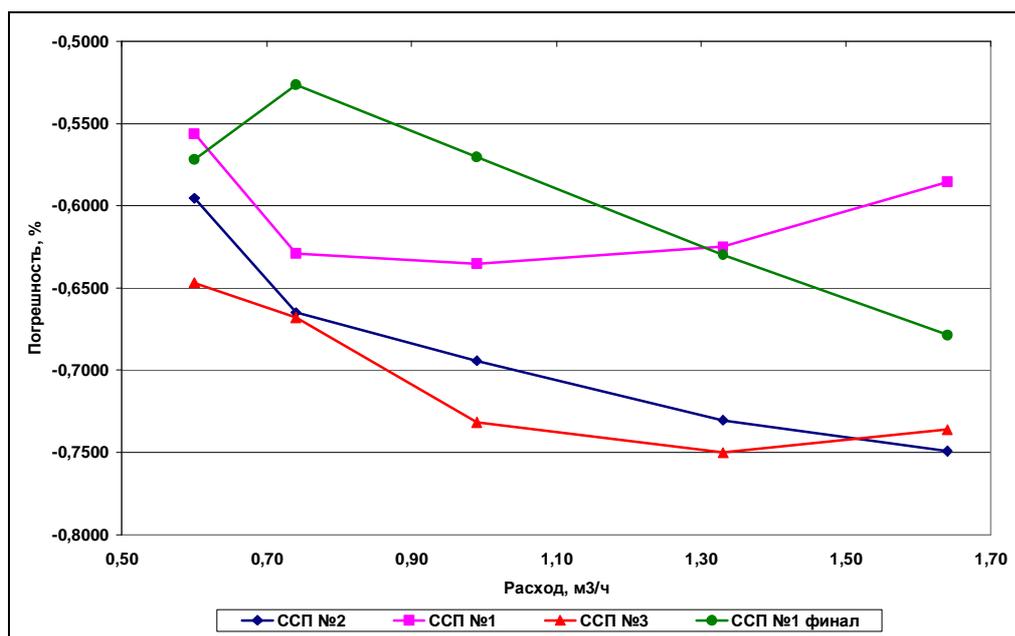


Рис.4. Систематическая погрешность без исключения непредставительных измерений.

Здесь следует отметить многократно меньшее отклонение результатов измерений разных ССП друг от друга по сравнению с аналогичными характеристиками в предыдущих испытаниях, например [2] и [3]. Так, максимальное отклонение между двумя наиболее точными стендами (ССП2 и ССП3) класса 0,15% составило всего 0,05%, а показания наименее точного стенда ССП1 класса 0,3% отклонились от них на величину не более 0,15%.

3. Обработка результатов с исключением непредставительных значений (серии из 7 измерений).

Повторимся, что исключение непредставительных значений проводилось следующим образом – *непредставительной* признается и исключается величина X , отклоняющаяся на наибольшую величину от среднего значения серии. Эта процедура повторяется до тех пор, пока в серии не останется семь значений.

В результате обработки получились следующие диаграммы для статистик Манделя. Индикаторные значения h_n и k_n для серии из семи измерений составляют соответственно $h_n(1\%) = 1,49$; $h_n(5\%) = 1,42$; $k_n(1\%) = 1,51$; $k_n(5\%) = 1,37$

Очевидно, что разброс межлабораторных статистик стал больше при обработке серий из семи измерений. Но, во-первых, ни одна из статистик не превысила индикаторного значения 1%-ого уровня значимости. Во-вторых, как и для серии из девяти измерений, ССП №2 и №3 имеют тенденцию к представлению только отрицательных значений h , а ССП №1 имеет тенденцию к представлению только положительных значений h . Как уже отмечалось, возможно, у ССП №1 имеется источник постоянной систематической погрешности, и причина такого отклонения конечно будет

устанавливаться. Тем не менее, в соответствии с рекомендациями ГОСТ Р ИСО 5725-2-2002, никаких определенных решений на данной стадии обработки результатов не принимается, до завершения работ по статистическому тестированию.

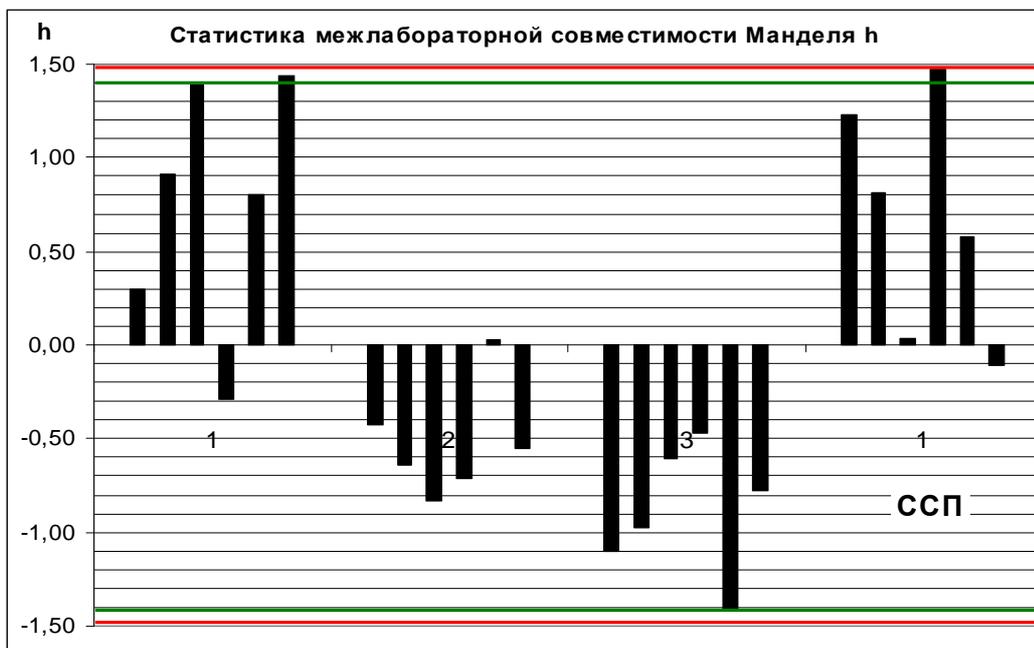


Рис.5 Значения межлабораторной статистики h для серий из семи измерений.



Рис.6 Значения внутрилабораторной статистики k для серий из семи измерений.

Далее проводится статистическое тестирование выбросов по критериям Кохрена и Граббса. Критические значения для статистики Кохрена для 7-и измерений и 4-х ССП составляют: $C_{кр}(1\%) = 0,645$; $C_{кр}(5\%) = 0,549$. Полученные результаты сведены в Таблицу 5.

Таблица 5

Q (м ³ /ч)	0,99	1,33	1,64	0,74	0,6	0,99
C (n=9; p=4)	0,3486	0,5396	0,5985*	0,6308*	0,5248	0,6807**

Как видно из Таблицы 5, два значения статистики Кохрена оказались квазिवыбросами (ССП№1 – 3-я серия; ССП№3 – 4-я серия), а одно значение,

статистическим выбросом (ССП№1 в завершающем испытании – 6-я серия). При обработке результатов девяти измерений, 4-я серия для ССП №3 и 6-я серия для ССП №1 в завершающем испытании уже попадали в число квазивыбросов по критерию Кохрена.

В то же время, по рекомендации ГОСТ5725-2-2002, критерий Граббса может быть применен не только для анализа максимальных значений средних арифметических каждой серии измерений среди всех ССП на предмет выброса, но и для анализа результатов той серии, для которой обнаруживается сомнительность значения стандартного отклонения. Критические значения для критерия Граббса для одного наибольшего значения для четырех ССП $G_{кр} = 1,496$ для 1%-ого и 1,481 для 5%-ого уровней значимости. Эти результаты сведены в Таблицу 6.

Таблица 6

Q (м ³ /ч)	0,99	1,33	1,64	0,74	0,6	0,99
G (n=9; p=4)	1,2306	0,9085	1,3953	1,4768	0,8087	1,4402

По критерию Граббса, максимальные значения средних арифметических результатов измерений для всех серий не превысили критических значений, в том числе и для 6-й серии ССП №1 в завершающем испытании, и, тем не менее, оказались выше, чем в аналогичных сериях при обработке результатов девяти измерений.

После отбрасывания неподставительных значений, стандартное среднеквадратичное отклонение S_{ij} для всех ССП на всех сериях значительно уменьшилось (Таблица 7). Также, значительно уменьшилось среднеквадратичное отклонение среднеарифметических результатов измерений для всех ССП – S_M , характеризующее межлабораторный разброс средних арифметических. Таким образом, отбрасывая неподставительные значения, мы фактически сужаем допустимый разброс показаний, соответственно значения статистик Манделя, критериев Кохрена и Граббса возрастают.

Таблица 7. СКО величины X в сериях измерений из 7 значений.

	S_{ij}					
ССП№1	0,012325	0,032325	0,025002*	0,011324	0,006242	0,012906
ССП№2	0,007541	0,007489	0,012146	0,006838	0,012774	0,006425
ССП№3	0,010570	0,010856	0,012804	0,024772*	0,015743	0,009230
ССП№1	0,010735	0,026789	0,010390	0,013570	0,004721	0,024997**

Принимая во внимание, что ни одна из статистик Манделя не превысила 1%-е индикаторное значение, а также то, что по критерию Граббса максимальные значения средних арифметических результатов измерений для всех серий измерений не превысили критических значений, решено для вычисления характеристик повторяемости (сходимости) и воспроизводимости взять все серии измерений для всех ССП. Полученные оценки сведены в таблицу 8.

Таблица 8

Q (м ³ /ч)					
0,99	1,33	1,64	0,74	0,6	0,99
Дисперсия повторяемости $S_{rj}^2 = \sum(n_{ij} - 1)S_{ij}^2 / \sum(n_{ij} - 1)$					
$0,1089 \times 10^{-3}$	$0,4841 \times 10^{-3}$	$0,2611 \times 10^{-3}$	$0,2432 \times 10^{-3}$	$0,1181 \times 10^{-3}$	$0,2295 \times 10^{-3}$
Межлабораторная дисперсия $S_{lj}^2 = (S_{di}^2 - S_{rj}^2) / n_{cp\ обш}$					
$0,1741 \times 10^{-3}$	$0,0558 \times 10^{-3}$	$0,1900 \times 10^{-3}$	$0,1631 \times 10^{-3}$	$0,0118 \times 10^{-3}$	$0,1765 \times 10^{-3}$
Дисперсия воспроизводимости $S_R^2 = S_r^2 + S_l^2$					
$0,2830 \times 10^{-3}$	$0,5399 \times 10^{-3}$	$0,4512 \times 10^{-3}$	$0,4063 \times 10^{-3}$	$0,1298 \times 10^{-3}$	$0,4060 \times 10^{-3}$

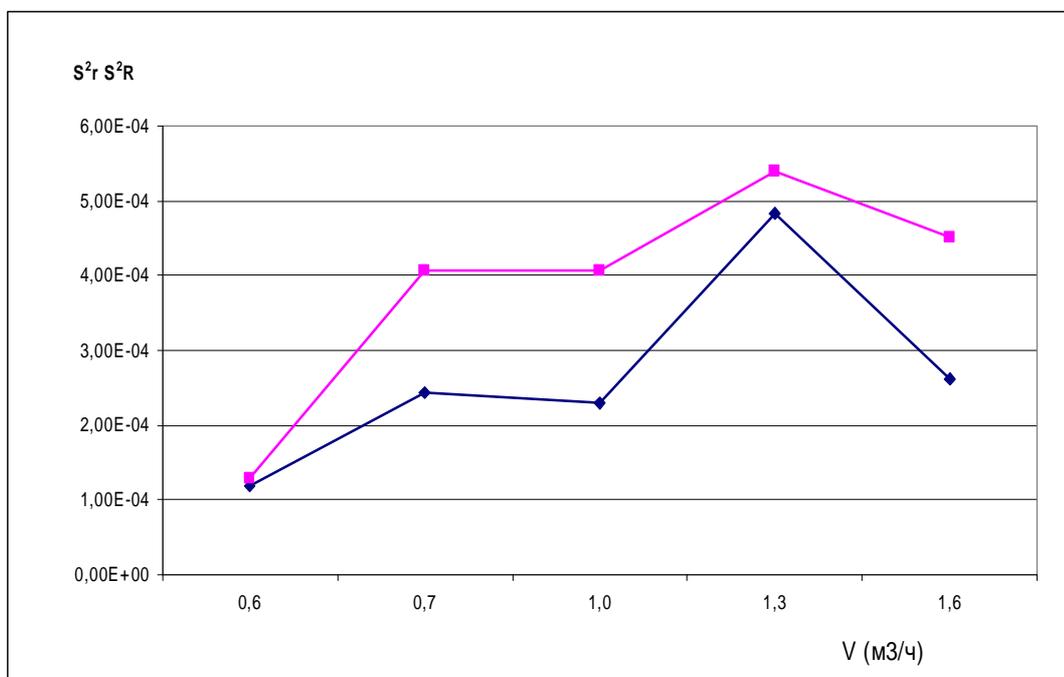


Рис.7 Зависимость дисперсии повторяемости и воспроизводимости от расхода для серий из семи измерений.

На Рис.8 представлена диаграмма с результатами систематической погрешности всех ССП для серий из 7 значений в зависимости от расхода.

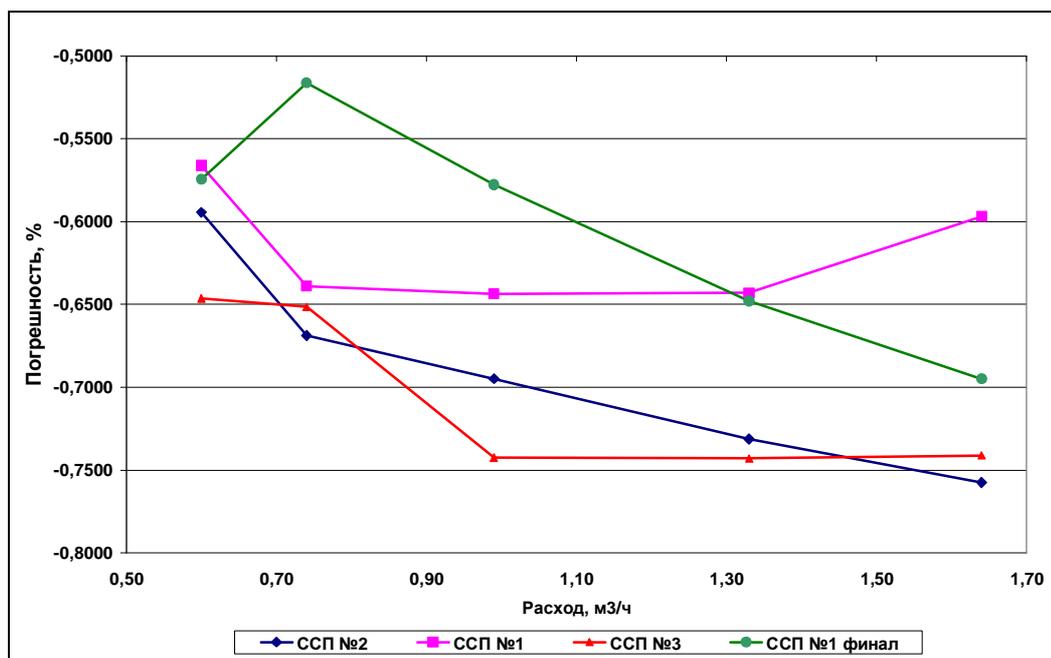


Рис.8. Систематическая погрешность для серий из 7 измерений.

Здесь следует отметить, что каких-то существенных отличий в систематической погрешности между обработкой серий из 7 и 9 измерений практически нет. Точно так же, как и в предыдущем случае, наиболее точные стенды ССП2 и ССП3 отклоняются друг от друга на величину не превышающую 0,05%, а наименее точный стенд ССП1 максимально расходится с остальными двумя не более чем на 0,16%.

4. Выводы:

- 1) Существенно отличающиеся в лучшую сторону от предыдущих испытаний результаты описанной работы в значительной степени обусловлены применением стабильной высокоточной меры сравнения, удовлетворяющей требованиям ГОСТ Р ИСО 5725-2-2002.
- 2) Полученные результаты оценок дисперсии повторяемости и воспроизводимости, могут быть использованы в последующих МЛС, при использовании МС того же типоразмера, с метрологическими характеристиками не хуже, чем у используемой в настоящих МЛС.
- 3) Количественные показатели дисперсии повторяемости и воспроизводимости существенно лучше в случае обработки серий измерений с исключенными неrepresentативными значениями.
- 4) В дальнейшем при выполнении работ по МЛС, скорее всего, следует расширить диапазон расходов, ограниченный в описанном случае 20-60% максимального паспортного расхода МС.
- 5) В связи с отсутствием планомерной организации работ по МЛС, мы предлагаем владельцам проливных стендов подключиться к этой работе при последующих сличениях.
- 6) В связи с отсутствием нормативных документов, предписывающих сроки и периодичность организации МЛС расходомерных стендов, предлагается проводить их сличения не реже одного раза в год.

Литература:

1. ГОСТ Р ИСО 5725-2-2002, Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. Часть 2. Основной метод определения повторяемости и воспроизводимости метода измерений. ГОССТАНДАРТ, М., 2002.
2. Каханков А.Е., Чигинев А.В., Сличение расходомерных стендов, Материалы 27-й конференции "Коммерческий учет энергоносителей", СПб, 2008 г.
3. Каханков А.Е., Чигинев А.В., Обработка результатов сличений расходомерных стендов в соответствии с ГОСТ Р ИСО 5725-2-2002, Материалы 29-й конференции "Коммерческий учет энергоносителей", СПб, 2009 г.