



ОРЕНБУРГСКИЙ ЦСМ

ФБУ «Государственный региональный центр
стандартизации, метрологии и испытаний в
Оренбургской области»

ОЦЕНКА ВКЛАДОВ В НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЬ ИЗМЕРЕНИЙ ПРИ КАЛИБРОВКЕ МЕРНИКОВ

Кишкилев Егор Юрьевич
инженер по метрологии,
ФБУ «Оренбургский ЦСМ»
г. Оренбург
egor.kishkiliov@gmail.com

Уфа, 2021



Цель работы

Целью работы является оценка вкладов в неопределенность измерений при калибровке мерников на примере мерника эталонного 1-го разряда М1Р-2-01, регистрационный номер в Федеральном информационном фонде по обеспечению единства измерений № 47665-11.

Задачи

- Определение действительных метрологических характеристик мерника эталонного 1-го разряда М1Р-2-01.
- Оценка вкладов в неопределенность измерений при калибровке мерников и разработка мероприятий по их снижению.

Определение действительных метрологических характеристик мерника

Действительные метрологические характеристики мерников могут быть определены в соответствии со следующими документами:

- ГОСТ 8.400 – 2013. Государственная система обеспечения единства измерений. Мерники металлические эталонные. Методика поверки.
- Guidelines on the Determination of Uncertainty in Gravimetric Volume Calibration. EURAMET Calibration Guide No. 19 Version 3.0 (09/2018).

Сравнение методики поверки и методики калибровки

Анализ методики поверки и методики калибровки показал следующие существенные различия:

- Действительную вместимость мерников согласно ГОСТ 8.400 – 2013 определяют по результатам двух измерений, методика калибровки рекомендует проведение не менее 10 измерений;
- Методика калибровки рекомендует использование дополнительных оптических средств при чтении положения мениска.

Гравиметрический метод

Калибровка мерника осуществляется гравиметрическим методом, то есть методом взвешивания дистиллированной воды в калибруемом мернике на весах. Действительную вместимость мерника V_0 вычисляют по формуле:

$$V_0 = (I_L - I_E) \times \frac{1}{\rho_W - \rho_A} \times \left(1 - \frac{\rho_A}{\rho_B}\right) \times [1 - \gamma(t - t_0)] \quad , \text{мл}$$

где V_0 – объем мерника, при рекомендуемой температуре t_0 , мл;

I_E – результат взвешивания заполненного мерника, г;

I_L – результат взвешивания пустого мерника, г;

ρ_W – плотность дистиллированной воды, г/мл;

ρ_A – плотность воздуха, г/мл;

ρ_B – плотность гири, использованной для калибровки весов, г/мл;

γ – кубический коэффициент температурного расширения мерника, $^{\circ}\text{C}^{-1}$ (обычно предполагается, что он в 3 раза больше коэффициента линейного расширения для материала, из которого изготовлен мерник);

t – температура мерника во время проведения калибровки, предполагается, что она равна температуре дистиллированной воды, $^{\circ}\text{C}$;

t_0 – рекомендуемая температура, $^{\circ}\text{C}$

Результаты определения действительной вместимости мерника

Таблица 1 Результаты определения действительной вместимости мерника М1Р-2-01

Входная величина	Оценка входной величины
Масса, г	1994,56
Температура дистиллированной воды, °С	19,70
Плотность дистиллированной воды, г/мл	0,9983
Плотность воздуха, г/мл	0,0012
Кубический коэффициент температурного расширения мерника, °С ⁻¹	33*10 ⁻⁶
V_{20} , мл	2000,16

Модельное уравнение и источники неопределенности

$$V_0 = \frac{m}{\rho_W(t_W) - \rho_A(t_A, p_A, h_T)} \times \left(1 - \frac{\rho_A(t_A, p_A, h_T)}{\rho_B} \right) \times [1 - \gamma(t - t_0)] + \delta V_{op} + \delta V_{evap} + \delta V_{rep}$$

После определения входных величин измеряемой величины можно определить источники неопределенности, исходящие от различных входных данных, к которым относятся:

- 1) m – масса дистиллированной воды, заполняющей мерник;
- 2) t_W – измеренная температура дистиллированной воды;
- 3) t_A – измеренная температура воздуха;
- 4) ρ_W – расчет плотности воды;
- 5) ρ_A – расчет плотности воздуха;
- 5) ρ_A – плотность гирь, использованных для калибровки весов;
- 6) γ – температурное расширение мерника;
- 7) δV_{op} – ошибки при чтении положения мениска;
- 8) δV_{rep} – повторяемость измерений;
- 9) δV_{evap} – влияние испарения воды на результат измерений.

Бюджет неопределенности

Таблица 2 Бюджет неопределенности

Входная величина	Оценка входной величины	Стандартная неопределенность $u(x_i)$	Значение стандартной неопределенности $u(x_i)$	Коэффициент чувствительности $c_i = \delta f / \delta x_i$	$u_i = c_i u(x_i)$, мл
Масса	1994,56 г	$u(m)$	0,0236 г	1,00 мл/г	0,0237
Температура воды	19,70 °C	$u(t)$	0,142 °C	-0,07 мл/°C	-0,0093
Плотность воды	0,9983 г/мл	$u(\rho_w)$	г/мл	-2001,19 (мл) ² /г	-0,0009
Плотность воздуха	0,0012 г/мл	$u(\rho_A)$	г/мл	1754,34 (мл) ² /г	0,0014
Плотность гирь	7,95 г/мл	$u(\rho_B)$	0,07 г/мл	0,04 (мл) ² /г	0,0026
Кубический коэффициент температурного расширения мерника	°C ⁻¹	$u(\gamma)$	°C ⁻¹	600,03 °C·мл	0,0010
Чтение положения мениска	0	$u(\delta V_{мен})$	0,018 мл	1	0,0180
Повторяемость измерений	0	$u(\delta V_{rep})$	0,014 мл	1	0,0140
$V_{20} = 2000, 16;$ $u(V_{20}) = 0,0344$ мл; $U(V_{20}) = 0,0687$ мл; $k = 2,0$					

Определение действительной вместимости мерника по ГОСТ 8.400-2013

Действительную вместимость мерника V_0 согласно методике калибровки вычисляют по формуле:

$$V_0 = (I_L - I_E) \times \frac{1}{\rho_W - \rho_A} \times \left(1 - \frac{\rho_A}{\rho_B}\right) \times [1 - \gamma(t - t_0)] = 2000,16 \text{ мл}$$

Действительную вместимость мерника V_{20} согласно ГОСТ 8.400-2013 вычисляют по формуле:

$$V_{20} = M_{\Gamma} \times 1000 \times \left(\frac{1}{\rho_{\text{воды}} - \rho_{\text{воздуха}}} \times \left(1 - \frac{\rho_{\text{воздуха}}}{\rho_{\text{гири}}}\right) \right) \times n = 2000,15 \text{ мл}$$

Выводы

Данные Таблицы 2 показывают, что наибольший вклад в неопределенность измерений при определении действительной вместимости мерника вносят следующие источники: процесс взвешивания пустого и заполненного мерника, ошибки при чтении положения мениска и повторяемость измерений.

Для повышения точности определения действительной вместимости мерника могут быть применены следующие мероприятия:

- 1) Применение весов с более высокими метрологическими характеристиками;
- 2) Увеличение количества независимых измерений;
- 3) Использование вспомогательных оптических средств при чтении положения мениска.



Спасибо за внимание!

