



**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](mailto: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;

$\rho_W$  – плотность дистиллированной воды, г/мл;

$\rho_A$  – плотность воздуха, г/мл;

$\rho_B$  – плотность гири, использованной для калибровки весов, г/мл;

$\gamma$  – 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 <sup>-1</sup>	33*10 <sup>-6</sup>
$V_{20}$ , 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)  $\rho_W$  – расчет плотности воды;
- 5)  $\rho_A$  – расчет плотности воздуха;
- 5)  $\rho_A$  – плотность гирь, использованных для калибровки весов;
- 6)  $\gamma$  – температурное расширение мерника;
- 7)  $\delta V_{op}$  – ошибки при чтении положения мениска;
- 8)  $\delta V_{rep}$  – повторяемость измерений;
- 9)  $\delta V_{evap}$  – 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) <sup>2</sup> /г	-0,0009
Плотность воздуха	0,0012 г/мл	$u(\rho_A)$	г/мл	1754,34 (мл) <sup>2</sup> /г	0,0014
Плотность гирь	7,95 г/мл	$u(\rho_B)$	0,07 г/мл	0,04 (мл) <sup>2</sup> /г	0,0026
Кубический коэффициент температурного расширения мерника	°C <sup>-1</sup>	$u(\gamma)$	°C <sup>-1</sup>	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!

