

ШТАНГЕНЦИРКУЛИ
МЕТОДИКА КАЛИБРОВКИ

Сфера применения

Настоящие рекомендации распространяются на штангенциркули, предназначенные для измерения наружных и внутренних размеров до 250 мм, и устанавливают методику их калибровки.

1 Нормативные ссылки

1.1 ГОСТ 8.113-85 ГСИ. Штангенциркули. Методика поверки.

1.2 ГОСТ 166-89 Штангенциркули. Технические условия.

1.3 ГОСТ Р 54500.1-2011 Неопределенность измерения. Часть 1. Введение в руководства по неопределенности измерения.

1.4 ГОСТ Р 54500.3-2011 Неопределенность измерения. Часть 3. Руководство по выражению неопределенности измерения.

1.5 РМГ 43-2001 ГСИ. Применение Руководства по выражению неопределенности измерений.

2 Операции и средства калибровки

Штангенциркуль калибруется с применением стальных концевых мер, которые служат в качестве рабочего эталона. Разрешение штангенциркуля составляет 0,05 мм или 0,1 мм (значение цены деления основной шкалы составляет 1 мм, значение цены деления нониуса – 1/20 мм или 1/10 мм). При калибровке используются несколько концевых мер с номинальными длинами в диапазоне 1,05 – 100 мм. Они выбираются таким образом, чтобы точки измерения лежали приблизительно на равном расстоянии друг от друга (например, 0 мм, 50 мм, 100 мм, 150 мм), но составляли различные значения шкалы нониуса (например, 0,0 мм, 0,3 мм, 0,6 мм, 0,9 мм). При необходимости, концевые меры длины притираются друг к другу для получения нужного размера.

Расширенную неопределенность рассчитывают для каждой длины применяемой образцовой концевой меры.

Примечание: Эталоны, применяемые при калибровке, должны быть калиброваны.

3 Условия калибровки

3.1 Калибровку штангенциркулей проводят при следующих условиях:

– температура окружающего воздуха: $(20 \pm 5) ^\circ\text{C}$.

4 Подготовка к проведению калибровки

4.1 Штангенциркули и средства калибровки подготавливают к измерениям в соответствии с эксплуатационной документацией.

4.2 Штангенциркули должны быть протерты чистой хлопчатобумажной салфеткой и выдержаны на рабочем месте не менее 3 ч до проведения калибровки для достижения максимально одинаковой температуры эталона и калибруемого прибора.

5 Проведение калибровки

5.1 Внешний осмотр

Внешний осмотр проводят в соответствии с ГОСТ 8.113-85 п. 3.1.

5.2 Опробование

Проверку функционирования проводят в соответствии с ГОСТ 8.113-85 п. 3.2.

Перед калибровкой проводят многократное контролирование состояния штангенциркуля. Этот контроль касается зависимости результата измерения от расстояния объекта измерения до направляющей штангенциркуля (ошибки Аббе), качества измерительных поверхностей пяток штангенциркуля (плоскостность, параллельность, перпендикулярность) и функционирования механизмов крепления.

5.3 Оценивание неопределенности

Неопределенность результата калибровки штангенциркулей определяют по типу А и В:

– проводят не менее 5-ти измерений длин каждой концевой меры для каждого калибруемого значения шкалы штангенциркулей.

Результаты определения величин длин концевых мер оформляют протоколами по форме Приложения А.

6 Определение неопределенности при калибровке штангенциркуля в точке 30 мм (пример)

Модельное уравнение при калибровке штангенциркуля можно записать как

$$\Delta = l_c - l_s + \Delta_o + \Delta_M + l_s \cdot \alpha \cdot \Delta_t, \quad (1)$$

где Δ – основные источники неопределенности измерения (выходная величина);

l_c, l_s – показания штангенциркуля и номинальная длина используемой концевой меры;

Δ_o – поправка на конечное разрешение штангенциркуля;

Δ_M – поправка на механические эффекты, такие как измерительное усилие, ошибки Аббе, отклонения от плоскостности и параллельности измерительных поверхностей;

α – средний коэффициент теплового расширения материалов штангенциркуля и концевой меры;

Δ_t – разница температур между штангенциркулем и концевой мерой.

Измерения повторялись многократно. Следовательно, неопределенность из-за ограниченно-го числа повторных наблюдений не вносит вклада.

При многократном ($n=5$) измерении длины концевой меры 30 мм 4 разряда с помощью штангенциркуля были получены следующие результаты:

$$l_{c1}=30,05 \text{ мм}; l_{c2}=30,05 \text{ мм}; l_{c3}=30,00 \text{ мм}; l_{c4}=29,95 \text{ мм}; l_{c5}=30,05 \text{ мм};$$

За результат измерения этой входной величины принимается среднее арифметическое этих результатов наблюдений:

$$\hat{l}_c = \bar{l}_c = \frac{1}{5} \sum_{q=1}^5 l_{cq} = \frac{1}{5} (30,05 + 30,05 + 30,00 + 29,95 + 30,05) = 30,02 \text{ мм}.$$

Для оценки неопределенности измерений, обусловленной вкладом случайных факторов, было проведено 5 повторных измерений длины концевой меры одним и тем же оператором в одних и тех же условиях, по результатам которых получена статистическая оценка среднеквадратического отклонения ряда результатов измерения:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^5 (l_{c_i} - \bar{l}_c)^2}{n(n-1)}} =$$

$$= \sqrt{\frac{(30,05 - 30,02)^2 + (30,05 - 30,02)^2 + (30 - 30,02)^2 + (29,95 - 30,02)^2 + (30,05 - 30,02)^2}{5 \cdot (5-1)}} = 0,02 \text{ мм}$$

Таким образом стандартная неопределенность измерения по типу *A* равна:

$$u_A(\bar{l}_c) = 0,02 \text{ мм}$$

Свидетельство о калибровке для концевой меры длины дает значение 29,99971 мм с расширенной неопределенностью 0,03 мкм (коэффициент охвата $k = 2$). Следовательно, суммарная стандартная неопределенность будет в 2 раза меньше расширенной.

$$u(l_s) = \frac{0,00003}{2} = 0,000015 \text{ мм}$$

Цена деления шкалы нониуса штангенциркуля составляет 0,05 мм. Поэтому предполагается, что вариация считываемых значений из-за конечного разрешения подчиняется прямоугольному (равномерному) распределению с полушириной интервала $\pm 0,025$ мм. Стандартная неопределенность данной входной величины

$$u(\Delta_0) = \frac{0,025}{\sqrt{3}} = 0,015 \text{ мм}$$

Механические эффекты включают применяемое измерительное усилие, ошибки Аббе и зазор между направляющей и движущейся измерительной пяткой. Дополнительные поправки могут возникать, когда измерительные поверхности пяток не достаточно плоские, не параллельны друг другу и не перпендикулярны к направляющим. Таким образом, во внимание принимается общая область возможных отклонений, лежащая в интервале $\pm 0,05$ мм. Стандартная неопределенность этого отклонения:

$$u(\Delta_M) = \frac{0,05}{\sqrt{3}} = 0,029 \text{ мм}$$

Через время, в течение которого штангенциркуль выдерживается вместе с образцовой концевой мерой, разница температуры штангенциркуля и концевой меры оценивается значением «ноль» с максимальными от него отклонениями ± 1 К. Соответственно, стандартная неопределенность этой составляющей будет равна:

$$u(\Delta_t) = \frac{1}{\sqrt{3}} = 0,58 \text{ К}$$

Средний коэффициент теплового расширения принимается равным $11,5 \cdot 10^{-6} \text{ К}^{-1}$ (неопределенность среднего теплового коэффициента расширения не принята во внимание, ее влиянием в этом случае можно пренебречь).

Оценку выходной величины Δ получают при подстановке в модельное уравнение (1) оценок входных величин:

$$\Delta = 30,02 - 29,99971 + 0 + 0 + 0 = 0,02029 \text{ мм}$$

Коэффициенты чувствительности c_i находят как частные производные выходной величины по каждой из входной величин, оцененные при значениях входных величин:

$$c_i = \left| \frac{\partial f}{\partial x_i} \right| \quad (2)$$

Для модельного уравнения (1):

$$c_c = \left| \frac{\partial \Delta}{\partial l_c} \right| = 1; c_S = \left| \frac{\partial \Delta}{\partial l_S} \right| = -1; c_o = \left| \frac{\partial \Delta}{\partial \Delta_o} \right| = 1; c_M = \left| \frac{\partial \Delta}{\partial \Delta_M} \right| = 1;$$

$$c_t = \left| \frac{\partial \Delta}{\partial \Delta_t} \right| = \alpha l_S = 0,0000115 \cdot 30 = 0,000345 \text{ мм} \cdot \text{К}^{-1}$$

Вклад неопределенности $u_i(y)$ каждой входной величины X_i в неопределенность $u(y)$ измеряемой величины Y (суммарную неопределенность) определяют как произведение коэффициента чувствительности на неопределенность входной величины:

$$u_i(y) = c_i u(x_i). \quad (3)$$

Все вклады неопределенности, рассчитанные для выражения (1) занесены в Таблицу 1.

Таблица 1

Бюджет неопределенности калибровки штангенциркуля

Входная величина	Оценка входной величины	Стандартная неопределенность входной величины	Распределение	Коэффициент чувствительности	Вклад в неопределенность
l_c	30,02 мм	0,02 мм	нормальное	1	20 мкм
l_S	29,99971 мм	0,015 мкм	нормальное	-1	-0,015 мкм
Δ_o	0	14 мкм	равномерное	1	14 мкм
Δ_M	0	29 мкм	равномерное	1	29 мкм
Δ_t	0	0,58 К	равномерное	0,345 мкм·К ⁻¹	0,2 мкм
Выходная величина	Значение выходной величины, мм	Суммарная стандартная неопределенность, мм	Эффективное число степеней свободы	Коэффициент охвата	Расширенная неопределенность
Δ	0,02	0,038	52	2	0,076 мм

При отсутствии корреляций между входными величинами суммарная стандартная неопределенность выходной величины определяется как

$$u(y) = \sqrt{(0,02)^2 + (-0,000015)^2 + (0,014)^2 + (0,029)^2 + (0,0002)^2} = 0,038 \text{ мм}$$

При оценивании неопределенности результатов многократных измерений, GUM рекоменду-

ет брать в качестве коэффициента охвата коэффициент из распределения Стьюдента для уровня доверия 0,95 и эффективного числа степеней свободы ν_{eff} , определяемого по формуле Велча-Саттерсвейта:

$$\nu_{eff} = \frac{u^4(y)}{\sum_{i=1}^m u_i^4(y)/\nu_i}, \quad (4)$$

где ν_i – число степеней свободы для i -ой входной величины, равное $(n-1)$ для стандартных неопределенностей типа А и ∞ для стандартных неопределенностей типа В.

Для модельного уравнения (1) эта формула может быть представлена в виде

$$\nu_{eff} = (n-1) \left[u(\Delta)/u_A(\bar{l}_c) \right]^4 = 4 \cdot (0,038/0,02)^4 \approx 52.$$

Для этого значения ν_{eff} коэффициент охвата для $p=0,95$ будет равен 2 (смотри таблицу значений коэффициентов охвата Стьюдента).

Расширенную неопределенность получают путем умножения неопределенности выходной величины (суммарной стандартной неопределенности) на коэффициент охвата:

$$U = k \cdot u(y). \quad (5)$$

Для рассматриваемого примера $U = 2 \cdot 0,038 = 0,076$ мм.

В калибруемой точке 30 мм измеренное отклонение показаний штангенциркуля составило $(0,02 \pm 0,076)$ мм.

9 Оформление результатов калибровки

9.1 Результаты калибровки штангенциркуля оформляют протоколом калибровки по форме, приведенной в Приложении А и сертификатом установленной формы.

Приложение А
(обязательное)
Форма протокола калибровки

Форма А1

ПРОТОКОЛ КАЛИБРОВКИ	№ _____	Дата проведения калибровки _____	_____			
Организация, проводящая калибровку						
Место проведения калибровки						
Наименование и тип прибора	Штангенциркуль					
Заводской (серийный) №						
Изготовитель						
Принадлежит (заказчик работы)						
Методика калибровки						
Эталонные средства калибровки <i>(наименование, метрологические характеристики; №, дата и срок действия сертификата калибровки)</i>	Концевые меры длины № Сертификат о калибровке №					
Вспомогательное оборудование и другие средства калибровки						
Условия проведения калибровки	температура воздуха, °С					
1. Результаты калибровки						
1.1 Определение неопределенности						
1.1.1 Определение длины концевой меры штангенциркулем						
точки шкалы	количество измерений					среднее значение, мм
	1	2	3	4	5	
1						
2						
3						

2. Расчет неопределенности			
Входные и расчетные данные	Значение в точке диапазона измерений №		
	1	2	3
Среднее арифметическое результатов измерений (\bar{l}_c), мм			
Оценка выходной величины Δ , мм			
Средний коэффициент теплового расширения (α), K^{-1}			
Цена деления штангенциркуля, мм			
Область отклонений механических эффектов, мм			
Расширенная неопределенность эталона u_S , мм			
Неопределенность измерения типа А $u_A(\bar{l}_c)$, мм			
Стандартная неопределенность $u(\Delta_o)$, мм			
Стандартная неопределенность $u(\Delta_M)$, мм			
Стандартная неопределенность $u(l_S)$, мм			
Стандартная неопределенность $u(\Delta_t)$, мм			
Коэффициент чувствительности (c_t), $mm \cdot K^{-1}$			
Суммарная стандартная неопределенность $u(y)$, мм			
Эффективное число степеней свободы (ν_{eff})			
Коэффициент охвата (k)			
Расширенная неопределенность (U), мм			
Исполнитель (ф.и.о., подпись)			