

УДК 531.711

## ОЦЕНИВАНИЕ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ КОНЦЕВЫХ МЕР ДЛИНЫ 1 РАЗРЯДА

Волчок О.П., Спесивцева Ю.Б.

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

**Аннотация.** Рассмотрены некоторые элементы методики оценивания неопределенности измерения концевых мер длины 1 разряда с помощью оптической интерферометрии.

**Ключевые слова:** единица длины – метр, концевые меры длины, оптическая интерферометрия, неопределенность измерения.

## UNCERTAINTY EVALUATION FOR MEASUREMENTS OF PRIMARY LENGTH STANDARDS

Volchok O., Spesivtseva Y.

Belarusian National Technical University  
Minsk, Republic of Belarus

**Abstract.** Some elements of the methodology for uncertainty evaluation of measurements of primary length standards of 1st order using optical interferometry were examined.

**Key words:** unit of length - meter, gauge blocks, optical interferometry, measurement uncertainty.

Адрес для переписки: Ю.Б. Спесивцева, пр. Независимости, 65, г. Минск, 220113, Республика Беларусь  
e-mail: spesivtseva@bntu.by

Единицей измерения длины системы СИ является метр – длина волны, проходящая светом в вакууме за время, равное  $1/299\,792\,458$  секунды и воспроизводимая при помощи йод-стабилизированных гелий-неоновых лазеров. Размер единицы длины-метра передается плоскопараллельным концевым мерам длины с помощью оптической интерферометрии. Концевая мера длины – эталонная мера длины, выполненная в форме прямоугольного параллелепипеда с нормируемым размером между измерительными плоскостями [1]. Оптическая интерферометрия предлагает метод определения количества длин световых волн, которые укладываются на мере длины. Длина меры в этом случае принимается равной длине перпендикуляра из контрольной точки на мере длины к плоскопараллельной пластине, изготовленной из подобного материала, к которому притерта мера.

Сущность метода состоит в определении длины плоскопараллельных концевых мер с помощью световых длин волн, содержащихся в искомой длине концевой меры. Чтобы определить длину концевой меры, надо установить число интерференционных полос, расположенных между поверхностью вспомогательной пластины, к которой притерта концевая мера и центром измерительной плоскости меры. Номинальная длина концевой меры является известной величиной, поэтому от непосредственного подсчета полос, который являлся бы достаточно сложным, отказываются. С помощью интерферометра Кестерса измеряют отклонение от номинального значения длины концевой меры. Учитываются лишь доли интервалов, на которые смещены появляющиеся на вспомогательной пластине и на измерительной

плоскости концевой меры системы интерференционных полос. Измерения последовательно производятся при различных длинах волн, в зависимости от применяемого источника излучения. Каждое измерение дает дробную долю интервала между полосами. Дробная доля порядка интерференции определяется визуально по смещению интерференционных полос на измерительной поверхности концевой меры и на поверхности вспомогательной пластины, притертой ко второй измерительной поверхности концевой меры.

Результат измерения физической величины должен быть всегда представлен с количественной характеристикой качества результата измерений, чтобы можно было оценить его достоверность, а также обеспечить возможность сопоставления результатов измерений друг с другом и со значениями, указанными в НД и ТНПА. Неопределенность измерений является такой количественной мерой точности результата измерений и выражает степень доверия, с которой может допускаться, что значение измеренной величины в условиях измерений лежит внутри определенного интервала значений [2]. Некоторые элементы оценивания неопределенности измерений концевых мер длины 1 разряда приведены ниже.

Источники неопределенности измерения мер длины могут быть разделены на те, которые зависят от длины и которые обусловлены краевыми эффектами. В большинстве случаев меры длины в пределах серии произведены с одинаково высоким качеством обработки торцевых поверхностей и обладают одинаково хорошей геометрией, но необходимо рассматривать характеристики краевых эффектов и изменение неопределенности в

зависимости от номинальной длины. По этой причине источники неопределенности объединены в две группы: краевые воздействия и воздействия, зависящие от длины. Краевыми эффектами являются те, которые зависят только от качества оптических поверхностей меры длины и их взаимодействия с измерительной системой, и они по определению не зависят от длины калибруемой меры. Например, притираемость является краевым эффектом. С другой стороны, эффекты, зависящие от длины, проявляются вследствие объемных свойств меры длины и окружающей среды (например, воздуха) и по определению не зависят от краевых эффектов. Тепловое расширение является примером воздействий, зависящих от длины.

Для сложных измерений, таких как интерферометрия мер длины, является целесообразным составлять модели измерений таким образом, чтобы параметры влияния были в наиболее возможной степени изолированы, но тем не менее отражали относительное влияние на другие параметры для целей оценки корреляции [3]. Для составления модели измерений длины концевой меры был проведен анализ входных величин, которые оказывают влияние на результат измерений.

Модель измерения длины концевой меры:

$$L = L_n + \delta L + l_d + l_\lambda + l_k + l_T + l_m + l_n, \quad (1)$$

где  $L$  – результат измерения длины концевой меры, мм;  $L_n$  – номинальная длина концевой меры, мм;  $\delta L$  – среднее арифметическое отклонений срединной длины концевой меры, мкм;  $l_d$  – ошибка считывания доли интерференционной полосы;  $l_\lambda$  – поправка на длину волны, мкм;  $l_k$  – поправка из-за особенностей конструкции оптической схемы интерферометра Кестерса и его элементов, мкм;  $l_T$  – поправка на температурную коррекцию для концевой меры, мкм;  $l_m$  – поправка, которая может быть сопоставлена толщине притирочного слоя;  $l_n$  – поправка на отличие длин световых волн в условиях измерений от их длин в нормальных условиях, мкм.

Неопределенности входных величин, указанные в модели измерений, в свою очередь состоят из нескольких составляющих. Каждая величина входящая в неопределенность тоже измерена с неопределенностью или ей приписана неопределенность, указанная в компетентных источниках или неопределенность измерения могла быть определена опытным путем. Соответственно при более детальном анализе мы получаем сложную си-

стему уравнений для расчета каждой составляющей модели измерений. Ниже приведен пример анализа входных величин  $l_k$ ,  $L_T$ . Входная величина  $l_k$  рассчитывается по формуле:

$$l_k = \left( \frac{b^2 + h^2}{24f^2} + \frac{\Delta b^2 + \Delta h^2}{2f^2} \right) L_n, \quad (2)$$

где  $b$  – ширина входной щели, мм;  $h$  – длина входной щели, мм;  $f$  – фокусное расстояние объектива коллиматора;  $L_n$  – номинальная длина концевой меры, мм;  $\Delta b$  и  $\Delta h_n$  – несовпадение оптических осей интерферометра с источником излучений.

Таким образом, стандартная неопределенность входной величины  $l_k$  состоит из нескольких параметров, которые связаны с размерами входной щели коллиматора, фокусным расстоянием объектива коллиматора и несовпадением оптических осей интерферометра с источником излучений.

Входная величина  $l_T$  рассчитывается:

$$l_T = \alpha L_n \cdot \Theta, \quad (3)$$

где  $\alpha$  – температурный коэффициент линейного расширения измеряемой концевой меры, равный  $12,4 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ ;  $L_n$  – номинальная длина концевой меры, мм;  $\Theta$  – отклонение температуры концевой меры от нормальной, °C;

Оценка неопределенности входной величины  $l_T$  зависит от таких величин как тепловой коэффициент линейного расширения концевой меры длины, номинальной длины концевой меры и отклонения температуры концевой меры от 20 °C.

Входная величина  $l_n$  рассчитывается:

$$l_n = [0,932(t - 20) - 0,358(p - 760) + 0,056(e - 10)] L_n \cdot 10^{-6}, \quad (4)$$

где  $t$  – температура воздуха в термостате интерферометра, °C;  $p$  – атмосферное давление воздуха, мм рт.ст.;  $e$  – влажность воздуха, мм рт.ст.

Оценка неопределенности входной величины  $l_n$  зависит от таких величин как температура, давление и влажность воздуха.

#### Литература

1. Меры длины концевые плоскопараллельные. Технические условия : ГОСТ 9038-90.
2. Ефремова, Н.Ю. Оценка неопределенности измерений / Н.Ю. Ефремова. – Минск : БелГИМ, – 2003. – 50 с.
3. Decker, J.E. Uncertainty Evaluation for the Measurement of Gauge Blocks by Optical Interferometry / J.E. Decker, J.R. Pekelsky // Metrologia. – 1997. – P. 479–493.