

# ВЫСОКОТОЧНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ ПЛОСКОПАРАЛЛЕЛЬНЫХ КОНЦЕВЫХ МЕР ДЛИНЫ С ПОМОЩЬЮ ЛИНЕЙНОГО ЛАЗЕРНОГО ИНТЕРФЕРОМЕТРА

*З.В. Фомкина*

ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева», Россия, 190005, Санкт-Петербург, Московский пр., 19,  
*e-mail: z.v.fomkina@vniim.ru*

*Резюме:* В докладе приведен краткий обзор интерференционных методов измерения плоскопараллельных концевых мер длины и указаны их основные недостатки. Предложен способ решения этих проблем с помощью разработанного во ФГУП «ВНИИМ им.

Д.И. Менделеева» устройства для измерений плоскопараллельных концевых мер длины. Приведены описание и состав устройства, представлены основные результаты экспериментальных исследований на Государственном первичном эталоне единицы длины – метра ГЭТ 2-2010.

*Ключевые слова:* интерференционный метод измерений, плоскопараллельные концевые меры длины, пластины, притирочный слой, толщина притирочного слоя, блок мер, устройство для измерений плоскопараллельных концевых мер длины, Государственный первичный эталон единицы длины – метра.

## 1. Введение.

В настоящее время в промышленности для решения ряда научно-технических задач используются плоскопараллельные концевые меры длины, которые нуждаются в периодической поверке и калибровке. В связи с этим остро стоит задача обеспечения высокой точности при измерении плоскопараллельных концевых мер.

Измерение длины плоскопараллельных концевых мер производится интерференционным методом с использованием вспомогательных пластин, притираемых к одному из концов меры. Наиболее распространены два метода измерений, каждый из которых имеет свои недостатки.

Первый метод заключается в измерении дробной части порядка интерференции между торцом меры и притертой с противоположной стороны пластиной. Такие измерения проводятся для нескольких длин волн светового излучения, затем по этим данным рассчитывается длина меры, которая предварительно должна быть известна, т.е. измерена заранее другими методами и, желательно, как можно точнее.

Следует отметить, что на длину меры, полученной таким образом, оказывает влияние большое число факторов: неплоскостность контактирующих поверхностей меры и пластины; шероховатость контактирующих поверхностей; материала мер и пластины, характеристики промежуточного слоя смазки; время нахождения меры и пластины в контакте и многие другие. Кроме того, на толщину притирочного слоя существенно влияет качество контакта. Средняя

толщина притирочного слоя сильно зависит от жидкости и качества обработки притираемых поверхностей, а также от времени в течение которого меры оставались притертыми к пластинам или друг к другу. Обычно эта толщина составляет около

0,01 мкм, однако она может быть и более 0,03 мкм. Даже использование разного рода объективных методов контроля качества контакта не позволяет снизить неопределенность толщины слоя до значений меньших 0,03 мкм [1,2].

Концевые меры часто собирают в блоки, в длину блока входят длины концевых мер вместе с толщинами притирочных слоев. Длине рабочей меры в блоке приписывают значение, полученное при аттестации по эталонной мере, измеренной интерференционным методом на пластине.

В зависимости от качества притирки существует разброс толщины притирочного слоя, что, в свою очередь, влияет на длину меры. Таким образом, значение длины каждой меры на пластине можно получить только в результате многократных измерений, в ходе которых меры притирают к разным пластинам, с последующим усреднением [2]. Этот процесс достаточно трудоемкий и долгий.

Также следует отметить, что данный метод успешно применяется для калибровки мер длиной до 100 мм. Из-за трудностей в измерении среднеобъемной температуры меры при размерах более 100 мм предпочитают измерения проводить вторым методом, методом счета интерфе-

ренционных полос, т.к. метод дробных частей может давать ошибки при расчетах длины из-за большого отличия заранее измеренной длины от действительной.

Метод счета интерференционных полос производится при перемещении каретки интерферометра, а начало и конец счета определяются с помощью другого, вспомогательного интерферометра, задача которого получить сигнал от торца меры и притертой к мере пластины. Однако этот метод не получил широкого распространения из-за громоздкости установки, включающей в себя два интерферометра.

Таким образом, оба метода имеют свои существенные недостатки. При измерении мер первым методом погрешность измерения увеличивается за счет притирочного слоя между пластиной и мерой. Недостатком же второго метода является громоздкость установки.

В 2014 году во ФГУП «ВНИИМ им.Д.И. Менделеева» было разработано и создано устройство для измерений плоскопараллельных концевых мер длины, позволяющее решить эти проблемы.

## **2. Состав и описание устройства, созданного ФГУП «ВНИИМ им.Д.И. Менделеева».**

Разработанное во ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева» устройство для измерений плоскопараллельных концевых мер длины имеет простую конструкцию и позволяет существенно сократить время, потраченное на исследование мер, и, что наиболее существенно, почти полностью исключить влияние на погрешность толщины притирочного слоя.

Устройство состоит из двух кронштейнов для установки и регулировки концевых мер длины, направляющих, двух приспособлений с прижимными винтами для фиксации мер и пластин. В состав устройства также входят плоскопараллельные пластины с нанесенными

на торцевую поверхность тонкими штрихами шириной (3-5) мкм.

Внешний вид устройства для измерений плоскопараллельных концевых мер длины приведен на рисунке 1.

Измеряют меру с помощью линейного лазерного интерферометра. Для этого меру закрепляют на кронштейнах и устанавливают в пазы каретки компаратора, фиксируют устройство с помощью специальных винтов, проводят юстировку положения меры. Используя приспособления для фиксации к мере, пластины прижимают и фиксируют с помощью прижимных винтов, позволяющих обеспечить усилие в 10-20 Н. В таком состоянии меру с пластинами оставляют на срок не менее

24 часов, пока мера и пластины не притрутся. Перед началом измерений винты следует отпустить. Экспериментально установлено, что данный способ притирания позволяет обеспечить хороший контакт меры с пластиной и избежать при этом сильных повреждений в зоне контакта.

Для того чтобы измерить длину меры, измеряют расстояние между штрихами на торцах пластин. Штрихи позиционируются с помощью микроскопа с ПЗС-камерой (камера связана с компьютером, как и счетчик интерференционных полос). В первую очередь измеряют расстояние между штрихами с притертой мерой, затем меру убирают, пластины складывают вместе и измеряют расстояние между штрихами. Разность результатов этих двух измерений и есть действительная длина меры. Затем меру следует перевернуть на 180° и повторить измерения, чтобы получить информацию о непараллельности. Данным способом можно также измерить и блок мер, притертых друг к другу.

Если притереть к пластинам меру, срединная длина которой известна (измерена с высокой точностью, скажем, на интерферометре Кёстера), то, измерив расстояние между штрихами пластин с притертой к ним мерой и вычтя из него



Рисунок 1 – Внешний вид устройства для измерений плоскопараллельных концевых мер длины

расстояние между штрихами прижатых друг к другу пластин, а также длину известной меры, получим компенсацию контактных слоев между пластинами и мерой.

### 3. Экспериментальные исследования.

Экспериментальные исследования проводились с помощью компаратора универсального интерференционного метрового из состава Государственного первичного эталона единицы длины – метра

ГЭТ 2-2010. Компаратор универсальный интерференционный метровый включает в себя:

- частотно-стабилизированный лазер;
- лазерный интерферометр для измерений штриховых и плоскопараллельных концевых мер длины;
- интерферометр белого света (ахроматический интерферометр) для наведения на измерительные поверхности плоскопараллельной концевой меры длины и притертой к ней опорной пластины. Он совмещен с лазерным интерферометром;
- микроскоп для регистрации отметок штриховой меры длины;
- систему измерений параметров окружающей среды;
- персональный компьютер с программным обеспечением.

Единица длины частотно-стабилизированному лазеру, входящему в состав компаратора универсального интерференционного метрового, передается от источника эталонного излучения

He-Ne/I<sub>2</sub>-лазера, стабилизированного по линии насыщенного поглощения в молекулярном йоде-127 из состава Государственного первичного эталона единицы длины – метра ГЭТ 2-2010.

Компаратор установлен на виброзащитном фундаменте в специальной термокамере, в которой температура окружающего воздуха поддерживается в пределах (20±0,1) °С. Изменение температуры внутри термокамеры не превышает 0,005 °С в течение 1 часа.

Суммарная неопределенность измерений универсальным интерференционным метровым компаратором не превышает 25 нм на 100 мм [3].

### 4. Основные результаты.

В ходе исследований проводились измерения плоскопараллельных концевых мер длины с номинальными длинами

200 мм, 600 мм, 700 мм, 800 мм, 900 мм и 1000 мм. Измерения проводились сериями, состоящими из пяти измерений. Всего было проведено десять серий измерений каждой меры. Результаты показали, что погрешность измерений длины концевой меры с номинальной длиной 200 мм составляет ±0,03 мкм. Погрешность концевой меры с номинальной длиной 1000 мм составляет ±0,15 мкм. Это связано с погрешностью измерений температуры.

### 5. Выводы.

Проведя ряд экспериментальных исследований и изучив преимущества и недостатки различных методов измерений плоскопараллельных концевых мер длины, можно сделать вывод, что разработанное в 2014 году во ФГУП «ВНИИМ им.

Д.И. Менделеева» устройство для измерений плоскопараллельных концевых мер длины позволит упростить процесс измерения мер, при этом повысив точность измерений за счет компенсации притирочных слоев. Простота конструкции и возможность измерения концевых мер различной длины, а также блоков мер являются главными достоинствами устройства.

### 5. Литература.

[1] **T. Doiron, J. Beers.** The Gauge Block Handbook, *Dimensional Metrology Group Precision Engineering Division National Institute of Standards and Technology*, 2007, p. 134-135.

[2] **В.М. Хавинсон.** Об абсолютных методах измерения длины концевых мер, *Измерительная техника*, № 8, 1993, с. 25-26.

[3] **В.С. Александров, Ю.Г. Захаренко, Н.А. Кононова, Г.И. Лейбенгардт, В.Л. Федорин, К.В. Чекирда.** Государственный первичный эталон единицы длины – метра ГЭТ 2-2010, *Измерительная техника*, № 6, 2012, с. 3-7.

### Данные для авторов:

**Фомкина Зоя Викторовна.** СПбГУНиПТ, техника и физика низких температур (2010 г.). ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева», отдел геометрических измерений.

# HIGH-ACCURATE MEASUREMENTS OF PARALLEL END GAUGES USING LINEAR LASER INTERFEROMETER

**Z.V. Fomkina**

VNIIM, Russia, 190005, St.-Petersburg, Moskovsky pr., 19, e-mail: z.v.fomkina@vniim.ru

*Abstract:* The short overview of interferometric methods of measurements of parallel end gauges with their limitations is given. The way to avoid these limitations by using the special set for measurements of parallel end gauges developed in VNIIM is described. The set description, structure, and the general results of the research using the State Primary Standard of the unit of length – meter GET 2-2010 are represented.

*Key words:* interferometric method of measurements, parallel end gauges, glass plates, wringing layer, wringing layer thickness, gauge block, the set for measurements of parallel end gauges, the State Primary Standard of the unit of length – meter.

## References

[1] **T. Doiron, J. Beers.** The Gauge Block Handbook, *Dimensional Metrology Group Precision Engineering Division National Institute of Standards and Technology*, 2007, p. 134-135.

[2] **V.M. Khavinson.** Ob absolyutnykh metodakh izmereniya dliny kontsevykh mer, *Izmeritel'naya*

*tekhnika*, № 8, 1993, s. 25-26.

[3] **V.S. Aleksandrov, Yu.G. Zakharenko, N.A. Kononova, G.I. Leybengardt, V.L. Fedorin, K.V. Chekirda.** Gosudarstvennyy pervichnyy etalon yedynitsy dliny – metra GET 2-2010, *Izmeritel'naya tekhnika*, № 6, 2012, s. 3-7.

# ПРЕЦИЗНИ ИЗМЕРВАНИЯ НА ПЛОСКОПАРАЛЕЛНИ КРАИЩНИ МЕРКИ ЗА ДЪЛЖИНА С ПОМОЩТА НА ЛИНЕЕН ЛАЗЕРЕН ИНТЕРФЕРОМЕТЪР

**З.В. Фомкина**

ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева», Русия, 190005, Санкт-Петербург, Московский пр., 19, e-mail: z.v.fomkina@vniim.ru

*Резюме:* В доклада е представен кратък преглед на интерференционните методи за измерване на плоскопаралелни краищни мерки за дължина и са посочени техните основни недостатъци. Предложен е метод за решаване на тези проблеми с помощта на разработеното устройство във ФГУП «ВНИИМ Д.И. Менделеев» за измерване на плоскопаралелни краищни мерки за дължина. Посочени са описанието и състава на устройството, представени са основните резултати от експериментални изследвания на Държавния първичен еталон за единицата дължина - метър ГЭТ 2-2010.

*Ключови думи:* интерференционен метод за измерване, плоскопаралелни краищни мерки за дължина, пластини, притъркващ слой, дебелина на притъркващия слой, набор мерки, устройство за измерване на плоскопаралелни краищни мерки за дължина, Държавен първичен еталон за единицата дължина – метър.