

Государственный первичный специальный эталон единицы длины в области измерений отклонений от прямолинейности и плоскостности ГЭТ 130—2014

Ю. Р. ШИМОЛИН, Л. А. ЗЛЫДНИКОВА

Уральский научно-исследовательский институт метрологии, Екатеринбург, Россия,
e-mail: shimolin@uniim.ru

Представлена информация о совершенствовании в 2013—2014 гг. Государственного первичного специального эталона единицы длины в области измерений отклонений от прямолинейности и плоскостности ГЭТ 130—80. Описаны состав эталона, принцип его работы, метрологические характеристики. Приведена информация о международных сличениях.

Ключевые слова: эталон, прямолинейность, плоскостность, передача единицы, сличения.

The information on improving in 2013—2014 the State primary special standard of length unit in the field of measurements of deviations from straightness and flatness GET 130—80 is presented. The composition of standard, the principle of its operation and metrological characteristics are described. The information on conducted and planned comparisons is presented.

Key words: standard, straightness, flatness, unit transfer, comparisons.

Измерения отклонений от прямолинейности широко распространены на предприятиях военно-промышленного комплекса, транспортного машиностроения, геолого-разведывательных, горнодобывающих и многих других [1].

В Федеральном информационном фонде обеспечения единства измерений (ФИФОЕИ) в настоящее время зарегистрировано более 130 утвержденных типов средств измерений (СИ) отклонений от прямолинейности и плоскостности отечественного и зарубежного производства, в частности 24 типа линеек поверочных, 14 типов плит поверочных, 7 типов линеек оптических, более 40 типов уровней рамных и брусковых и др. Кроме указанных выше имеется ряд специальных СИ — систем и устройств для измерений отклонений от прямолинейности рельсов, каналов артиллерийских стволов, буровых штанг и труб. Насчитывается более 15 типов приборов и СИ прямолинейности и плоскостности различных видов и принципов действия. Парк СИ этого вида, применяемых в Российской Федерации, постоянно увеличивается. По данным ФИФОЕИ в 2014 г. было поверено более 14 000 СИ в соответствии с государственной поверочной схемой, регламентированной стандартом [2].

Совершенствование ГЭТ 130—80. Государственный первичный специальный эталон единицы длины в области измерений отклонений от прямолинейности и плоскостности ГЭТ 130—80 возглавляет действующую поверочную схему. Эталон воспроизводит единицу длины в указанной области со средним квадратическим отклонением (СКО) результата измерения S , не превышающим 0,10 мкм/м при десяти независимых наблюдениях, и неисключенной систематической погрешностью (НСП) Θ не более 0,10 мкм/м. Пределы измерений находятся в диапазоне 0—50 мкм.

Единица длины в рассматриваемой области измерений хранится и воспроизводится посредством специального твердого каменного моста эталона. Мост эталона представляет

прямоугольную гранитную плиту длиной 5200 мм, шириной 400 мм и высотой 650 мм, установленную на специальном фундаменте, не связанном со стенами здания, чтобы исключить влияние вибраций. Рабочая (верхняя) поверхность моста эталона — плоскость с минимальными отклонениями от идеальной плоскости и длиной 5 м.

Необходимость совершенствования ГЭТ 130—80 обусловлена:

моральным и физическим износом оборудования, входящего в его состав;

недостаточной эффективностью работы системы поддержания температуры в помещении, а также планируемые в УНИИМ работами по реконструкции здания, предусматривающими демонтаж системы приточно-вытяжной вентиляции;

необходимостью повышения производительности работ при передаче единицы в результате применения средств автоматизации и использования современного программного обеспечения для регистрации и обработки результатов измерений;

актуализацией измерительных возможностей Российской Федерации в области измерений отклонений от прямолинейности и плоскостности в базе данных МБМВ;

метрологическим обеспечением исполнения технических регламентов [3, 4], введенных в действие на территории Таможенного союза и Российской Федерации и предусматривающих требования к рельсовой продукции, одним из показателей качества которой является прямолинейность.

В результате мероприятий, проведенных с января 2013 г. по ноябрь 2014 г., ГЭТ 130—80 был усовершенствован и утвержден приказом Росстандарта с присвоением регистрационного номера ГЭТ 130—2014 [5].

Состав ГЭТ 130—2014. Принцип работы эталона основан на синхронных независимых измерениях профиля мос-

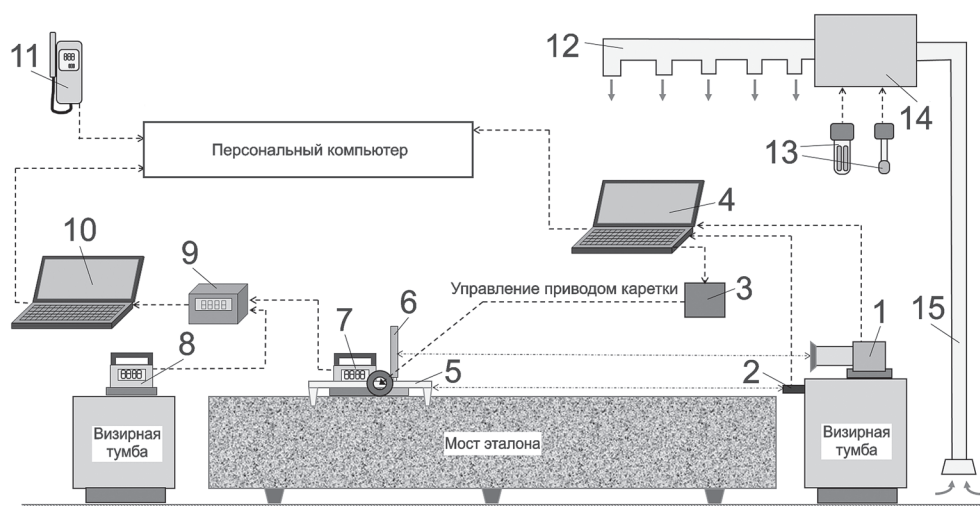


Рис. 1. Структура усовершенствованного эталона:

1 — автоколлиматор; 2 — лазерный дальномер; 3 — блок управления кареткой; 4, 10 — ноутбуки стационарной и автономной измерительных систем, соответственно; 5 — каретка; 6 — зеркало автоколлиматора; 7, 8 — перемещаемый и неподвижный электронные уровни, соответственно; 9 — электронный дисплей; 11 — термогигрометр; 12, 15 — приточный и вытяжной воздуховоды, соответственно; 13 — датчики влажности и температуры; 14 — компрессорно-конденсаторный блок

та эталона относительно исходных прямых, воспроизведенных оптической системой и гравитационным полем земли [6]. Измерения производят dI -методом с шагом l тремя измерительными системами: стационарной, автономной и мобильной. Профиль моста в каждой точке определяется как отклонение от прямой, проходящей через конечные точки профиля. Значения отклонений получают в результате усреднения результатов десятикратных измерений каждой измерительной системой.

Передача единицы длины от ГЭТ 130—2014 происходит двумя методами в зависимости от конструкции калибруемого СИ. Метод прямых измерений заключается в определении отклонений от прямолинейности рабочей поверхности поверяемого СИ (например, моста рабочего эталона или

линейки поверочной типа ШМ) с применением одной из измерительных систем эталона. Метод сличения заключается в сравнении профиля моста с профилем калибруемого СИ (например, линейки поверочной типа ШД) с помощью компаратора и последующего присвоения результатов измерений профилю калибруемого СИ.

Исходя из целей и задач, в процессе совершенствования эталона была изменена его структура. Схема усовершенствованного эталона приведена на рис. 1. Создана и введена в инфраструктуру эталона локальная система стабилизации климатических условий в помещении, работающая независимо от приточно-вытяжной вентиляции здания УНИИМ. Система состоит из прецизионного компрессорно-конденсаторного блока 14, приточного 12 и вытяжного 15 воздуховодов. Температура и влажность воздуха в помещении эталона контролируется и регистрируется соот-

ветственно датчиками 13 и термогигрометром 11. Система стабилизации климатических условий предназначена для поддержания температуры воздуха с постоянной времени регулирования менее 0,25 ч, а также дополнительного осушения воздуха при относительной влажности больше 70 %.

Для обеспечения функционирования эталона в его состав включены две измерительные системы: стационарная, состоящая из автоколлиматора Ultra 1, зеркала 6, установленного на специальном основании, и ноутбука 4; автономная, включающая два электронных уровня WYLER 7, 8, электронный дисплей 9 и ноутбук 10, осуществляющий предварительную обработку сигналов электронных уровней.

Дополнительно в состав эталона введена мобильная измерительная система (эталон сравнения), предназначенная для применения в качестве сред-

ства сличений с аналогичными эталонами национальных метрологических институтов (НМИ) других стран и для передачи единицы от эталона рабочим эталонам и СИ. В данную систему входят два электронных уровня WYLER, транспортный кейс, электронный дисплей и ноутбук. Электронный уровень и зеркало автоколлиматора передвигают по поверхности моста с помощью системы перемещения, состоящей из блока управления 3, каретки 5 с установленными на ней аккумуляторной батареей и приводами хода и подъема, а также лазерного дальномера 2, обеспечивающего позиционирование каретки в заданных точках поверхности моста.

Таблица 1

Метрологические характеристики ГЭТ 130—2014

Наименование характеристики	Значение	
	заявленное	действительное
Диапазон измерений отклонений от прямолинейности и плоскостности H , мкм	0—50	0—50
Длина рабочей поверхности моста эталона L , м	5,0	5,0
СКО результата измерений S при десяти независимых измерениях, не более, мкм/м	0,07	0,07
НСП Θ , мкм/м	0,10	0,07
Стандартная неопределённость воспроизведения единицы типа А, мкм/м типа В, мкм/м	0,07 0,07	0,07 0,04
Суммарная стандартная неопределённость, мкм/м	0,10	0,08
Расширенная неопределённость ($P=0,95$, $k=2$), мкм/м	0,20	0,16

Персональный компьютер эталона предназначен для регистрации, обработки и хранения данных, получаемых от измерительных систем и системы стабилизации климатических условий, а также для управления перемещением измерительной каретки.

Значения метрологических характеристик ГЭТ 130—2014 были подтверждены в рамках исследований, проведенных по Программе государственных испытаний (табл. 1).

Результаты международных сличений. Для подтверждения метрологических характеристик ГЭТ 130—2014 проведены двусторонние сличения с Государственным эталоном единицы длины в области измерений отклонений от прямолинейности и плоскостности ВЭТ 130-4—81 Республики Беларусь. Участники сличений производили десятикратные измерения отклонений от прямолинейности с шагом 100 мм одной и той же поверхности измерительными системами, входящими в состав их национальных эталонов. Результаты измерений сравнивали. Сличения проведены на специальном твердокаменном мосту длиной 3 м эталона Республики Беларусь. Профиль моста измеряли с помощью систем на базе электронных уровней, входящих в состав ГЭТ 130—2014 и ВЭТ 130-4—81.

Уравнение измерений представлено формулой, описывающей профиль поверхности по отношению к опорной прямой, в качестве которой принимается прямая, соединяющая крайние точки профиля:

$$y_{kj} = l \sum_{i=1}^{k-1} \vartheta_{ij} - \frac{k-1}{N-1} l \sum_{i=1}^{N-1} \vartheta_{ij},$$

где y_{kj} — отклонение от опорной прямой в точке k при j -м измерении; l — расстояние между опорами электронных уровней измерительных систем эталона; ϑ_{ij} — угол на участке с порядковым номером i ; k — номер точки на поверхности моста эталона, в которой рассчитывается значение отклонения от опорной прямой (при нумерации точек от 0 до n порядковые номера точек и участков совпадают); i, N — текущая точка и общее количество точек на поверхности моста, соответственно.

Отклонение от прямолинейности рассчитывают по формуле

$$H = h_{\max} - h_{\min},$$

где $h_{\max}$, $h_{\min}$ — максимальное значение из всех положительных и минимальное значение из всех отрицательных отклонений от прямолинейности на всей длине измеряемой поверхности моста эталона (из 31 точки профиля), соответственно.

Таблица 2

Бюджеты неопределённостей измерительных систем ГЭТ 130—2014 и ВЭТ 130-4—81

Наименование характеристики	ВЭТ 130-4—81	ГЭТ 130—2014
Число измерений	10	10
Стандартная неопределённость типа А, мкм	0,14	0,13
Стандартная неопределённость типа В, мкм	0,14	0,14
Суммарная стандартная неопределённость, мкм	0,20	0,20
Эффективное число степеней свободы	43	45
Коэффициент охвата	2,00	2,01
Расширенная неопределённость, мкм	0,40	0,40
Уровень доверия	0,95	0,95

Отклонения от прямолинейности, полученные с применением измерительных систем эталонов БелГИМ и УНИИМ, составили соответственно 7,06 и 7,26 мкм. Согласно методике, приведённой в Техническом протоколе сличений, и с учётом положений [7—9] определены бюджеты неопределённостей измерительных систем сличаемых эталонов (табл. 2). Результаты сличений показаны на рис. 2. Анализ попарной эквивалентности национальных эталонов при определении отклонения от прямолинейности показывает, что оценка разности результатов измерений (систематического сдвига) сличений не превосходит расширенной неопределённости этой оценки, т. е. соблюдается условие $|d_{ij}| \leq 2u(d_{ij})$ (табл. 3). Полученные результаты свидетельствуют об эквивалентности эталонов и соответствии метрологических характеристик ГЭТ 130—2014 заявленным в техническом задании.

Таблица 3

Степени попарной эквивалентности эталонов при определении отклонения от прямолинейности моста

Наименование характеристики	БелГИМ — УНИИМ
Разность результатов измерений d_{ij} , мкм	0,20
Стандартная неопределённость разности $u(d_{ij})$, мкм	0,22
Расширенная неопределённость отклонения $U(d_{ij})$, мкм	0,44

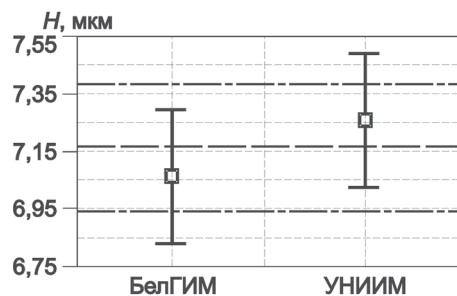


Рис. 2. Результаты измерений отклонения от прямолинейности H моста эталона БелГИМ

Анализ измерительных возможностей в области измерений отклонений от прямолинейности

Страна	НМИ	Диапазон измерений, мкм	Диапазон длины, м	Расширенная неопределённость	
				мкм	мкм/м
Россия	УНИИМ	0—50	0—4	0,2L	0,2
Россия	УНИИМ*	0—50	0—5	0,2L	0,2
Казахстан	КазИнМетр	0—50	0—4	0,2L	0,2
Беларусь	БелГИМ	0—50	0,2—3,0	0,2L	0,2
Нидерланды	VLS	0—100	0,1—2,5	Q[0,4; 0,6L]	0,72
Швеция	SP	0—100	0—2	Q[0,7; 0,03S]	≥0,7
Польша	GUM	0—40	0—1	0,5	0,5
Япония	NMIJ	0—12	0,1—1	0,12	0,12
Германия	PTB	0—100	0—1	0,4L	0,4
Швейцария	METAS	0—100	0—0,8	(15+0,1L)	18,9

Примечание: * После совершенствования эталона.

Задача обеспечения прослеживаемости измерений отклонений от прямолинейности и плоскостности стоит перед многими НМИ разных стран мира. На сайте МБМВ представлена краткая информация об измерительных возможностях разных стран в данной области [10].

В табл. 4 приведены сведения об эталонах единицы длины в области измерений отклонений от прямолинейности и плоскостности ведущих стран мира. Россия занимает в этом виде измерений одно из ведущих мест.

Полученные результаты двусторонних сличений показали, что метрологические характеристики ГЭТ 130—2014 соответствуют заявленным и находятся на мировом уровне.

Заключение. ГЭТ 130—2014 обеспечивает хранение, воспроизведение и передачу единицы длины в области измерений отклонений от прямолинейности и плоскостности с наивысшей точностью в России и позволяет на уровне мировых аналогов решать актуальные проблемы метрологического обеспечения в различных областях промышленности, в том числе, при обеспечении задач импортозамещения и реализации требований технических регламентов Таможенного союза. В настоящее время в рамках КОOMET проводятся дополнительные сличения с эталонами НМИ Республики Беларусь и Казахстан.

Литература

1. Шимолин Ю. Р., Злыдникова Л. А. Эталонная база ФГУП «УНИИМ» в области измерений геометрических величин. Состояние и перспективы развития // Стандартные образцы. 2013. № 4. С. 65—67.

2. **ГОСТ 8.420—2002.** ГСИ. Государственная поверочная схема для средств измерений отклонений от прямолинейности и плоскостности.

3. **ТР ТС 003/2011.** Технический регламент «О безопасности инфраструктуры железнодорожного транспорта».

4. **ТР ТС 002/2011.** Технический регламент Таможенного союза «О безопасности высокоскоростного железнодорожного транспорта».

5. **Приказ** Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии № 119 от 25.01.2015 г. «Об утверждении Государственного первичного специального эталона единицы длины в области измерений отклонений от прямолинейности и плоскостности».

6. **Леонов В. В.** Анализ методов измерений отклонений от параллельности и плоскостности поверхностей. М.: Изд-во стандартов, 1982.

7. **Руководство** по выражению неопределённости измерения / Пер. с англ.; под ред. В. А. Слаева. СПб.: ВНИИМ, 1999 (BIPM, ISO, IEC, OIML, Guide to the expression of Uncertainty in Measurement (1995) 1st ed., ISO, Geneva).

8. **ГОСТ Р 54500.1—2011.** Неопределённость измерения. Часть 1. Введение в руководства по неопределённости измерения.

9. **ГОСТ Р 54500.3—2011.** Неопределённость измерения. Часть 3. Руководство по выражению неопределённости измерения.

10. **МБМВ** [Официальный сайт] http://kcdb.bipm.org/AppendixC/country_list_search.asp?CountSelected=BY,CZ,FI,FR,DE,JP,KZ,NL,PL,RU,ES,SE,CH&sservice=L/DimMet.4.3 (дата обращения 01.05.2015)

Дата принятия 01.07.2015 г.