

Государственный первичный эталон твёрдости металлов по шкале Шора D и шкалам Либа ГЭТ 161-2019

А. Э. Асланян, Э. Г. Асланян, С. М. Гаврилкин, А. С. Дойников, А. Н. Щипунов

Всероссийский научно-исследовательский институт физико-технических и радиотехнических измерений, г. п. Менделеево, Московская обл., Российская Федерация, e-mail: andrey_aslanyan@vniiftri.ru, aslanyan@vniiftri.ru, gavrilkina@vniiftri.ru, doynikov@vniiftri.ru, schipunov@vniiftri.ru

Приведены результаты исследований и усовершенствования Государственного первичного эталона твёрдости металлов по шкале Шора D ГЭТ 161-2001. Совершенствование эталона происходило во Всероссийском научно-исследовательском институте физико-технических и радиотехнических измерений (ВНИИФТРИ) с 2016 по 2018 гг. с целью обеспечения единства измерений твёрдости по шкалам Либа. Разработаны и созданы новые узлы эталона – установки для воспроизведения чисел твёрдости по шкалам Либа. Утверждён Государственный первичный эталон твёрдости металлов по шкале Шора D и шкалам Либа ГЭТ 161-2019. Исследованы метрологические характеристики ГЭТ 161-2019, составлен бюджет неопределённости измерений при воспроизведении чисел твёрдости по шкалам Либа.

Ключевые слова: числа твёрдости Либа, государственный первичный эталон, бюджет неопределённости измерений, государственная поверочная схема.

В промышленности оценка качества и надёжности металлопродукции и контроль технологических процессов в различных отраслях производства неразрывно связаны с измерением механических свойств материалов, в частности твёрдости. Твёрдость является порядковой величиной, зависящей от методов её воспроизведения. Порядковые величины, согласно РМГ 29-2013 «ГСИ. Метрология. Основные термины и определения» и [1–3] могут входить только в эмпирические соотношения и не имеют ни единиц измерения, ни размерностей величин.

В связи с возросшей потребностью измерять твёрдость крупногабаритных деталей на месте сборки или эксплуатации широкое распространение получили динамические методы измерения твёрдости. Данные методы основаны на измерении параметров бояка в моменты удара о поверхность исследуемого материала и отскока от неё. При этом нормируются параметры бояка и один из параметров движения. Боек представляет собой осесимметричную деталь, в которую встроен наконечник из твёрдого сплава, керамики или алмаза. Наконечник бояка имеет закругление, размер которого нормируется в методах измерения твёрдости. В методе Шора для металлов нормируется высота сброса бояка, в методе Либа – скорость бояка в момент удара о поверхность. Также в обоих методах нормируются массы бойков и радиусы закругления. Приборы, реализующие указанные методы, получили распространение благодаря простоте конструкции, производительности измерений и низкой чувствительности к окружающим условиям и качеству поверхности измеряемого образца.

С 1979 по 1984 гг. во ВНИИФТРИ разработана установка высшей точности для воспроизведения чисел твёрдости по шкале Шора D. В соответствии с дальнейшим планом развития

эталонной базы в период 1995–2001 гг. создан Государственный первичный эталон твёрдости металлов по шкале Шора D ГЭТ 161-2001 [4]. Метод Шора стандартизован в ГОСТ 23273-78 «Металлы и сплавы. Измерение твёрдости методом упругого отскока бояка (по Шору)», ГОСТ 8.516-2001 «ГСИ. Государственная поверочная схема для средств измерений твёрдости металлов по шкале Шора D», ГОСТ 8.426-81 «ГСИ. Приборы для измерения твёрдости металлов методом упругого отскока бояка (по Шору). Методы и средства поверки».

Метод Либа изобретён в 1975 г. сотрудниками компании Proseq SA (Швейцария) Д. Либом и М. Брандестини. До 2015 г. отсутствовали международные стандарты на метод Либа. Различными авторами выпущено большое число монографий и научных статей, в которых проанализированы методы Шора и Либа и средства измерений [5–14]. В 2015 г. появились международные стандарты: ISO 16859-1:2015 «Metallic materials – Leeb hardness test – Part 1: Test method», ISO 16859-2:2015 «Metallic materials – Leeb hardness test – Part 2: Verification and calibration of the testing instruments», ISO 16859-3:2015 «Metallic materials – Leeb hardness test – Part 3: Calibration of reference test blocks», описывающие первичный метод измерений чисел твёрдости по шкалам Либа, требования к твердомерам и мерам твёрдости.

С появлением большого числа приборов, реализующих метод Либа, возникла необходимость совершенствования ГЭТ 161-2001 для обеспечения единства измерений твёрдости по шкалам Либа. В 2018 г. закончено усовершенствование ГЭТ 161-2001. В состав модернизированного эталона вошли установки, воспроизводящие числа твёрдости по шкалам Либа D и G. В результате выполненных мероприятий утверждён Государственный первичный

Таблица 1

Нормируемые параметры m , r , v_y для шкал Либа HLD и HLG, оценки $\pm\theta$ возможных отклонений и СКО измерений нормируемых параметров

Характеристика	HLD			HLG		
	m , г	r , мм	v_y , м/с	m , г	r , мм	v_y , м/с
Нормируемое значение с допусками	5,45±0,03	1,500±0,003	2,0500±0,0025	20,00±0,03	2,500±0,003	3,000±0,005
Значение параметра	5,45	1,5007	2,050	19,99	2,4997	3,000
$\pm\theta$	0,01	0,0009	0,0001*	0,01	0,0004	0,0002*
СКО	0,003	0,0003	0,0008	0,003	0,0004	0,0015

Примечание. * Границы НСП.

эталон твёрдости металлов по шкале Шора D и шкалам Либа ГЭТ 161-2019.

Метод воспроизведения чисел твёрдости Либа. Процесс воспроизведения чисел твёрдости по шкалам Либа заключается в падении бойка с алмазным, керамическим или твердосплавным наконечником на образец или меру твёрдости и в определении соотношения между скоростями отскока и соударения бойка. Числа твёрдости по шкалам Либа определяются по формуле

$$HL = 1000v_o/v_y, \quad (1)$$

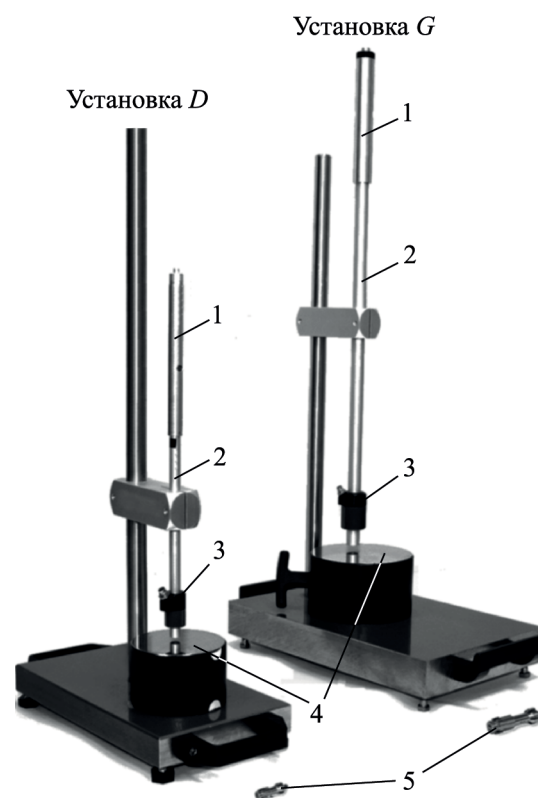
где v_o – скорость в момент отскока бойка; v_y – скорость в момент удара бойка (скорость соударения).

В методе Либа для каждой шкалы нормируется материал, из которого сделан шарик, радиус шарика, масса бойка, скорость бойка в момент удара. Наиболее часто используемыми шкалами твёрдости Либа в промышленности являются шкалы D и G. Нормируемые параметры для этих шкал указаны в табл. 1, где r – радиус закругления бойка, m – масса бойка.

Установки для воспроизведения чисел твёрдости по шкале Либа представлены на рисунке. Установки состоят из трубок с электромагнитными катушками, бойков со встроенными магнитами, механического устройства для сброса бойков. После сброса бойка и его прохождения через катушку в ней индуцируется электродвижущая сила (ЭДС), которая фиксируется электронным блоком. Отношение максимальных напряжений после соударения и до него равно отношению скорости удара к скорости отскока бойка. Электронный блок пересчитывает это соотношение в числа твёрдости по шкалам Либа.

На погрешность воспроизведения чисел твёрдости по шкалам Либа влияют отклонение от номинальных значений массы и радиуса закругления бойка, скорости бойка в момент удара, погрешности определения отношения скорости в момент отскока бойка к скорости в момент удара.

В ГЭТ 161-2019 обеспечена прослеживаемость влияющих на воспроизведение чисел твёрдости величин к Государственному первичному эталону единицы массы – килограмму ГЭТ 3-2008, Государственному первичному эталону единицы длины – метру ГЭТ 2-2010, Государственному первичному эталону единиц времени, частоты и национальной шкалы времени ГЭТ 1-2018, Государственному первичному эталону единицы электрического напряжения – вольту ГЭТ 13-2001.



Установки для воспроизведения чисел твёрдости Либа по шкалам D и G:

1 – устройство сброса бойка; 2 – трубка; 3 – электромагнитная катушка; 4 – меры твёрдости (рабочие эталоны твёрдости по шкалам Либа); 5 – бойки

National primary standard machines for Leeb D and G hardness scales:
1 – device for dumping impact body; 2 – tube; 3 – electromagnetic coil;
4 – Leeb hardness test block; 5 – impact bodies

Прослеживаемость массы бойков к ГЭТ 3-2008 осуществлялась с помощью рабочего эталона единицы массы 4-го разряда по ГОСТ Р 8.021-2015 «ГСИ. Государственная поверочная схема для средств измерений массы».

Прослеживаемость радиусов закруглений бойков к ГЭТ 2-2010 осуществлялась с помощью контурографа.

Пределы погрешности контурографа при измерении радиуса закругления определяются выражением

$$\theta_{\text{кнт}} = \pm (0,2 + r \cdot 10^{-3}),$$

где $\theta_{\text{кнт}}$ – пределы погрешности контурографа в микрометрах; r – радиус закругления в миллиметрах.

Прослеживаемость скорости удара бойка о меру твёрдости к ГЭТ 2-2010 и ГЭТ 1-2018 осуществлялась с помощью рабочего эталона длины первого разряда в соответствии с ГОСТ Р 8.763-2011 «ГСИ. Государственная поверочная схема для средств измерений длины в диапазоне от $1 \cdot 10^{-9}$ до 50 м и длин волн в диапазоне от 0,2 до 50 мкм» и осциллографа с пределами относительной погрешности измерения интервалов времени $\pm 5 \cdot 10^{-5}$.

Перемещение бойка перед ударом о меру твёрдости определяли с помощью лазерного датчика измерения перемещений. Датчик перемещения крепили на эталонной трубке в специальном держателе. Боек падал свободно вниз по трубке, датчик в зависимости от перемещения бойка выдавал электрический сигнал частотой 400 кГц. Интервалы времени, за которые боек проходил измеренное перемещение, измеряли осциллографом. Также осциллографом измеряли

электрическое напряжение на датчике, далее оно пересчитывалось в перемещение с помощью калибровочной функции. По полученной зависимости перемещения бойка от времени определяли скорость падения бойка. Параллельно осциллографом измеряли напряжение на электромагнитной катушке в момент пролёта бойка с магнитом через неё. Момент времени удара бойка о меру определяли с помощью осциллографа в месте перехода кривой «напряжение – время» в прямую линию при пролёте бойка сквозь трубку с катушкой. Погрешность измерения перемещения датчиком находили из калибровочной кривой «напряжение – перемещение». Относительные границы неисклѐченной систематической погрешности (НСП) измерения скорости соударения бойка рассчитывали как сумму относительных погрешностей измерения перемещения и времени. Для определения погрешности измерения перемещения лазерным датчиком использовали рабочие эталоны длины 1-го разряда. Электрическое напряжение измеряли осциллографом с пределами погрешности, определяемыми выражением $\pm(0,0005U + 0,00005)$ В, где U – измеряемое напряжение в вольтах.

Калибровочная функция для датчика перемещения имеет вид

$$X = aU + b,$$

где X – перемещение; a , b – коэффициенты, $a = (0,1 \pm 5 \cdot 10^{-11})$ мм/В, $b = (24 \pm 3,3 \cdot 10^{-5})$ мм.

Максимальные относительные границы НСП датчика перемещения составляют $\pm 5 \cdot 10^{-6}$. Следовательно, относительные границы НСП измерения скорости датчиком составляют $\pm 5,5 \cdot 10^{-5}$.

В табл. 1 приведены измеренные параметры бойков для шкал HLD и HLG, оценки возможных отклонений этих параметров, границы НСП и СКО результатов измерений.

Скорость бойка с магнитом, пролетающим сквозь электромагнитную катушку, пропорциональна напряжению, индущируемому на катушке.

Таким образом, отношение скорости бойка при отскоке от меры твёрдости к скорости бойка при ударе о меру твёрдости равно отношению напряжений в эти моменты времени. Электрические напряжения, возникающие на катушке, после прохождения через неё бойка с магнитом измеряли с помощью электронного блока, входящего в состав ГЭТ 161-2019. Прослеживаемость отношения скорости в момент отскока бойка к скорости в момент удара бойка о меру твёрдости осуществляется с помощью осциллографа,

Таблица 2

Составляющие НСП и СКО воспроизведения чисел твёрдости по шкалам Либа

Составляющая неопределѐнности	НСП _{max}		СКО _{max}	
	HLD	HLG	HLD	HLG
Масса бойка	$\pm 0,2$	$\pm 0,4$	0,06	0,06
Радиус закругления бойка	$\pm 0,3$	$\pm 0,1$	0,1	0,1
Скорость удара бойка	$\pm 0,04$	$\pm 0,04$	0,5	0,6
Отношение скорости удара к скорости отскока	$\pm 2,2$	$\pm 2,1$	0,3	0,4

Таблица 3

Метрологические характеристики ГЭТ 161-01 и ГЭТ 161-2019

Характеристика	ГЭТ 161-2001	ГЭТ 161-2019
Диапазон воспроизведения чисел твёрдости по шкале Шора D HSD	20–140	20–140
Размах значений чисел твёрдости по шкале HSD	0,5	0,5
Диапазон воспроизведения чисел твёрдости по шкале Либа D HLD	–	300–890
Диапазон воспроизведения чисел твёрдости по шкале Либа G HLG	–	300–750
Размах значений чисел твёрдости по шкале HLD	–	6,5
Размах значений чисел твёрдости по шкале HLG	–	3,0
Границы НСП воспроизведения чисел твёрдости Либа HL	–	$\pm 3,5$
СКО воспроизведения чисел твёрдости по шкалам Либа HL	–	0,9
Суммарная стандартная неопределѐнность измерений по шкале Шора D	0,5	0,5
Расширенная неопределѐнность измерений ($k=2$) по шкале Шора D	1,0	1,0
Стандартная неопределѐнность измерений по шкалам Либа по типу А	–	0,9
по типу В	–	1,5
Суммарная стандартная неопределѐнность измерений по шкалам Либа	–	1,7
Расширенная неопределѐнность измерений ($k=2$) по шкалам Либа	–	3,4

подключённого к катушке параллельно с электронным блоком. Осциллограф прослеживался к ГЭТ 13-2001. Границы НСП измерения данного отношения составляют $\pm 0,002$, СКО среднего из 10 измерений – 0,0004.

Результаты исследований ГЭТ 161-2019. В результате проведённых исследований систематических и случайных составляющих погрешностей воспроизведения чисел твёрдости по шкалам Либа получены значения НСП и СКО, обусловленные влияющими величинами. В табл. 2 показаны составляющие НСП и СКО воспроизведения чисел твёрдости. Наибольшие составляющие НСП связаны с определением отношения скорости удара к скорости отскока бойка, наибольшие составляющие СКО – с измерением скорости удара бойка. Шкалы твёрдости Либа являются шкалами порядка, поэтому СКО, НСП, неопределённость измерений при воспроизведении чисел твёрдости вычислены по модели линеаризации шкалы вблизи значений чисел.

Доверительные границы НСП воспроизведения чисел твёрдости с помощью ГЭТ 161-2019 для вероятности 0,99 рассчитывали соответственно по формулам для шкал HLD и HLG:

$$\theta_{\text{HLD}} = \pm 1,5 \sqrt{\sum (C_i \theta_i)^2};$$

$$\theta_{\text{HLG}} = \pm 1,2 \sqrt{\sum (C_i \theta_i)^2},$$

где C_i , θ_i – коэффициент чувствительности и границы НСП i -й влияющей величины соответственно.

Коэффициенты чувствительности влияющих величин, входящих в уравнение (1), определяли дифференцированием уравнения (1) по влияющей величине. Коэффициенты чувствительности величин, не входящих в уравнение (1), находили экспериментально.

СКО воспроизведения чисел твёрдости Либа вычисляли как

$$S_{\text{HL}} = \sqrt{\sum (C_i \theta_i)^2},$$

где S_i – СКО результата измерений i -й величины.

В табл. 3 представлены метрологические характеристики ГЭТ 161-2001 и ГЭТ 161-2019.

Разработанная во ВНИИФТРИ методика измерения скорости удара бойка с помощью быстродействующего триангуляционного лазерного датчика перемещений позволила уменьшить составляющую НСП, связанную с данной величиной, а также разработать конструкцию эталонной трубки и устройство для сброса бойка таким образом, чтобы скорость удара соответствовала значению, нормированному в международном стандарте на метод Либа.

Одновременно с утверждением ГЭТ 161-2019 разработан проект государственной поверочной схемы. Передача чисел твёрдости Шора D и Либа от ГЭТ 161-2019 осуществляется методом прямых измерений твёрдости рабочего эталона 1-го разряда по шкале Шора D (эталонной меры твёрдости первого разряда) и рабочих эталонов твёрдости по шкалам Либа D и G. От рабочего эталона 1-го разряда методом сравнения с помощью компаратора числа твёрдости Шора D передаются рабочему эталону 2-го разряда по шкале Шора D (эталонной

мере твёрдости 2-го разряда). От рабочего эталона 2-го разряда методом прямых измерений числа твёрдости передаются средствам измерений – твердомерам Шора D для металлов. Числа твёрдости по шкалам Либа передаются от рабочих эталонов методом прямых измерений твердомерам Либа.

Заключение. ГЭТ 161-2019 позволяет обеспечить единство измерений твёрдости металлов по шкалам Шора D и Либа D и G. Числа твёрдости Либа воспроизводятся на ГЭТ 161-2019 в соответствии с современными международными требованиями ISO 16859-1:2015 «Metallic materials — Leeb hardness test – Part 1: Test method» и модифицированным российским стандартом ГОСТ Р 8.969-2019 «ГСИ. Металлы и сплавы. Определение твёрдости по шкалам Либа. Часть 1. Метод измерений». Метрологические характеристики ГЭТ 161-2019 соответствуют уровню измерительных возможностей ведущих промышленно развитых стран мира.

Список литературы

1. Дойников А. С. Измеряемая величина // Большая российская энциклопедия. 2016. URL: <https://bigenc.ru/physics/text/2002348> (дата обращения: 06.12.2019).
2. Дойников А. С. Измеряемое свойство // Большая российская энциклопедия. 2016. URL: <https://bigenc.ru/physics/text/2002364> (дата обращения: 06.12.2019).
3. Дойников А. С. Лекции по метрологии. Менделеево: ФГУП «ВНИИФТРИ», 2018. 292 с.
4. Асланян Э. Г., Балаханов М. В., Гусятинская Н. С., Дойников А. С., Козлов В. И., Сафаров Н. А., Шлегель В. Р. Новый Государственный первичный эталон твердости металлов по шкале Шора D // Измерительная техника. 2002. № 3. С. 3–6.
5. Tak N. H., Bahng G. W., Kim T. G., *Verification results of Leeb hardness indicating devices from different manufacturers using the Leeb hardness reference voltage signal*, XXI IMEKO World Congress “Measurement in Research and Industry”, August 30 – September 4, 2015, Prague, Czech Republic.
6. Herrmann K., *Hardness Testing Principles and Applications. Leeb Method*, Published by ASM International, Novelt, USA, 2011, pp. 78–86.
7. Yamamoto M., Yamamoto T., Miyahara K., Maki S., Nakamura M., *Proof examination on small rebound hardness carried out with HLD/HLE standard blocks*, XX IMEKO World Congress Metrology for Green Growth September 9–14, 2012, Busan, Republic of Korea.
8. Schwenk D., *Leeb hardness calibration machine*, IMEKO 2010 TC3, TC5 and TC22 Conferences Metrology in Modern Context November 22–25, 2010, Pattaya, Chonburi, Thailand, pp. 369–372.
9. Wei S., Wu Z., Qingzhong L., *Leeb hardness standard with laser measuring*, XX IMEKO World Congress Metrology for Green Growth September 9–14, 2012, Busan, Republic of Korea, pp. 304–307.
10. Schwenk D., Bandel M., *Calibration of the impact velocity at portable hardness testing devices in accordance with Leeb*, IMEKO 22nd TC3, 12th TC5 and 3rd TC22 International Conferences, 3 to 5 February, 2014, Cape Town, Republic of South Africa.
11. Kompatscher M., *Equotip rebound hardness testing after D. Leeb*, HARDMEKO 2004, Hardness Measurements

Theory and Application in Laboratories and Industries 11–12 November, 2004, Washington, D.C., USA.

12. Sanponpute T., Apichaya Meesaplak, *Measurement*, 2010, vol. 43, no. 5, pp. 631–636. DOI: 10.1016/j.measurement.2010.01.008

13. Hegazy R., Mohamad G., Mohamad M., Khaled K. M., Mohamad M. I., *Empirical relation between Leeb rebound hardness and tensile strength for austenitic ductile cast iron*, IMEKO 23rd TC3, 13th TC5 and 4rd TC22 International Conferences, 30 May to 1 June, 2017, Helsinki, Finland.

14. Chiumiento G., Di Lorenzo G., Formisano A., *Leeb hardness experimental tests for mechanical characterization of structural steels*, XVIII ANIDIS Conference – Seismic Engineering in Italy, 15 September – 19 October 2019, Ascoli Piceno, Italy.

References

1. Doynikov A. S. *Izmeriyemaya velichina. Bol'shaya Rossiyskaya enciklopediya*, 2016, available at: <https://bigenc.ru/physics/text/2002348> (accessed: 06.12.2019) (in Russian).

2. Doynikov A. S. *Izmeriyemoe svoistvo. Bol'shaya Rossiyskaya enciklopediya*, 2016, available at: <https://bigenc.ru/physics/text/2002364> (accessed: 06.12.2019) (in Russian).

3. Doynikov A. S., *Lekcii po metrologii*, Mendeleevo, FSUE "VNIIFTRI" Publ., 2018, p. 292 (in Russian).

4. Aslanyan E. G., Balakhanov M. V., Gusyatinskaya N. S., Doynikov A. S., Kozlov V. I., Safarov N. A., Shlegel V. R., *Measurement Techniques*, 2002, vol. 45, no. 3, pp. 223–227. DOI: 10.1023/A:1015902517391

5. Tak N. H., Bahng G. W., Kim T. G., *Verification results of Leeb hardness indicating devices from different manufacturers using the Leeb hardness reference voltage signal*, XXI IMEKO World Congress "Measurement in Research and Industry", August 30 – September 4, 2015, Prague, Czech Republic.

6. Herrmann K., *Hardness Testing Principles and Applications. Leeb Method*, Published by ASM International, Novelt, USA, 2011, pp. 78–86.

7. Yamamoto M., Yamamoto T., Miyahara K., Maki S., Nakamura M., *Proof examination on small rebound hardness carried out with HLD/HLE standard blocks*, XX IMEKO World Congress Metrology for Green Growth September 9–14, 2012, Busan, Republic of Korea.

8. Schwenk D., *Leeb hardness calibration machine*, IMEKO 2010 TC3, TC5 and TC22 Conferences Metrology in Modern Context November 22–25, 2010, Pattaya, Chonburi, Thailand, pp. 369–372.

9. Wei S., Wu Z., Qingzhong L., *Leeb hardness standard with laser measuring*, XX IMEKO World Congress Metrology for Green Growth September 9–14, 2012, Busan, Republic of Korea, pp. 304–307.

10. Schwenk D., Bandel M., *Calibration of the impact velocity at portable hardness testing devices in accordance with Leeb*, IMEKO 22nd TC3, 12th TC5 and 3rd TC22 International Conferences, 3 to 5 February, 2014, Cape Town, Republic of South Africa.

11. Kompatscher M., *Equotip rebound hardness testing after D. Leeb*, HARDMEKO 2004, Hardness Measurements Theory and Application in Laboratories and Industries 11–12 November, 2004, Washington, D.C., USA.

12. Sanponpute T., Apichaya Meesaplak, *Measurement*, 2010, vol. 43, no. 5, pp. 631–636. DOI: 10.1016/j.measurement.2010.01.008

13. Hegazy R., Mohamad G., Mohamad M., Khaled K. M., Mohamad M. I., *Empirical relation between Leeb rebound hardness and tensile strength for austenitic ductile cast iron*, IMEKO 23rd TC3, 13th TC5 and 4rd TC22 International Conferences, 30 May to 1 June, 2017, Helsinki, Finland.

14. Chiumiento G., Di Lorenzo G., Formisano A., *Leeb hardness experimental tests for mechanical characterization of structural steels*, XVIII ANIDIS Conference – Seismic Engineering in Italy, 15 September – 19 October 2019, Ascoli Piceno, Italy.

Дата поступления: 25.10.2019.

Дата принятия: 25.11.2019.

National primary standard machine of Shore D hardness scale for metals and Leeb hardness scales

Andrey E. Aslanyan, Eduard G. Aslanyan, Sergey M. Gavrilkin, Aleksandr S. Doynikov, Andrey N. Shchipunov

Russian metrological institute of technical physics and radio engineering (VNIIFTRI), Mendeleevo, Moscow Region, Russian Federation, e-mail: andrey_aslanyan@vniiftri.ru, aslanyan@vniiftri.ru, gavrilkin@vniiftri.ru, doynikov@vniiftri.ru, shchipunov@vniiftri.ru

The article presents the results of studies to improve the National primary standard machine for hardness of metals on the shore D scale GET 161-2001, which were performed in FSUE "VNIIFTRI" from 2016 to 2018 in accordance with the technical task of Rosstandart. The improvement was carried out in order to ensure the uniformity of hardness measurements on the Leeb scales. The created new parts of the primary standard machine, which are settings for reproducing hardness numbers on the Leeb scales, are considered. Metrological characteristics of the upgraded and adopted National primary standard machine (GET 161-2019) were investigated, the budget of measurement uncertainty was calculated for reproducing hardness numbers on the Leeb scales.

Key words: Leeb hardness numbers, national primary standard machine, budget of uncertainty, national hierarchy scheme.