

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА ВЕЩЕСТВ И МАТЕРИАЛОВ

Научная статья

УДК 006.9:621.039.536.2:669.15-194

<https://doi.org/10.20915/2077-1177-2023-19-4-143-150>



Оценивание неопределенности при испытаниях на ударный изгиб с использованием стандартного образца

Ю. С. Ченцова ✉, В. В. Толмачев , А. А. Забелина

УНИИМ – филиал ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева», Екатеринбург, Россия

✉ chentsova@uniim.ru

Аннотация: Для аккредитованных испытательных лабораторий актуальной задачей является оценивание неопределенности результатов испытаний. При испытании на ударный изгиб источниками основных вкладов от средства измерений в неопределенность результата являются угол подъема и угол падения маятника, вес маятника, расстояние от оси до центра удара.

Цель работы состоит в описании методологии оценивания неопределенности результатов испытаний на ударный изгиб на основе информации о калибровке копра маятникового и прослеживаемости к стандартному образцу работы удара (поглощенной энергии) стали марки 45 ГСО 11934–2022.

Метод оценки неопределенности основан на статистической модели из ISO 21748–2017. Оценка неопределенности проводилась для копра маятникового ТЕ JBW-300 с использованием ГСО 11934–2022 и образцов типа 11 по ГОСТ 9454–78 с концентратором вида V при комнатной температуре.

В ходе исследования установлено, что наибольший вклад в неопределенность результатов испытаний дают систематическая ошибка, связанная с прослеживаемостью к ГСО 11934–2022 и случайная составляющая измерений. Учет прослеживаемости к стандартному образцу ГСО 11934–2022 увеличивает оценку неопределенности результата, но позволяет корректно сравнивать между собой результаты двух различных лабораторий, что имеет принципиальное значение при арбитражных испытаниях.

Ключевые слова: механические свойства, ударный изгиб, работа удара, метрологическая прослеживаемость, стандартный образец

Ссылка при цитировании: Ченцова Ю. С., Толмачев В. В., Забелина А. А. Оценивание неопределенности при испытаниях на ударный изгиб с использованием стандартного образца // Эталоны. Стандартные образцы. 2023. Т. 19, № 4. С. 143–150. <https://doi.org/10.20915/2077-1177-2023-19-4-143-150>

Статья поступила в редакцию 17.01.2023; одобрена после рецензирования 22.03.2023; принята к публикации 25.05.2023.

MODERN METHODS OF ANALYSIS OF SUBSTANCES AND MATERIALS

Research Article

Estimation of Uncertainty in Charpy Pendulum Impact Test Using the Reference Material

Iuliia S. Chentsova ✉, Vladimir V. Tolmachev , Anastasia A. Zabelina

UNIIM – Affiliated Branch of the D. I. Mendeleev Institute for Metrology, Yekaterinburg, Russia
✉ chentsova@uniim.ru

Abstract: An urgent task for accredited testing laboratories is to estimate the uncertainty of test results. In Charpy pendulum impact test the sources of the main contributions from the measuring instrument to the uncertainty of the result are: the angle of rise and the angle of fall of the pendulum, force exerted by the pendulum, and the distance from the axis of rotation to the center of strike. The aim of the work is to describe the method for estimating the uncertainty of the results of Charpy pendulum impact test based on information about the calibration of the impact testing machine and traceability to the reference material of impact energy (absorbed energy) of steel grade 45 GSO 11934–2022. The uncertainty estimation method is based on the statistical model from ISO 21748–2017. Uncertainty estimation was carried out for a pendulum impact tester TE JBW-300 using GSO 11934–2022 type 11 samples according to GOST 9454–78 with a type V-notch concentrator at room temperature. The study found that the greatest contribution to the uncertainty of test results is made by a systematic error associated with traceability to CRM GSO 11934–2022 and a random component of measurements. Accounting of traceability to the CRM GSO 11934–2022 increases the estimate of the uncertainty of the result, but makes it possible to correctly compare the results of two different laboratories, which is of fundamental importance in arbitration tests.

Keywords: mechanical properties, impact bending, impact energy, metrological traceability, reference material

For citation: Chentsova I. S., Tolmachev V. V., Zabelina A. A. Estimation of uncertainty in charpy pendulum impact test using the reference material. *Measurement Standards. Reference Materials*. 2023;19(4):143–150. (In Russ.). <https://doi.org/10.20915/2077-1177-2023-19-4-143-150>

The article was submitted 17.01.2023; approved after reviewing 22.03.2023; accepted for publication 25.05.2023.

Введение

Стандарты на металлоконструкцию и базы данных о свойствах материалов, как правило, не содержат информацию о неопределенностях приведенных значений ударной вязкости (работа удара, поглощенной энергии). Поэтому при принятии решения о соответствии металлопродукции по результатам испытания на ударный изгиб важно знать неопределенность результата.

Формулы для неопределенности результата испытания на ударный изгиб приведены в ISO 148-1-2016 и работе Czichos H. [1]. Однако в ISO 148-1-2016 рассматривается неопределенность среднего результата по результатам испытания 5 образцов, а межгосударственный стандарт ГОСТ 9454–78 не предусматривает обработку результатов и вычисление среднего значения.

Стоит отметить, что в ISO 148-1-2016 при оценивании неопределенности не учитывается неопределенность калибровки копра маятникового, а учитывается только его погрешность.

Классический подход к оцениванию неопределенности согласно ГОСТ 34100.3–2017/ISO/IEC Guide 98–3:2008 основан на оценивании неопределенности величин, входящих в уравнение измерений. При испытании на ударный изгиб измеряемыми величинами являются угол подъема и угол падения маятника, вес маятника, расстояние от оси до центра удара. Современный автоматизированный маятниковый копер определяет необходимые величины и рассчитывает работу удара (поглощенную энергию) согласно заложенному алгоритму.

Предложенный метод оценивания неопределенности результата единичного испытания на ударный изгиб включает в себя учет неопределенности величин, входящих в уравнение измерений, используя результаты калибровки маятникового копра. В уравнение измерений дополнительно учтен вклад прослеживаемости к стандартному образцу ГСО 11934–2022.

Цель работы состоит в описании методологии оценивания неопределенности результатов испытаний на ударный изгиб на основе информации о калибровке копра маятникового и прослеживаемости к стандартному образцу работы удара (поглощенной энергии) стали марки 45 ГСО 11934–2022.

Материалы и методы

ГСО 11934–2022 получен в результате исследования и характеристики проката сортового стального горячекатанного квадратного сечения по ГОСТ 2591–2006 из стали марки 45 по ГОСТ 1050–2013.

Характеризацию образцов проката по показателю ударопрочность по Шарпи (поглощенная энергия, работа удара) проводили в соответствии с алгоритмами и положениями в ГОСТ 8.532-2002 способом межлабораторного эксперимента. Были привлечены 16 лабораторий, имеющих опыт исследования механических свойств стали. В течение 2 месяцев каждой лаборатории были отправлены образцы материала стандартного образца для проведения испытаний по ГОСТ 9454–78.

Характеристика погрешности межлабораторной аттестации составила 1,01 Дж. Для вычисления границ значений абсолютной погрешности стандартного образца при проведении испытаний в целях утверждения типа установлена характеристика погрешности от неоднородности материала стандартного образца 0,70 Дж.

Значения метрологических характеристик стандартного образца работы удара (поглощенной энергии) стали марки 45, установленные в результате испытаний партии № 1, приведены в табл. 1.

Маятниковый копер *TE JBW-300* JINANTESTING EQUIPMENT IE CORPORATION (производство КНР)

предназначен для измерений энергии разрушения образцов при испытании на двухпопный ударный изгиб.

Принцип действия копра основан на измерении количества энергии, затраченной на разрушение образца единичным ударным нагружением. Количество энергии определяется как разность между значениями потенциальной энергии маятника копра до удара и после разрушения образца.

Показания измерения углов поднятия и падения отсчитываются устройством измерения сигнала с опико-электрическим преобразователем, который обеспечивает расчет результата с помощью специальной компьютерной программы и выводит численные значения на монитор персонального компьютера с возможностью дальнейшего сохранения и печати полученных результатов.

Маятниковый копер *TE JBW-300* был откалиброван согласно ISO 148-2-2016 с обеспечением прослеживаемости к Государственному первичному эталону единицы массы ГЭТ 3–2008, Государственному первичному эталону единицы длины ГЭТ 2–2021, Государственному первичному эталону единицы плоского угла ГЭТ 22–2014.

Для оценивания неопределенности измерений использовался модельный подход на основе ISO 21748–2017. Создана математическая модель, представляющая собой уравнение, определяющее количественную связь между измеряемой величиной и всеми величинами, от которых она зависит, включая все компоненты, которые вносят вклад в неопределенность измерения. Произведена оценка стандартных неопределенностей всех отдельных компонентов неопределенности. Стандартные отклонения от повторных измерений непосредственно являются стандартными неопределенностями для соответствующих компонентов (если можно предположить нормальное распределение). Суммарная стандартная неопределенность вычислена путем применения закона распространения неопределенности, который зависит от частных производных для каждой входной величины. Вычислена расширенная неопределенность U (обеспечивающая интервал от $(y-U)$ до $(y+U)$ для измеряемой величины y). Для

Таблица 1. Метрологические характеристики стандартного образца
Table 1. Metrological characteristics of the reference material

Аттестованная характеристика	Аттестованное значение стандартного образца	Границы значений абсолютной погрешности стандартного образца при $P = 0,95$
Ударопрочность по Шарпи (работа удара, поглощенная энергия) при температуре $(23 \pm 5)^\circ\text{C}$, Дж	25,90	$\pm 1,60$

нормального распределения обычно выбирается коэффициент охвата $k = 2$. Результат измерения вместе с его неопределенностью представлен в соответствии с ГОСТ 34100.3–2017/ISO/IEC Guide 98–3:2008.

Результаты

Статистическая модель, на которой основаны методы оценки неопределенности, записана в виде уравнения (1) ISO 21748–2017:

$$KV = F L (\text{Cos } \beta - \text{Cos } \alpha) + \xi_{\text{ГСО}} + g_{KV} + e_{KV}, \quad (1)$$

где F – вес маятника, Н;

L – расстояние от оси до центра удара (точка приложения силы F), м;

β – угол падения, °;

α – угол подъема, °;

$\xi_{\text{ГСО}}$ – смещение, обусловленное прослеживаемостью;

g_{KV} – округление результата измерений;

e_{KV} – случайная составляющая неопределенности измерений в условиях повторяемости.

Учитывая модель, описываемую уравнением (1), неопределенность измерения KV оценивали, применяя уравнение (2):

$$u^2(KV) = \left(\frac{\partial KV}{\partial F}\right)^2 u^2(F) + \left(\frac{\partial KV}{\partial L}\right)^2 u^2(L) +$$

$$+ \left(\frac{\partial KV}{\partial \beta}\right)^2 u^2(\beta) + \left(\frac{\partial KV}{\partial \alpha}\right)^2 u^2(\alpha) + u^2(\xi_{\text{ГСО}}) + u^2(g_{KV}) + u^2(e_{KV}), \quad (2)$$

где $u^2(F)$ – неопределенность, связанная со вкладом от веса маятника;

$u^2(L)$ – неопределенность, связанная с расстоянием от оси до центра удара;

$u^2(\beta)$ – неопределенность, связанная с углом падения маятника;

$u^2(\alpha)$ – неопределенность, связанная с углом поднятия маятника;

$u^2(\xi_{\text{ГСО}})$ – неопределенность, вызванная неопределенностью оценки, полученной на основе измерений стандартного образца с паспортным значением;

$u^2(g_{\text{в}})$ – неопределенность вследствие округления результата измерений;

$u^2(e_{\sigma_{\text{в}}})$ – случайная составляющая неопределенности измерений стандартного образца в условиях повторяемости.

В настоящем примере неопределенность измерения рассчитана для одного образца, изготовленного из исследуемого материала. Результат измерения 105,5 Дж получен на маятниковом копре TE JBW-300, который был откалиброван по ISO 148-2-2016.

Таблица 2. Бюджет неопределенности измерений, рассчитанный с использованием данных калибровки маятникового копра

Table 2. Measurement uncertainty budget calculated using pendulum impact tester calibration data

№	Источник неопределенности	Обозначение	Формула	Используемые переменные, параметры	Пример
1	Аттестованное значение стандартного образца и его неопределенность (на основе паспорта стандартного образца)	$KV_{\text{ГСО}}$ $u(KV_{\text{ГСО}})$	$u(KV_{\text{ГСО}}) = \frac{\Delta(KV_{\text{ГСО}})}{1,96}$	$KV_{\text{ГСО}} = 25,9$ Дж $\Delta(KV_{\text{ГСО}}) = 1,6$ Дж – значение погрешности аттестованного значения стандартного образца согласно паспорту	$u(KV_{\text{ГСО}}) = \frac{1,6}{1,96} = 0,816$ Дж
2	Прослеживаемость к стандартному образцу	$u(\xi_{KV})$	$u(\xi_{KV}) = \sqrt{u^2(KV_{\text{ГСО}}) + \frac{(KV_{\text{ГСО}} - \overline{KV})^2}{3}}$	\overline{KV} – среднее значение измерений на стандартном образце	Измеренные значения: 27,4 26,7 28,3 26,3 25,0 Дж Среднее значение $\overline{KV} = 26,74$ Дж $u(\xi_{KV}) = \sqrt{0,816^2 + \frac{(25,9 - 26,74)^2}{3}} = 0,949$ Дж

Продолжение табл. 2
Continuation of Tabl. 2

№	Источник неопределенности	Обозначение	Формула	Используемые переменные, параметры	Пример
3	Случайная составляющая неопределенности измерений стандартного образца в условиях повторяемости	$u(e_{KV})$	$u(e_{KV}) = \frac{s_{KV} t(P, f)}{\sqrt{n}} = \frac{s_{KV} t_{0,6827,5}}{\sqrt{5}}$	s_{KV} – стандартное отклонение результатов измерений на стандартном образце $t_{0,6827,5}$ – коэф. Стьюдента = 1,14 для $n = 5$	$s_{KV} = 1.2$ Дж $u(e_{KV}) = \frac{1,14 \cdot 1,2}{\sqrt{5}} = 0,612$ Дж
4	Вес маятника	$u(F)$ $c(F)$	$c(F) = KV/F$ $c(F)u(F)$	из сертификата калибровки $u(F) = 0,35$ Н $F = 217,82$ Н результат для исследуемого материала $KV = 105,5$ Дж	$c(F) = 105,5/217,82 = 0,484$ $c(F)u(F) = 0,484 \times 0,35 = 0,169$ Дж
5	Расстояние от оси до центра удара	$u(L)$ $c(L)$	$c(L) = KV/F$ $c(L)u(L)$	из сертификата калибровки $u(L) = 0,1$ мм $L = 0,741$ м результат для исследуемого материала $KV = 105,5$ Дж	$u(L) = 0,0001$ м $c(L) = 105,5/0,741 = 142$ $c(L)u(L) = 0,0001 \times 142 = 0,0142$ Дж
6	β – угол падения	$u(\beta)$ $c(\beta)$	$c(\beta) = -F L \sin \beta$ $c(\beta)u(\beta)$	из сертификата калибровки $u(\beta) = 0,06^\circ$ $L = 0,741$ м $F = 217,82$ Н для исследуемого материала $KV = 105,5$ Дж $\beta = 109^\circ$	$0,06^\circ = 0,00105$ рад $c(\beta) = -217,82 \cdot 0,741 \cdot \sin 109^\circ = -153$ $c(\beta)u(\beta) = 153 \cdot 0,00105 = 0,153$ Дж
7	α – угол подъема	$u(\alpha)$ $c(\alpha)$	$c(\alpha) = F L \sin \alpha$ $c(\alpha)u(\alpha)$	из сертификата калибровки $u(\alpha) = 0,06^\circ$ $L = 0,741$ м $F = 217,82$ Н для копра $\alpha = 160^\circ$	$0,06^\circ = 0,00105$ рад $c(\alpha) = 217,82 \cdot 0,741 \cdot \sin 160^\circ = 54,9$ $u(\alpha) = 54,9 \cdot 0,001 = 0,0549$ Дж
8	Округление результата	$u(g_{KV})$	$u(g_{KV}) = \frac{\text{ЦД}}{2\sqrt{3}}$	ЦД = 0,1 Дж	$u(g_{KV}) = \frac{0,1}{3,46} = 0,0289$ Дж
9	Суммарная стандартная неопределенность	$u(KV)$	$u(KV) = \sqrt{c^2(F)u^2(F) + c^2(L)u^2(L) + c^2(\beta)u^2(\beta) + c^2(\alpha)u^2(\alpha) + u^2(g_{KV}) + u^2(\xi_{KV}) + u^2(e_{KV})}$		$u(KV) = \sqrt{0,169^2 + 0,0142^2 + 0,153^2 + 0,0549^2 + 0,0289^2 + 0,949^2 + 0,612^2} = 1,17$ Дж

Окончание табл. 2
End of Table 2

№	Источник неопределенности	Обозначение	Формула	Используемые переменные, параметры	Пример
10	Эффективное число степеней свободы	$v_{эфф}$	$v_{эфф} = \frac{u^4(KV)}{\frac{u^4(F)}{v(F)} + \frac{u^4(L)}{v(L)} + \frac{u^4(\beta)}{v(\beta)} + \frac{u^4(\alpha)}{v(\alpha)} + \frac{u^4(g_{KV})}{v(g_{KV})} + \frac{u^4(\xi_{KV})}{v(\xi_{KV})} + \frac{u^4(e_{KV})}{v(e_{KV})}}$	$v(F) = \infty$ $v(L) = \infty$ $v(g_{KV}) = \infty$ $v(\xi_{KV}) = 2 - 1 = 1$ $v(e_{KV}) = 5 - 1 = 4$	$v_{эфф} = \frac{1,2^4}{0 + 0 + 0 + \frac{0,996^4}{1} + \frac{0,612^4}{4}} = 2,035$
11	Расширенная неопределенность	$U(\sigma_a)$	$U(KV) = t_{0,95, v_{эфф}} \cdot u(KV)$	$t_{0,95, v_{эфф}} = 4,30$	$U(\sigma_a) = 1,17 \cdot 4,30 = 5,03$ Дж

Результат измерения энергии удара KV с расширенной неопределенностью измерения $U(KV)$:

$$KV = (105,5 \pm 5,0) \text{ Дж.}$$

Обсуждение

Анализируя бюджет неопределенности, представленный в таблице 2, можно выделить два наибольших вклада в суммарную стандартную неопределенность результата: неопределенность от прослеживаемости к стандартному образцу утвержденного типа и случайная составляющая измерений в условиях повторяемости.

Вклад от случайной составляющей измерений стандартного образца в условиях повторяемости описывается, как правило, случайные эффекты, имеющие место в лаборатории.

Поскольку по абсолютной величине (0,6 Дж) случайная составляющая неопределенности измерений стандартного образца сравнима с неопределенностью стандартного образца (0,8 Дж), можно предположить, что она сформирована за счет неоднородности стандартного образца.

Вклад от прослеживаемости стандартного образца включает в себя систематическую составляющую, связанную с реализацией методики испытаний в лаборатории, например, формой V концентратора, совпадением длины маятника с центром удара по образцу и т. д.

Вклад от составляющих неопределенности, связанных с нормируемыми у копра и измеряемыми автоматизированной системой копра величинами, для исследованного экземпляра копра является незначительным.

Следует отметить, что последнее заключение опирается на результаты калибровки копра по методике

ISO 148-2-2016 и может оказаться некорректным для проверяемых копров.

Выводы

Для копра маятникового ТЕ JBW-300 проведена оценка неопределенности результата испытания на ударный изгиб по ГОСТ 9454–78 с учетом прослеживаемости к стандартному образцу ГСО 11934–2022.

Предложенный метод оценки неопределенности результата испытания на ударный изгиб может быть использован в том случае, если имеются результаты калибровки копра маятникового по ISO 148-2-2016.

Основным вкладом в неопределенность результата испытания на ударный изгиб является вклад от прослеживаемости к стандартному образцу утвержденного типа, что можно объяснить, как минимум, влиянием формы надреза, который наносит лаборатория, и несовпадением центра удара маятника с местоположением образца, – факторами, которые невозможно оценить при непосредственной калибровке копра.

Благодарности: Это исследование не получало финансовой поддержки в виде гранта от какой-либо организации государственного, коммерческого или некоммерческого сектора.

Acknowledgments: The research did not receive financial support in the form of a grant from any organization in the public, commercial or non-profit sectors.

Вклад соавторов: Ченцова Ю. С. – осуществление формального анализа, проведение исследовательских работ; Толмачев В. В. – разработка концепции исследования, осуществление формального

анализа; Забелина А. А. – проведение исследовательских работ.

Author Contributions: Chentsova Iu. S. – implementation of a formal analysis, conducting research work; Tolmachev V. V. – development of the research concept, implementation of a formal analysis; Zabelina A. A. – conducting research work.

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Материал статьи подготовлен на основе доклада, представленного на V Международной научной конференции «Стандартные образцы в измерениях и технологиях» (Екатеринбург, 13–16 сентября

2022 г.). Переводная версия статьи на английском языке планируется к публикации в книге Sobina E. et al. (eds.). *Reference Materials in Measurement and Technology*. RMMT 2022. Switzerland: Springer, Cham.

Conflict of interest: The authors declare no conflict of interest. The material of the article was prepared on the basis of the report presented at the V International Scientific Conference „Reference Materials in Measurement and Technology“ (Yekaterinburg, September 13–16, 2022). A translated version of the article in English is planned for publication in the book Sobina E. et al. (eds.). *Reference Materials in Measurement and Technology*. RMMT 2022. Switzerland: Springer, Cham.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Czichos H., Saito T., Smith L. (Eds.) Springer handbook of metrology and testing. Berlin, Heidelberg: Springer, 2011. 1229 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-16641-9>

REFERENSES

1. Czichos H., Saito T., Smith L. (Eds.) Springer handbook of metrology and testing. Berlin, Heidelberg: Springer: 2011. 1229 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-16641-9>

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- ISO 148-1-2016 Metallic materials – Charpy pendulum impact test – Part 1: Test method // ISO [website]. URL: <https://www.iso.org/standard/63802.html> (дата обращения: 04.08.2022).
- ISO 148-2-2016 Metallic materials. Charpy pendulum impact test. Part 2: Verification of testing machines // ISO [website]. URL: <https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:148:-2:ed-3:v1:en> (дата обращения: 04.08.2022).
- ISO 21748–2017 Guidance for the use of repeatability, reproducibility and trueness estimates in measurement uncertainty evaluation // ISO [website]. URL: <https://www.iso.org/standard/71615.html> (дата обращения: 04.08.2022).
- ГОСТ 8.532-2002 Государственная система обеспечения единства измерений. Стандартные образцы состава веществ и материалов. Межлабораторная метрологическая аттестация. Содержание и порядок проведения работ = State system for ensuring the uniformity of measurements. Certified reference materials of composition of substances and materials. Interlaboratory metrological certification. Content and order of works. ИПК Издательство стандартов, 2003. 12 с.
- ГОСТ 9454–78 Металлы. Метод испытания на ударный изгиб при пониженных, комнатной и повышенных температурах (с Изменениями № 1, 2) = Metals. Method for testing the impact strength at low, room and high temperature. ИПК Издательство стандартов, 2002. 12 с.
- ГОСТ 1050–2013 Металлопродукция из нелегированных конструкционных качественных и специальных сталей. Общие технические условия = Metal products from nonalloyed structural quality and special steels. General specification. М.: Стандартинформ, 2014. 35 с.
- ГОСТ 2591–2006 Прокат сортовой стальной горячекатаный квадратный. Сортамент = Square hot-rolled steel bars. Dimensions. М.: Стандартинформ, 2009. 10 с.
- ГОСТ 34100.3–2017/ISO/IEC Guide 98–3:2008 Неопределенность измерения. Часть 3. Руководство по выражению неопределенности измерения = Uncertainty of measurement. Part 3. Guide to the expression of uncertainty in measurement. М.: Стандартинформ, 2018. 108 с.
- ГСО 11934–2022 стандартный образец работы удара (поглощенной энергии) стали марки 45 // Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений : официальный сайт. <https://fgis.gost.ru/fundmetrology/registry/19/items/1400120>. (дата обращения: 04.08.2022).
- ГЭТ 3–2008 GET 3–2008 Государственный первичный эталон единицы массы – килограмма / институт хранитель ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева» // Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений : официальный сайт. URL: <https://fgis.gost.ru/fundmetrology/registry/12/items/1385582> (дата обращения: 04.08.2022).

ГЭТ 2–2021 Государственный первичный эталон единицы длины – метра / институт хранитель ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева» // Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений : официальный сайт. URL: <https://fgis.gost.ru/fundmetrology/registry/12/items/1387037> (дата обращения: 04.08.2022).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Ченцова Юлия Сергеевна – ведущий инженер лаборатории менеджмента риска и метрологического обеспечения безопасности технологических систем УНИИМ – филиал ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева»
Россия, 620075, г. Екатеринбург, ул. Красноармейская, 4
e-mail: Chentsova@uniim.ru

Толмачев Владимир Валерьянович – канд. физ.-мат. наук, заведующий отделом метрологии механических и геометрических величин и характеристик Уральского научно-исследовательского института метрологии – филиал ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева»
Россия, 620075, г. Екатеринбург, ул. Красноармейская, 4
e-mail: Sertif@uniim.ru
<https://orcid.org/0000-0002-6122-1734>

Забелина Анастасия Андреевна – инженер лаборатории менеджмента риска и метрологического обеспечения безопасности технологических систем УНИИМ – филиал ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева»
Россия, 620075, г. Екатеринбург, ул. Красноармейская, 4
e-mail: Sertif@uniim.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Iuliia S. Chentsova – Lead Engineer of the Laboratory for Risk Management and Metrological Safety Assurance of Technological Systems, UNIIM – Affiliated Branch of the D. I. Mendeleev Institute for Metrology
4 Krasnoarmeyskaya str., Yekaterinburg, 620075, Russia
e-mail: Chentsova@uniim.ru

Vladimir V. Tolmachev – Cand. Sci. (Phys.-Math.), Head of the Department of metrology of mechanical and geometric quantities and characteristics, UNIIM – Affiliated Branch of the D. I. Mendeleev Institute for Metrology

4 Krasnoarmeyskaya str., Yekaterinburg, 620075, Russia
e-mail: Sertif@uniim.ru

Anastasia A. Zabelina – Engineer of the laboratory for risk management and metrological safety assurance of technological systems, UNIIM – Affiliated Branch of the D. I. Mendeleev Institute for Metrology
4 Krasnoarmeyskaya str., Yekaterinburg, 620075, Russia
e-mail: Sertif@uniim.ru