

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА ВЕЩЕСТВ И МАТЕРИАЛОВ

Научная статья

УДК 669.01:620.172:006.354

<https://doi.org/10.20915/2077-1177-2023-19-1-41-50>



Применение концепции прослеживаемости при определении механических свойств металлов при статическом растяжении: на примере ГСО 11854–2021

И. Н. Матвеева, В. В. Толмачев , А. А. Забелина

Уральский научно-исследовательский институт метрологии – филиал ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д. И. Менделеева», г. Екатеринбург, Россия
✉ sertif@uniim.ru

Аннотация: Статья посвящена особенностям использования стандартного образца утвержденного типа как основы для сравнения в качестве одного из основных инструментов обеспечения прослеживаемости и контроля точности результатов измерений механических свойств.

В ходе исследования был поведен анализ подхода теоретических принципов на основе ГОСТ 34100.3–2017 / ISO/IEC Guide 98–3:2008 и алгоритмов расчетов ГОСТ Р ИСО 21748–2021 для оценивания неопределенности измерений. Рассмотрена методология применения стандартного образца механических свойств стали марки 20 ГСО 11854–2021 для оценивания неопределенности результатов испытаний на статическое растяжение.

Установлено, что оценивание неопределенности результатов испытаний на статическое растяжение для обеспечения прослеживаемости результата приводит к необходимости учета систематической составляющей лаборатории при расчете неопределенности результатов испытания или как поправки, или как вклада в стандартную суммарную неопределенность. Предложены два варианта учета систематической составляющей лаборатории.

Практическая значимость проведенного исследования заключается в возможности применения аккредитованными лабораториями модельного подхода теоретических принципов на основе ГОСТ 34100.3–2017 / ISO/IEC Guide 98–3:2008 и алгоритмов расчетов ГОСТ Р ИСО 21748–2021 (уравнение 1) при оценке неопределенности по п. 7.6 ГОСТ ISO/IEC17025–2019.

Ключевые слова: механические свойства, статическое растяжение, метрологическая прослеживаемость, первичная референтная методика, стандартный образец

Ссылка при цитировании: Матвеева И. Н., Толмачев В. В., Забелина А. А. Применение концепции прослеживаемости при определении механических свойств металлов при статическом растяжении: на примере ГСО 11854–2021 // Эталоны. Стандартные образцы. 2023. Т. 19, № 1. С. 41–50. <https://doi.org/10.20915/2077-1177-2023-19-1-41-50>

Статья поступила в редакцию 05.10.2022; одобрена после рецензирования 15.12.2022; принята к публикации 25.12.2022.

MODERN METHODS OF ANALYSIS OF SUBSTANCES AND MATERIALS

Research Article

Application of the concept of traceability in determining the mechanical properties of metals under static tension on the example of GSO 11854–2021

Iлона N. Matveeva, Vladimir V. Tolmachev , Anastasia A. Zabelina

UNIIM – Affiliated Branch of the D. I. Mendeleev Institute for Metrology, Yekaterinburg, Russia

✉ sertif@uniim.ru

Abstract: The article is devoted to the special aspects of application of a certified reference material as a basis for comparison as one of the main tools for ensuring traceability and accuracy control of the measurement results of mechanical properties.

In the course of the research, an analysis of the approach of theoretical principles based on GOST 34100.3–2017 / ISO/IEC Guide 98–3:2008 and GOST R ISO 21748–2021 calculation algorithms for evaluating measurement uncertainty was carried out. The methodology of application of the reference material for the mechanical properties of steel grade 20 GSO 11854–2021 for evaluating the uncertainty of the static tensile test results was considered.

It was established that evaluating the uncertainty of the static tensile test results to ensure the traceability of the result leads to the need to account the systematic component of the laboratory when calculating the uncertainty of test results, either as a correction or as a contribution to the standard total uncertainty. Two accounting options for the systematic component of the laboratory were proposed.

The practical significance of the research is the possibility of applying the model-based approach of theoretical principles based on GOST 34100.3–2017 / ISO / IEC Guide 98–3:2008 and GOST R ISO 21748–2021 calculation algorithms (Equation 1) when evaluating uncertainty according to clause 7.6 of GOST ISO/IEC17025–2019 by accredited laboratories.

Keywords: mechanical properties, static tension, metrological traceability, primary reference measurement procedure, reference material

For citation: Matveeva I. N., Tolmachev V. V., Zabelina A. A. Application of the concept of traceability in determining the mechanical properties of metals under static tension on the example of GSO 11854–2021. *Measurement Standards. Reference Materials*. 2023;19(1):41–50. <https://doi.org/10.20915/2077-1177-2023-19-1-41-50>

The article was submitted 05.10.2022; approved after reviewing 25.10.2022; accepted for publication 25.12.2022.

Введение

Определение механических характеристик металлов при статическом растяжении является одним из основных методов идентификации материала по прочности и пластичности. Испытание на статическое растяжение не является прямым измерением, характеристики прочности (временное сопротивление, условный предел текучести) и пластичности (относительное удлинение, относительное сужение) определяют, используя соответствующие уравнения измерения при заданных

условиях испытания. Поэтому результаты определения механических свойств нельзя соотнести с основой для сравнения в виде эталона физической величины, но возможно в качестве основы для сравнения использовать либо первичную референтную методику, либо стандартный образец. Однако вопросы применения стандартного образца или первичной референтной методики в качестве основы для сравнения имеют особенности, отсутствующие в количественном химическом анализе, связанные с неоднородностью

стандартного образца или материала, который используется для сличения результатов лабораторной методики по ГОСТ 1497–84 с результатами первичной референтной методики.

В работах G. W. Bahng и G. Roebben [1–3] механические свойства классифицируются как характеристики, зависящие от методик испытания. Путаница при установлении прослеживаемости механических свойств возникает вследствие того, что результаты испытаний механических свойств металлов выражают в основных единицах SI. Например, прочность при испытании на статическое растяжение измеряют в мегапаскалях, которые являются единицей давления (сила, деленная на площадь). Однако утверждение, что свойства металла при испытании на статическое растяжение можно проследить к единице силы и единице длины, т. е. базовым единицам SI, является некорректным, так как они измеряются при испытаниях до разрушения образца. Для получения реакции образца необходимо применение внешнего воздействия в виде растяжения, например, с определенной скоростью деформирования. Это означает, что если изменить метод или процедуру внешнего воздействия, то результаты также изменятся. Для обеспечения прослеживаемости свойств и объективного контроля правильности применения метода испытаний в лаборатории необходим стандартный образец.

В работах S. Adamczak, H. Czichos и B. Aydemir [4–6] обсуждаются варианты расчетов неопределенности характеристик прочности и пластичности.

Существенным недостатком данных работ является составление бюджета неопределенности только на основании данных о прослеживаемости к единицам силы и длины, т. е. без использования стандартного образца.

В работе В. В. Толмачева и И. Н. Матвеевой [7] обсуждался подход к обеспечению метрологической прослеживаемости результатов измерений механических свойств при испытании на статическое растяжение с помощью стандартных образцов к первичной референтной методике измерений.

При оценивании неопределенности результатов испытаний на статическое растяжение вклад от прослеживаемости результата, оцениваемый с помощью стандартных образцов, приводит к необходимости учета систематической составляющей лаборатории или как поправки, или как вклада в стандартную суммарную неопределенность.

Целью статьи является исследование и апробация методологии применения стандартного образца для установления прослеживаемости при определении механических свойств металлов при статическом растяжении.

В задачи исследования входит следующее: провести анализ подхода теоретических принципов на основе ГОСТ 34100.3–2017/ISO/IEC Guide 98–3:2008 и алгоритмов расчетов ГОСТ Р ИСО 21748–2021 для оценивания неопределенности измерений; на примере стандартного образца механических свойств стали марки 20 ГСО 11854–2021 провести процедуру оценивания неопределенности результатов испытаний на статическое растяжение; сформировать подход, основанный на составлении бюджета неопределенности с учетом совокупного эффекта от всех источников неопределенности, включая смещение, обусловленное прослеживаемостью.

Материалы и методы

Метрологическая прослеживаемость (Metrological traceability), согласно JCGM 200:2012 [8] (п. 2.41), – свойство результата измерения, в соответствии с которым результат может быть соотнесен с основой для сравнения через документированную неразрывную цепочку калибровок, каждая из которых вносит вклад в неопределенность измерения. Предметом исследования являлась обязательная характеристика результата измерения прочностных свойств металла – неопределенность временного сопротивления, и анализ вклада от прослеживаемости при составлении бюджета неопределенности. В качестве основы для сравнения выбран стандартный образец механических свойств стали марки 20 ГСО 11854–2021.

Стандартный образец утвержденного типа ГСО 11854–2021 получен в результате исследования и характеристики проката сортового стального горячекатаного круглого сечения по ГОСТ 2590–2006 из стали марки 20 по ГОСТ 1050–2013. Характеризация образцов проката по показателям «временное сопротивление» и «предел текучести физический» проводилась на Государственном эталоне силы первого разряда (регистрационный номер по Федеральному информационному фонду по обеспечению единства измерений 3.1.0275.2017) при минимальной скорости деформирования $0,00025 \text{ с}^{-1}$, предусмотренной ГОСТ 1497–84. Стандартная неопределенность от характеристики составила $0,9 \text{ Н/мм}^2$. Для вычисления характеристики расширенной неопределенности аттестованных значений при проведении испытаний в целях утверждения типа установлена стандартная неопределенность от неоднородности материала стандартного образца 2 Н/мм^2 .

Значения метрологических характеристик стандартного образца механических свойств стали марки 20, установленные в результате испытаний партии № 1 приведены в табл. 1.

Таблица 1. Метрологические характеристики стандартного образца механических свойств стали марки 20 ГСО 11854–2021

Table 1. Metrological characteristics of the reference material for the mechanical properties of steel grade 20 GSO 11854–2021

Аттестованная характеристика	Аттестованное значение CO	Значения абсолютной расширенной неопределенности аттестованных значений CO (при P=0,95 и k=2)
Напряжение σ_b (временное сопротивление, предел прочности) при статическом испытании на растяжение, МПа (Н/мм ²) *	446	±6
Напряжение σ_T (предел текучести физический) при статическом испытании на растяжение, МПа (Н/мм ²) *	250	±10

* для пропорциональных цилиндрических образцов по ГОСТ 1497–84 с начальной расчетной длиной $l_0=5d_0$, где d_0 – начальный диаметр пропорционального цилиндрического образца.

Для оценки неопределенностей измерений можно использовать разные подходы. Все они включают определение измеряемой величины и тщательное выявление всех возможных вкладов, способствующих увеличению неопределенности измерений.

Предложенная в [9] классификация подходов к оценке неопределенности представлена на рис. 1. Классификация основана на различии между оценкой неопределенности, проводимой самой лабораторией (так называемый внутрилабораторный подход),

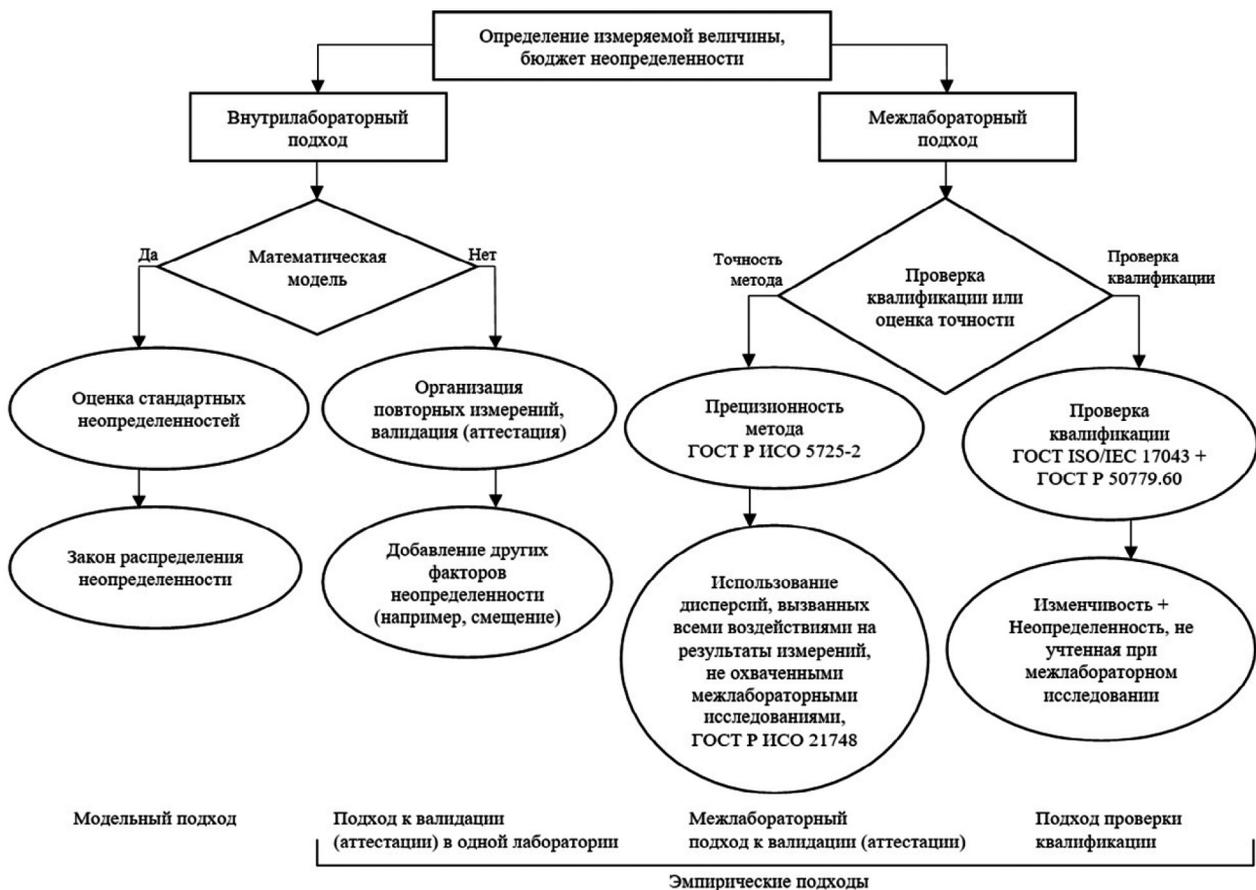


Рис. 1. Классификация подходов к оценке неопределенности согласно [9]
 Fig. 1. The classification of approaches to uncertainty evaluation according to [9]

и оценкой неопределенности, основанной на совместных исследованиях в различных лабораториях (так называемый межлабораторный подход).

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

Следует отметить, что эмпирические подходы столь же справедливы, как и модельный подход, и иногда даже приводят к более реалистичной оценке неопределенности, поскольку они в значительной степени основаны на экспериментальных данных, на многолетнем опыте и отражают общепринятую практику.

Результаты

Статистическая модель, на которой основаны методы оценки неопределенности, может быть записана в виде уравнения (1) ГОСТ Р ИСО 21748–2021:

$$\sigma_B = \sigma + \xi_{\sigma_B} + \sum c_i x'_i + g_B + e_{\sigma_B}, \quad (1)$$

где σ_B – результат измерений, относительно которого предполагается, что он может быть вычислен по соответствующей функции ($\sigma_B = \frac{P_B}{F_0}$, P_B – максимальное усилие, предшествующее разрыву образца, F_0 – начальная площадь поперечного сечения);

σ – (неизвестное) математическое ожидание идеальных результатов;

ξ_{σ_B} – смещение, обусловленное прослеживаемостью;

x'_i – отклонение от номинального значения x_i ;

c_i – коэффициент чувствительности, равный $\frac{\partial \sigma_B}{\partial x_i}$;

g_B – округление результата измерений по ГОСТ 1497–84;

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

Предполагалось, что x'_i подчиняются нормальному распределению с нулевым математическим ожиданием и дисперсией $u^2(x'_i)$.

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

$$u^2(\sigma_B) = u^2(\xi_{\sigma_B}) + c^2(P_B)u^2(P_B) + c^2(d_0)u^2(d_0) + u^2(g_B) + u^2(e_{\sigma_B}) = u^2(\xi_{\sigma_B}) + \left(\frac{4}{\pi d_0^2}\right)^2 u^2(P_B) + \left(-\frac{8P_B}{\pi d_0^3}\right)^2 u^2(d_0) + u^2(g_B) + u^2(e_{\sigma_B}), \quad (2)$$

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

$u^2(x'_i)$ – неопределенность, соответствующая x'_i ;

$u^2(g_B)$ – неопределенность вследствие округления результата измерений;

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

Неопределенность, соответствующая смещению, обусловленному прослеживаемостью, задается уравнением (3):

$$u^2(\xi_{\sigma_B}) = u^2(\sigma_{B\text{ГСО}}) + \frac{(\sigma_{B\text{ГСО}} - \bar{\sigma}_B)^2}{3}, \quad (3)$$

где $u^2(\sigma_{B\text{ГСО}})$ – неопределенность, соответствующая паспортному значению $\sigma_{B\text{ГСО}}$, используемому для оценки правильности при совместном исследовании.

Если стандартный образец был испытан n раз (не менее 3 раз), то рекомендуемая процедура оценки границ $u^2(e_{\sigma_B})$ выглядит следующим образом:

а) определить среднее значение и стандартное отклонение $S_{\bar{\sigma}_B}$;

б) определить доверительную область среднего значения по формуле (4):

$$u(e_{\sigma_B}) = \frac{S_{\bar{\sigma}_B} t(P, f)}{\sqrt{n}}, \quad (4)$$

где t – коэффициент Стьюдента;

P – уровень доверия;

$f = (n-1)$ степени свободы;

n – число измерений.

Для $P = 0,7$ и $n = 3$ коэффициент $t = 1,386$.

Пример расчета бюджета неопределенности измерений характеристики «временное сопротивление» приведен в табл. 2.

Обсуждение

При анализе бюджета неопределенности, представленного в табл. 2, можно выделить 4 равноценных вклада в суммарную стандартную неопределенность: от начального диаметра образца, округления результата, прослеживаемость к стандартному образцу утвержденного типа (СО) и случайная составляющая измерений в условиях по-

Таблица 2. Бюджет неопределенности измерений характеристики «временное сопротивление»
Table 2. The uncertainty budget for measurements of the characteristic «breaking point»

Источник неопределенности	Обозначение	Формула	Используемые переменные, параметры	Пример
Начальный диаметр образца	$u(d_0)$ $c(d_0)$	$u(d_0) = \frac{\Delta_{d_0}}{\sqrt{3}}$ $c(d_0) = -2 \frac{\sigma_B}{d_0}$ $c(d_0)u(d_0)$	Табл. 8 ГОСТ 1497 $\Delta_{d_0} = \pm 0,10$ мм $\sigma_B = 570$ Н/мм ³ $d_0 = 10,06$ мм	$u(d_0) = \frac{0,10}{\sqrt{3}} = 0,0577$ $c(d_0) = -2 \frac{570}{10,06} = -113$ $c(d_0)u(d_0) = 113 \cdot 0,0577 = \boxed{6,52 \text{ Н/мм}^2}$
Максимальное усилие, предшествующее разрыву образца	$u(P_B)$ $c(P_B)$	$u(P_B) = \frac{\Delta_{P_B}}{\sqrt{3}}$ $c(P_B) = \frac{\sigma_B}{P_B}$ $c(P_B)u(P_B)$	Предел допускаемой относительной погрешности измерения силы $\frac{\Delta_P}{P} = \pm 0,5\%$ $\sigma_B = 570$ Н/мм ² $P_B = 45120$ Н	$P_B = 45120$ Н $u(P_B) = \frac{45120 \cdot 0,005}{\sqrt{3}} = 130$ $c(P_B) = \frac{570}{45120} = 0,0126$ $c(P_B)u(P_B) = 130 \cdot 0,0126 = \boxed{1,64 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2}}$
Округление результата	$u(g_{\sigma_B})$	$u(g_{\sigma_B}) = \frac{g_{\sigma_B}}{\sqrt{12}}$	Табл. 2 ГОСТ 1497 $g_{\sigma_B} = 10$ Н/мм ² для $\sigma > 500$ Н/мм ²	$u(g_{\sigma_B}) = \frac{10}{\sqrt{12}} = \boxed{2,88 \text{ Н/мм}^2}$
Среднее значение и СКО измерений на СО	$\bar{\sigma}_B, S_{\sigma_B}$	$\bar{\sigma}_B = \frac{\sum_{i=1}^n \bar{\sigma}_{Bi}}{n} = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 \bar{\sigma}_{Bi}$ $S_{\sigma_B} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\bar{\sigma}_{Bi} - \bar{\sigma}_B)^2} =$ $= \sqrt{\frac{1}{2} \sum_{i=1}^3 (\bar{\sigma}_{Bi} - \bar{\sigma}_B)^2}$	$\bar{\sigma}_{Bi}$ – единичное измерение ГСО n – количество измерений ГСО ($n=3$)	Результаты измерений: (545; 550; 555) Н/мм ² $\bar{\sigma}_B = 550$ Н/мм ² $S_{\sigma_B} = \sqrt{\frac{1}{2}(5^2 + 0 + 5^2)} = 5$ Н/мм ²
Случайная составляющая неопределенности измерений ГСО в условиях повторяемости	$u(e_{\sigma_B})$	$u(e_{\sigma_B}) = \frac{S_{\sigma_B} t(P, f)}{\sqrt{n}} = \frac{S_{\sigma_B} t_{0,7,2}}{\sqrt{3}}$	$t_{0,7,2} = 1,386$ для $n = 3$	$u(e_{\sigma_B}) = \frac{5 \cdot 1,386}{\sqrt{3}} = \boxed{4 \text{ Н/мм}^2}$
Аттестованное значение ГСО и его неопределенность (на основе паспорта ГСО)	$\sigma_{\text{вГСО}}$ $u(\sigma_{\text{вГСО}})$	$u(\sigma_{\text{вГСО}}) = \frac{U(\sigma_{\text{вГСО}})}{2}$	$\sigma_{\text{вГСО}} = 527$ Н/мм ² $U(\sigma_{\text{вГСО}}) = 6$ Н/мм ² – значение расширенной неопределенности ГСО согласно паспорту	$u(\sigma_{\text{вГСО}}) = \frac{6}{2} = 3$ Н/мм ²

Окончание табл. 2
End of Table 2

Источник неопределенности	Обозначение	Формула	Используемые переменные, параметры	Пример
Прослеживаемость к ГСО	$u(\xi_{\sigma_b})$	$u(\xi_{\sigma_b}) = \sqrt{u^2(\sigma_{\text{ГСО}}) + \frac{(\sigma_{\text{ГСО}} - \bar{\sigma}_b)^2}{3}}$		$u(\xi_{\sigma_b}) = \sqrt{3^2 + \frac{(527 - 550)^2}{3}} = 13,6 \text{ Н/мм}^2$
Суммарная стандартная неопределенность	$u(\sigma_b)$	$u(\sigma_b) = \sqrt{c^2(P_b)u^2(P_b) + c^2(d_0)u^2(d_0) + u^2(g_b) + u^2(\xi_{\sigma_b}) + u^2(e_{\sigma_b})}$		$u(\sigma_b) = \sqrt{6,52^2 + 1,64^2 + 2,88^2 + 4^2 + 13,6^2} = 16,0 \text{ Н/мм}^2$
Эффективное число степеней свободы	$\nu_{\text{эфф}}$	$\nu_{\text{эфф}} = \frac{u^4(\sigma_b)}{\frac{u^4(P_b)}{\nu(P_b)} + \frac{u^4(d_0)}{\nu(d_0)} + \frac{u^4(g_b)}{\nu(g_b)} + \frac{u^4(\xi_{\sigma_b})}{\nu(\xi_{\sigma_b})} + \frac{u^4(e_{\sigma_b})}{\nu(e_{\sigma_b})}}$	$\begin{aligned} \nu(P_b) &= \infty \\ \nu(d_0) &= \infty \\ \nu(g_{\sigma_b}) &= \infty \\ \nu(\xi_{\sigma_b}) &= 2 - 1 = 1 \\ \nu(e_{\sigma_b}) &= 3 - 1 = 2 \end{aligned}$	$\nu_{\text{эфф}} = \frac{16,0^4}{0 + 0 + 0 + \frac{13,6^4}{1} + \frac{4^4}{2}} = \frac{65536}{34338} = 1,9$
Расширенная неопределенность	$U(\sigma_b)$	$U(\sigma_b) = t_{0,95,\nu_{\text{эфф}}} \cdot u(\sigma_b)$	$t_{0,95,\nu_{\text{эфф}}} = 4,303$	$U(\sigma_b) = 4,303 \cdot 16,0 = 69 \text{ Н/мм}^2$

вторяемости. Рассмотрим каждую из составляющих отдельно.

Величина вклада от начального диаметра образца обусловлена величиной допуска на диаметр испытываемого образца, равного 0,10 мм согласно ГОСТ 1497–84. Данный вклад, в соответствии с JCGM 106:2012 [10], описывает глобальный риск для объекта (образца), выбранного случайно из производственного процесса. Решение об учете данного вклада следует принимать в зависимости от того идет ли речь о неопределенности для конкретного образца либо о неопределенности методики испытаний, реализованной на конкретном оборудовании в лаборатории.

Вклад от округления результата 10 Н/мм², предусмотренный в ГОСТ 1497–84, по-видимому, был обусловлен применением в прошлом разрывных машин с аналоговым сигналом, обладающих недостаточной чувствительностью к динамическим изменениям усилия в процессе испытания. В настоящее время использование разрывных машин с оцифрованным сигналом позволяет пренебречь данным вкладом.

Вклад от случайной составляющей измерений СО в условиях повторяемости описывает, как правило, качество работы оператора и случайные эффекты,

имеющие место при реализации методики испытаний в лаборатории на конкретном оборудовании, т. к. неоднородность материала уже учтена в метрологических характеристиках СО. В примере оценка величины вклада равна 4 Н/мм², предполагается, что необходимо оценивать случайную составляющую для каждой системы оператор-разрывная машина.

Вклад от прослеживаемости к СО включает в себя систематическую составляющую, связанную с реализацией методики испытаний в лаборатории, в том числе за счет алгоритмов программного обеспечения разрывной машины, и неоднородность материала СО. Основными влияющими факторами могут являться подготовительные операции перед началом испытаний (обнуление датчиков силы, датчиков деформации, способ закрепления образцов, величина предварительного нагружения), задаваемые условия испытания (скорость деформирования или скорость нагружения), ошибки в расчетах, в том числе в алгоритмах встроенного программного обеспечения [7]. Как правило, используемая на практике скорость испытания близка к максимальным величинам, допускаемым методикой испытаний, так как необходимо провести максимальное количество испытаний за рабочую смену оператора. Однако при этом

пренебрегают следующими неявными допущениями. Во-первых, ГОСТ 1497-84 является методом испытаний на статическое растяжение, т. е. достоверные результаты получаются при минимальной скорости испытаний. Во-вторых, проверка разрывных машин осуществляется в стационарном режиме, а испытания проводятся в динамическом режиме. Поэтому регистрируемые значения усилия и удлинения могут иметь систематическую погрешность, связанную со скоростью испытания. В примере оценка величины вклада за счет прослеживаемости равна $13,6 \text{ Н/мм}^2$, предполагается, что систематическую погрешность следует оценивать для каждой из имеющихся разрывных машин.

Расширенная неопределенность в примере имеет значение 69 Н/мм^2 , что обусловлено эффективным числом степеней свободы $\nu_{\text{эфф}} = 1,9$. Уменьшение эффективного числа степеней свободы возможно двумя путями. Первый состоит в уменьшении систематической составляющей за счет изменения скорости испытания. Второй путь будет реализован, если случайная составляющая окажется по величине не менее вклада от прослеживаемости к ГСО.

Выводы

Использование стандартного образца утвержденного типа как основы для сравнения является одним из основных инструментов обеспечения прослеживаемости и контроля точности результатов измерений механических свойств. Подход, основанный на составлении бюджета неопределенности для уравнения измерения (1), позволит лабораториям проводить надлежащую оценку неопределенности результатов измерений характеристик механических свойств с учетом совокупного эффекта от всех источников неопределенности, а также с учетом смещения, обусловленного прослеживаемостью.

Практическая значимость проведенного исследования заключается в возможности применения аккредитованными лабораториями модельного подхода теоретических принципов на основе ГОСТ 34100.3–2017/ISO/IEC Guide 98–3:2008 и алгоритмов расчетов ГОСТ Р ИСО 21748–2021 (уравнение 1) при оценке неопределенности по п. 7.6 ГОСТ ISO/IEC17025–2019.

Благодарности: авторы выражают благодарность главному металлургу ОАО «Уралтурбо» Чеснокову Михаилу Александровичу за оказанную техническую помощь при испытаниях стандартного образца в целях

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

Acknowledgments: the authors express their gratitude to Mikhail A. Chesnokov, Chief Metallurgist of JSC «Uralturbo», for the technical assistance provided during testing of the reference material for the purpose of type approval. The research did not receive financial support in the form of a grant from any organization in the public, commercial or non-profit sector.

Вклад соавторов: Матвеева И. Н. – осуществление формального анализа, проведение исследовательских работ, создание визуальных материалов; Толмачев В. В. – разработка концепции исследования, осуществление формального анализа; Забелина А. А. – проведение исследовательских работ.

Contribution of the authors: Matveeva I. N. – implementation of formal analysis, research work, creation of visual materials; Tolmachev V. V. – development of the research concept, implementation of formal analysis; Zabelina A. A. – research work. A translated version of the article in English is planned for publication in the book Sobina E. P. Et all. (eds.). Reference Materials in Measurement and Technology. RMMT 2022. Switzerland: Springer, Cham.

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта 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. Establishment of traceability in the measurement of the mechanical properties of materials / G. W. Bahng [et al.] // *Metrologia*. 2010. Vol. 47, № 2. P. 32–40. <https://doi.org/10.1088/0026-1394/47/2/S04>
2. Metrological traceability of the measured values of properties of engineering materials / G. Roebben [et al.] // *Metrologia*. 2010. Vol. 47, № 2. P. 23–31. <https://doi.org/10.1088/0026-1394/47/2/S03>
3. Bahng G. W., Cho S. J., Lee H. M. A technical approach to establish traceability in materials metrology // *Mapan – Journal of Metrology Society of India*. 2007. Vol. 22, № 3. P. 145–151.
4. Adamczak S., Bochnia J., Kundera C. Stress and strain measurements in static tensile tests // *Metrology and Measurement Systems*. 2012. Vol. 19, № 3, P. 531–540. <https://doi.org/10.2478/v10178-012-0046-3>
5. Czichos H., Saito T., Smith L. (Eds.) Springer handbook of metrology and testing. Springer: Berlin, 2011. 1229 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-16641-9>
6. Aydemir B., Cal B. Quality of material tensile test // Center for Quality: Collection of works 5th International Quality Conference, 20 May 2011. Kragujevac: Faculty of Mechanical Engineering, University of Kragujevac, 2011, P. 331–336.
7. Толмачев В. В., Матвеева И. Н. Современное состояние метрологического обеспечения испытаний на статическое растяжение // Эталоны. Стандартные образцы. 2022. Т. 18, № 1. С. 51–67. <https://doi.org/10.20915/2077-1177-2022-18-1-51-67>
8. JCGM 200:2012 International vocabulary of metrology – Basic and general concepts and associated terms (VIM). 3rd ed. BIPM. 2012. 108 p. URL: https://www.bipm.org/documents/20126/2071204/JCGM_200_2012.pdf/f0e1ad45-d337-bbeb-53a6-15fe649d0ff1
9. Measurement uncertainty revisited: Alternative approaches to uncertainty evaluation: Technical report 2007. no. 1 Paris: EUROLAB, 2007. 62 p. URL: https://eurolab-d.de/files/measurement_uncertainty_revisited_-_alternative_approaches_to_uncertainty_evaluation.pdf
10. JCGM 106:2012 Evaluation of measurement data – The role of measurement uncertainty in conformity assessment. BIPM. 2012. 57 p. URL: https://www.bipm.org/documents/20126/2071204/JCGM_106_2012_E.pdf/fe9537d2-e7d7-e146-5abb-2649c3450b25

REFERENCES

1. Bahng G. W., Kim J. J., Lee H. M., Huh Y. H. Establishment of traceability in the measurement of the mechanical properties of materials. *Metrologia*. 2010;47(2):32–40. <https://doi.org/10.1088/0026-1394/47/2/S04>
2. Roebben G., Linsinger T. P. J., Lamberty A., Emons H. Metrological traceability of the measured values of properties of engineering materials. *Metrologia*. 2010;47(2):23–31. <https://doi.org/10.1088/0026-1394/47/2/S03>
3. Bahng G. W., Cho S. J., Lee H. M. A technical approach to establish traceability in materials metrology. *Mapan – Journal of Metrology Society of India*. 2007;22(3):145–151.
4. Adamczak S., Bochnia J., Kundera C. Stress and strain measurements in static tensile tests. *Metrology and Measurement Systems*. 2012;19(3):531–540. <https://doi.org/10.2478/v10178-012-0046-3>
5. Czichos H., Saito T., Smith L. (eds.) Springer handbook of metrology and testing. Springer: Berlin; 2011. 1229 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-16641-9>
6. Aydemir B., Cal B. Quality of material tensile test. In: *Center for Quality: Collection of works 5th International Quality Conference*, 20 May 2011. Kragujevac: Faculty of Mechanical Engineering, University of Kragujevac; 2011, p. 331–336.
7. Tolmachev V. V., Matveeva I. N. The current state of metrological support for static tension tests. *Measurement Standards. Reference Materials*. 2022;18(1):51–67. <https://doi.org/10.20915/2077-1177-2022-18-1-51-67> (In Russ.).
8. JCGM 200:2012 International vocabulary of metrology – Basic and general concepts and associated terms (VIM). 3rd ed. BIPM. 2012. 108 p. Available at: https://www.bipm.org/documents/20126/2071204/JCGM_200_2012.pdf/f0e1ad45-d337-bbeb-53a6-15fe649d0ff1
9. Measurement uncertainty revisited: Alternative approaches to uncertainty evaluation: Technical report 2007. no. 1 Paris: EUROLAB, 2007. 62 p. Available at: https://eurolab-d.de/files/measurement_uncertainty_revisited_-_alternative_approaches_to_uncertainty_evaluation.pdf
10. JCGM 106:2012 Evaluation of measurement data – The role of measurement uncertainty in conformity assessment. BIPM. 2012. 57 p. Available at: https://www.bipm.org/documents/20126/2071204/JCGM_106_2012_E.pdf/fe9537d2-e7d7-e146-5abb-2649c3450b25

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

ГСО 11854-2021 Стандартный образец утвержденного типа механических свойств стали марки 20 // Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений : официальный сайт. URL: <https://fgis.gost.ru/fundmetrology/registry/19/items/1395637>

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. Москва: Стандартинформ, 2014. 36 с.

ГОСТ 1497-84 Металлы. Методы испытаний на растяжение = Metals. Methods of tension test. Москва: Стандартинформ, 2008.

ГОСТ 2590-2006 Прокат сортовой стальной горячекатаный круглый. Сортамент = Round hot-rolled steel bars. Dimensions. Москва: Стандартинформ, 2010. 12 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. Москва: Стандартинформ, 2018. 108 с.

ГОСТ Р ИСО 21748-2021 Статистические методы. Руководство по использованию оценок повторяемости, воспроизводимости и правильности при оценке неопределенности измерений = Statistical methods. Guidance for the use of repeatability, reproducibility and trueness estimates in measurement uncertainty evaluation : издание официальное. Москва: Стандартинформ, 2014. 38 с.

ГОСТ ISO/IEC 17025-2019 Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий = General requirements for the competence of testing and calibration laboratories. Москва: Стандартинформ, 2021. 28 с.

Государственный рабочий эталон единицы силы первого разряда в диапазоне значений от 1 до 50 кН // Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений: официальный сайт. URL: <https://fgis.gost.ru/fundmetrology/registry/11/items/415290>

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Матвеева Илона Николаевна – научный сотрудник 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

Толмачев Владимир Валерьянович – канд. физ.-мат. наук, заведующий отделом метрологии механических и геометрических величин и характеристик Уральского научно-исследовательского института метрологии – филиала 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

Ilna N. Matveeva – Researcher 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

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
<https://orcid.org/0000-0002-6122-1734>

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