

Рисунок 2 – Схема действия сил на консольную балку при прочном соединении стержней в зоне А

При воздействии силы  $F$  плоскость торца сечения повернется на угол  $\theta/2$ , при таком закреплении стержней в зоне А, а торец будет представлять плоскость, образованную двумя торцами стержней. Методом начальных параметров угол поворота торца  $\theta/2$  можно представить уравнением:

$$E2J_x \frac{\theta}{2} = R \frac{l^2}{2} - M_B \cdot l - \frac{F(\frac{l}{2})^2}{2} = (\frac{3Fl^2}{8} - M_B l), \quad (5)$$

или

$$\frac{\theta}{2} = \frac{1}{2EJ_x} \left[ \frac{3Fl^2}{8} - M_B l \right]. \quad (6)$$

Приравнивая между собой правые части уравнений (3) и (6), будем иметь:

$$\frac{1}{2EJ_x} \left[ \frac{3Fl^2}{8} - M_B \cdot l \right] = -\frac{Fl^2}{32EJ_x}. \quad (7)$$

Решая уравнение (7) относительно изгибающего момента  $M_B$ , получим:

$$M_B = \frac{7Fl}{16}. \quad (8)$$

Рассматривая совместно полученное уравнение (8) и уравнение статического равновесия (4), будем иметь:

$$M_C = \frac{Fl}{16}. \quad (9)$$

Максимальные нормальные напряжения в поперечных сечениях такой консоли будут возникать в окрестности заделки и равны:

$$\sigma_{max} = \frac{M_B}{2W_x} = \frac{7Fl}{32W_x}. \quad (10)$$

Из сравнения напряжений в стержнях со свободными концами консоли (1) и с жестко закрепленными между собой концами такой же консоли (10) следует, что скрепление концов способствует снижению максимальных напряжений.

#### Литература

1. Феодосьев, В. И. Сопротивление материалов / В. И. Феодосьев. – М.: Наука, 1972. – 541 с.
2. Писаренко, Г. С. Сопротивление материалов / Г. С. Писаренко, А. Л. Квитка. – Киев: Техника, 1967. – 783 с.
3. Татур, Г. К. Общий курс сопротивления материалов / Г. К. Татур. – Минск: «Вышэйшая школа», 1974. – 462 с.

УДК 621.31/36

### ОБЕСПЕЧЕНИЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ ПРОСЛЕЖИВАЕМОСТИ КАЛИБРОВКИ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ

Ковалёнок А.А., Коробко Ю.С.

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

**Аннотация.** Рассмотрены актуальные вопросы обеспечения единства измерений при калибровке средств измерения температуры – обеспечение метрологической прослеживаемости. На основании поверочной схемы разработана методика калибровки термометров определенного типа и предложена схема метрологической прослеживаемости калибровки. Разработан вариант реализации рабочего места для проведения калибровок.

**Ключевые слова:** температура, измерение, калибровка, метод калибровки, метрологическая прослеживаемость, рабочее место калибровщика.

### ENSURING METROLOGICAL TRACEABILITY OF CALIBRATION OF TEMPERATURE MEASURING INSTRUMENTS

Kovalyonok A., Korobko Yu.

Belarusian National Technical University  
Minsk, Republic of Belarus

**Abstract.** Topical issues of ensuring the uniformity of measurements during calibration of temperature measuring instruments – ensuring metrological traceability are considered. On the basis of the calibration scheme, a method for calibrating thermometers of a certain type has been developed and a scheme for metrological traceability of calibration has been proposed. A variant of the workplace implementation for calibrations has been developed.

**Key words:** temperature, measurement, calibration, calibration method, metrological traceability, calibrator's workplace.

Адрес для переписки: Коробко Ю.С., пр. Независимости, 65, Минск 220113, Республика Беларусь  
e-mail: korobko.u@bntu.by

Согласно Закону «Об обеспечении единства измерений» одним из принципов обеспечения единства измерений является обеспечение метрологической прослеживаемости. Это понятие в отечественной метрологии относительно новое и повсеместно внедряется в метрологическую практику. Кроме того, Закон определяет метрологическую прослеживаемость как одну из основ обеспечения единства измерений. Под метрологической прослеживаемостью результатов измерения понимают свойство этого результата, в соответствии с которым он может быть соотнесен с национальным эталоном единицы величины или иной основы для сравнения через документированную неразрывную цепь поверок и калибровок средств измерений. Таким образом, метрологическая прослеживаемость призвана обеспечить доверие к эквивалентности измерений на международном уровне, что, в свою очередь, способствует снятию различного рода барьеров между государствами в том числе и в торговле. В глобальном масштабе метрологическая прослеживаемость определена Договоренностью о взаимном признании национальных эталонов, сертификатов калибровки и измерений, выдаваемых национальными метрологическими институтами.

В Республике Беларусь традиционно еще широко используется метрологическая практика, основанная на разработанных ранее стандартах, таких понятиях как «методика выполнения измерений», «поверка средств измерений» и т. п., базирующихся на теории погрешностей. Поверка средств измерений при этом, как один из видов деятельности, по метрологической оценке, способна обеспечить метрологическую прослеживаемость согласно поверочной схеме.

В данной статье предлагаются различные варианты реализации схем метрологической прослеживаемости в процессе калибровки средств измерения температуры погружного типа, разработанных согласно государственных поверочных схем. Результаты поверки используются также и для разработки методики оценки неопределенности измерений. Все эти разработки в совокупности с имеющимся поверочным оборудованием и предлагаемыми методиками калибровки позволили организовать оптимальные калибровочные места для термометров определенного типа.

Так, в статье предлагается «унифицированное» калибровочное место, суть методики калибровки которого заключается в том, что она реализуется «от обратного». Имея определенный парк эталонного оборудования и оборудования, воспроизводящего заданную температуру, а также на основании точностных характеристик калибруемого средства измерения, становится возможным проводить калибровку широкого спектра средств измерений в заданном диапазоне температур с заданной точностью путем целенаправленного подбора необходимого оборудования. Таким образом, реализуется

гибкая математическая модель методики калибровки, которая зависит только от имеющегося в наличии на данный момент оборудования.

При разработке схемы метрологической прослеживаемости за основу была принята государственная поверочная схема, регламентированная стандартом ГОСТ 8.558-2009 «Государственная поверочная схема для средств измерений температуры». Схема отражает иерархию средств измерения температуры и нормирует на каждом этапе передачи размера конкретные интервалы погрешности СИ и методы передачи.

Для демонстрации метрологической прослеживаемости необходимо документально подтвердить неопределенность калибровки на каждом этапе и рассчитать итоговую неопределенность всей цепочки, ведущей от рабочего СИ к эталону. С этой целью был проведен анализ метрологических характеристик наиболее востребованных средств измерений температуры – показывающих термометров погружного типа в диапазоне температуры от 193,15 К до 1473,15 К с пределом допускаемой абсолютной погрешности  $\Delta$  от 0,05 °С до 1,00 °С. Проведенный анализ позволил сделать вывод о том, что указанные термометры относятся к группе рабочих СИ. Схема цепочки метрологической прослеживаемости при калибровке термометров погружного типа показана на рис. 1.

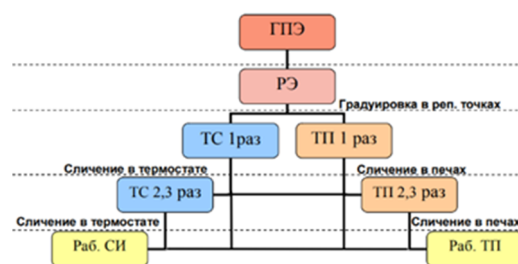


Рисунок 1 – Упрощенная схема передачи единицы температуры

На рис. 1 обозначено: ТС – термометр сопротивления, ТП – термопара, СИ – любые рабочие средства измерения температуры.

Методика оценки неопределенности при калибровке устанавливается исходя из математической модели процесса калибровки. При этом основными факторами, влияющими на суммарную неопределенность калибровки являются стандартная неопределенность, расширенная неопределенность и комбинированная стандартная неопределенность.

#### Литература

1. Дивин, А. Г. Средства измерения температуры, оптических и радиационных величин: учебное пособие / А. Г. Дивин, С. В. Пономарев. – Тамбов: Издательство ФБГОУ ВПО «ТГТУ», 2013. – 116 с.
2. Об утверждении Правил осуществления метрологической оценки в виде работ по калибровке средств измерений [Электронный ресурс] : Постановление

государственного комитета по стандартизации Республики Беларусь от 23 апреля 2021 г. № 42. – Режим доступа: <https://pravo.by/document/?guid=3961&p0=W22136599>. – Дата доступа: 10.10.2022.

3. Система обеспечения единства измерений Республики Беларусь. Поверка средств измерений. Правила проведения работ : ТКП 8.003-2011 (03220). – Госстандарт. – Введ. 01.01.2012. – 26 с.

4. Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. Основные положения и определения : СТБ ИСО 5725-1. – Госстандарт. – Введ. 01.07.2003. – 28 с.

5. Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. Основной метод определения повторяемости и воспроизводимости стандартного метода измерений : СТБ ИСО 5725-2. – Госстандарт. – Введ. 01.01.2022. – 68 с.

6. СТБ ИСО 5725-3 «Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. Промежуточные показатели прецизионности стандартного метода». – Госстандарт. – Введ. 01.07.2003. – 36 с.

7. СТБ ИСО 5725-4 «Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. Основные

методы определения правильности стандартного метода измерений». – Госстандарт. – Введ. 26.03.2020. – 34 с.

8. Системы менеджмента. Менеджмент измерений. Анализ измерительных систем : СТБ 2450-16. – Госстандарт.

9. Государственная поверочная схема для средств измерений температуры : ГОСТ 8.558. – Стандартинформ. – Введ. 01.07.2012. – 26 с.

10. СТБ 8014 «Система обеспечения единства измерений Республики Беларусь. Калибровка средств измерений. Организация и порядок проведения». – Госстандарт. – Введ. 01.07.2001. – 16 с.

11. Об обеспечении единства измерений [Электронный ресурс] : Закон Республики Беларусь от 5 сентября 1995 г. – Режим доступа: <https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=v19503848>.

12. Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий : ISO/IEC 17025-2019. – Стандартинформ. – Введ. 01.09.2009. – 32 с.

13. Рекомендация КООМЕТ. Калибровка средств измерений. Алгоритмы обработки результатов измерений и оценивания неопределенности : СОМЕТ R/GM/32:2017. – Минск: Коомет, 2017. – 43 с.

УДК 528.021

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ПЕРСПЕКТИВНОГО МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ИЗМЕРЕНИЯ ДЛИНЫ В УСЛОВИЯХ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ ПРЕЦИЗИОННОСТИ

Козаченков С.А.

*Всероссийский научно-исследовательский институт физико-технических и радиотехнических измерений  
р.п. Менделеево, Солнечногорск, Московская обл., Российская Федерация*

**Аннотация.** Проведен анализ состояния эталонной базы средств измерений длины. Приведены результаты промежуточных исследований перспективного метрологического комплекса. Предложены вариант и схема создания линейного полевого эталонного базиса.

**Ключевые слова:** эталон, средство измерения длины, метрологический комплекс.

### THE RESULTS OF THE STUDY OF A PROMISING METROLOGICAL COMPLEX OF LENGTH MEASUREMENT IN CONDITIONS OF INTERMEDIATE PRECISION

Kozachenkov S.

*Russian metrological institute of physico-technical and radio-technical measurements  
Mendeleevo, Solnechnogorsk, Moscow region, Russian Federation*

**Abstract.** The analysis of the state of the reference base of length measuring instruments is carried out. The results of intermediate studies of a promising metrological complex are presented. A variant and a scheme for creating a linear field reference basis are proposed.

**Key words:** standard, means of measuring length, metrological complex.

*Адрес для переписки: Козаченков С.А., р.п. Менделеево, Солнечногорск, Московская обл., 141570, Российская Федерация, e-mail: ksa@vniiftri.ru*

На протяжении многих лет странами ЕС и США против Российской Федерации вводятся экономические санкции разного характера. Одним из запретов является экспорт лазерных технологий и оптико-волоконного оборудования.

В современном мире науки и техники России, а в частности в развитии способов решения различных задач в области дальнометрии, остро стоит вопрос создания отечественного эталонного комплекса средств метрологического обеспечения средств измерения длины в полевых условиях.

Одной из таких разработок является макет высокоточного метрологического комплекса средств измерений приращений координат (далее по тексту –

комплекс) созданный специалистами ФГУП «ВНИИФТРИ» в рамках опытно-конструкторской работы.

Особенностью данного комплекса является воспроизведение единицы длины в полевых условиях в соответствии с международным определением метра.

Исследования метрологических характеристик комплекса проводились в условиях промежуточной прецизионности измерений [3] с использованием геодезических пунктов из состава астрономо-геодезического полигона комплекса средств метрологического обеспечения средств измерения азимута.