

Я. В. Райхерт^{1}, Г. В. Симонова¹*

Влияние температурных искажений на погрешность измерений

¹Сибирский государственный университет геосистем и технологий, г. Новосибирск,
Российская Федерация
*e-mail: raykherty@bk.ru

Аннотация. На точность результатов измерений существенное влияние могут оказывать как внешние, так и внутренние факторы, которые реализуются в конкретных условиях проведения измерительного эксперимента. К внешним воздействиям принято относить изменения параметров окружающей среды, например, температуру воздуха и влажность окружающей среды, атмосферное давление. Кроме этого на значения измеряемых параметров оказывают искажающие воздействия изменения напряжения сети питания, а также возможное перемещение объектов в процессе измерений (скорость и ускорение). Искажающие воздействия на достоверность результатов измерений могут возникать и внутри средства измерений. Таким образом, для повышения точности результатов измерений необходимо выявлять, устранять или учитывать искажающие воздействия любого рода. В частности, в данной работе рассматривается влияние температурных искажений на погрешность различных средств измерений. Показано, что температурные искажения влияют не только на погрешность определения длины измеряемой меры, но и на погрешность самого эталонного средства, а также, выявлено, что погрешность эталонных средств сильнее зависит от температурных искажений, чем рабочих средств измерений.

Ключевые слова: температурные искажения, погрешность измерения, эталон, штриховая мера, рабочие средства измерений

Ya. V. Raykhert^{1}, G. V. Simonova¹*

The influence of temperature distortions on measurement error

¹Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation
* e-mail: raykherty@bk.ru

Abstract. The accuracy of measurement results can be significantly influenced by both external and internal factors, which are realized in the specific conditions of the measurement experiment. External influences usually include changes in environmental parameters, for example, air temperature and humidity, atmosphere pressure. In addition, the values of the measured parameters distorted by changes in the power supply voltage, as well as the possible movement of objects during the measurement process (speed and acceleration). Distorting effects on the reliability of measurement results can also arise within the measuring instrument. Thus, to improve the accuracy of measurement results, it is necessary to identify, eliminate or take into account distorting influences of any kind. In particular, this paper examines the influence of temperature distortions on the error of various measuring instruments. It shown that temperature distortions affect not only the error in determining the length of the measure being measured, but also the error of the reference tool itself, but also the error of the reference means itself, and also that the error of the reference means depends more on temperature distortions than working measuring instruments.

Keywords: temperature distortions, measurement error, standard, line measure, working measuring instruments

Введение

На достоверность результатов измерений могут оказывать влияние различные внешние и внутренние воздействия (факторы). Температуру окружающей среды можно отнести к внешним факторам.

На рабочем месте не всегда удастся поддерживать нормальные температурные условия. Эти условия могут быть нормальными для работников, но не для измерительных приборов.

Причин для изменения температурных условий может быть множество, например:

- недопоставка тепла котельными или наоборот его избыток;
- плохая вентиляция в рабочем помещении;
- погодные условия и т. д. [1].

Изменение температуры окружающей среды влияет на характеристики средства измерения не только изменением собственных характеристик элементов средства измерений, но и может изменять физиологическое состояние оператора, что приводит к возникновению субъективной погрешности [2].

Для некоторых средств измерений при поверке температурные условия могут иметь меньшее влияние. Например, для мер плоского угла призматических. Поверка мер плоского угла призматических проводится в соответствии с Государственной поверочной схемой для средств измерений плоского угла [3].

В МИ 1758-87 [4] регламентированы условия, при которых должна проводиться поверка мер плоского угла призматических, такие как температура помещения $(20 \pm 3) ^\circ\text{C}$ и относительная влажность $(60 \pm 20) \%$.

Для Государственных эталонов ситуация обстоит по-другому. В Федеральном законе № 102-ФЗ от 26.06.2008 г. «Об обеспечении единства измерений» [5] приводится следующее определение для этих технических устройств: эталон единицы величины – техническое средство, предназначенное для воспроизведения, хранения и передачи единицы величины.

Любой эталон предназначен для воспроизведении единиц физических величин с целью передачи их значения другим техническим устройствам, как эталонам, так и рабочим средствам измерений. Эталоны обладают более точными характеристиками, чем рабочие средства измерений, в связи с чем следует предположить, что изменение температуры имеет на них большее влияние.

Например, Государственный вторичный эталон единиц длины ВЭТ 2 – 14 – 59 используется для подтверждения метрологических характеристик штриховых мер. К мерам такого типа относятся разнообразные средства измерений:

- штриховые меры длины разных конструкций [6];
- рулетки ленточные [7];
- измерительные линейки разных модификаций и др. [8].

Все перечисленные устройства требуют передачи единиц физической величины в соответствии с Государственной поверочной схемой для средств измерений длины в диапазоне от $1 \cdot 10^{-9}$ до 100 м и длин волн в диапазоне от 0,2 до 50 мкм [9].

Штриховая мера длины представляет собой техническую конструкцию, состоящую из одного или нескольких элементов, воспроизводящих определенное значение линейного размера, который определяется как кратчайшее расстояние между центрами двух определенных штрихов делений шкалы меры. Штриховые меры длины очень востребованы для решения различных прикладных задач, поэтому вопрос контроля температурных искажений при поверке данных средств измерений крайне важен.

Таким образом, все технические устройства, предназначенные для измерений длины от эталона до рабочих средств измерений подвержены температурным искажениям характеристик, что обусловлено как принципом их действия, так и конструктивными особенностями [10, 11].

Целью статьи является оценка влияния температурных искажений на погрешность результата измерений. Предложенный метод основан на использовании функции влияния, представленной в нормативной документации.

Методы и материалы

Для исследования влияния температуры на погрешность технических устройств были использованы государственный вторичный эталон единиц длины ВЭТ 2 – 14 – 59, который используется для подтверждения метрологических характеристик штриховых мер, и штриховые меры длины, изготовленные из разных материалов.

Отклонение температуры окружающей среды от нормируемых значений может вызвать погрешность измерений для компаратора из-за изменения показателя преломления воздуха, а для меры – за счет ее деформации под воздействием температуры.

Поскольку допустимый температурный диапазон у поверяемых приборов, как правило, значительно шире, чем при аттестации эталона, то превышения допустимого значения погрешности при поверке могут возникать внутри допустимого интервала, но вблизи границ диапазона, что может быть обусловлено не только изменением погрешности меры, но и самого эталона.

Признавать прибор непригодным для дальнейшей эксплуатации в этом случае профессионально некорректно и экономически не выгодно. Особенно в условиях достаточно высоких цен на высокоточные средства измерений и отсутствия поставок некоторых видов приборов.

Характеристики эталонов, а также их зависимость от температуры определяются при их аттестации и указываются в методике поверки. В данном случае использовались соотношения, определяющие изменение показателя преломления среды (в данном случае воздуха) в которой происходит распространение электромагнитной волны зондирующего излучения.

Значение длины волны излучения в воздухе $\lambda_{\text{воз}}$ зависит от показателя преломления воздуха $n_{\text{воз}}$ на трассе измерения. Показатель преломления $n_{\text{воз}}$ является функцией температуры воздуха – t , давления воздуха – P и влажности воздуха – e , результат вычисляется по формуле:

$$n_{\text{возд.}} = f(t, P, e), \quad (1)$$

При отклонении условий измерений от нормальных в результате измерений необходимо вносить поправку изменения расстояния $(\Delta L)_{\lambda}$, обусловленную изменением показателем преломления используемого излучения:

$$\theta = (\Delta L)_{\lambda} = \left(1 - \frac{n_{\text{возд.}}}{n_N} \right) \cdot L, \quad (2)$$

где θ – погрешность измерений от введения поправок;

$n_{\text{возд.}}$ – показатель преломления воздуха при заданной температуре;

n_N – показатель преломления воздуха в стандартных условиях;

L – измеряемый интервал, м.

Погрешность измерений от введения поправок из-за неточности действительного значения температуры измеряемой меры рассчитывается следующим образом:

$$\theta = \Delta t \cdot \alpha \cdot L, \quad (3)$$

где θ – погрешность измерений от введения поправок; Δt – погрешность измерения температуры меры; α – коэффициент линейного расширения; L – измеряемый интервал.

При проведении поверки в определяемую погрешность средства измерений входит и погрешность самого эталона, поэтому проведения физического эксперимента для решения задачи, поставленной в данной работе смысла не имеет, поскольку не позволит разделить искомые компоненты. Единственным выходом из такой ситуации является аналитический расчет на основании информации, представленной в технической документации, как на эталон, так и на меру.

В качестве примера для сравнения полученных результатов были проведены расчеты абсолютной погрешности изменения расстояния для меры из кварцевого стекла и линейных размеров, определяемых с помощью компаратора на длине волны 590 нм.

Результаты

По результатам выполненного исследования были проведены расчеты. Для эталона на длине волны 590 нм при снижении температуры на 2 °С относительно стандартных условий (20 °С) и температурном коэффициенте изменения показателя преломления воздуха 10^{-6} K^{-1} , полученного линейной аппроксимацией зна-

чений показателя преломления воздуха при стандартных [12, стр. 635] и нормальных условиях. Значение погрешности, обусловленное изменением температуры было получено по формуле (2):

$$\theta = (\Delta L)_\lambda = \left(1 - \frac{1,000275}{1,000273}\right) \cdot 400 = 8 \cdot 10^{-4} \text{ мм.}$$

Значение показателя преломления газа относительно стандартных условий при снижении температуры на 2 °С получено как:

$$1,000273 + 2 \cdot 1 \cdot 10^{-6} = 1,000275$$

Для штриховой меры из кварцевого стекла с коэффициентом линейного расширения $\alpha = 5,0 \cdot 10^{-7} \text{ К}^{-1}$ [13] и номинальном значении меры 0,4 м [14] по формуле (3) получен следующий результат абсолютной погрешности при изменении температуры на 2 °С:

$$\theta = 2 \cdot 0,4 \cdot 5,0 \cdot 10^{-7} = 4,0 \cdot 10^{-7} \text{ м, или } 4 \cdot 10^{-4} \text{ мм.}$$

Сравнение полученных значений абсолютной погрешности линейных размеров показывает, что изменение погрешности эталона в два раза превышает погрешность меры.

Штриховые меры могут производить и из других материалов и с другими номинальными размерами и коэффициентами линейного расширения, но всегда выбираются материалы с минимальными значениями.

Результаты расчетов показали, что эталонные средства намного более чувствительны к температурным искажениям, чем рабочие средства измерений. Следует также учитывать, что для Государственного вторичного эталона единицы длины ВЭТ 2 – 14 – 59 температурные искажения влияют не только на погрешность определения длины измеряемой меры, но и на погрешность самого эталонного средства в результате изменения длины волны используемого излучения.

Заключение

В результате исследований в данной работе были проанализированы различные воздействующие факторы, наличие которых может существенно влиять на погрешность результатов измерений. В частности, было оценено влияние на результаты измерений температурных искажений при определении геометрических размеров объектов. В результате проведенных расчетов было выявлено, что эталонные средства намного более чувствительны к температурным искажениям, чем рабочие средства измерений, причем искажаются не только параметры контролируемых объектов (в данном случае штриховых мер), но и параметры

самого эталона, в данном случае изменение рабочей длины волны, связанное с изменением показателя преломления воздуха в измерительном канале.

Предложенный метод оценки влияния температурных искажений на результат поверки достаточно универсален и может быть применен в любом случае, с использованием функций влияния температуры на характеристики технических устройств, которые, как правило, приводятся в технической документации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Г. В. Куренкова, Е. В. Жукова, Е. П. Лемешевская. Микроклимат производственных помещений. Учебное пособие для студентов. – Иркутск, ИГМУ – 2020. – 52 с.

2. Влияние температуры на измеряемые величины (базовый анализ) [Электронный ресурс] – URL: <https://www.machinemfg.com/ru/temperature-influence-on-measurement-dimension/> (дата обращения: 15.04.2024).

3. Государственная поверочная схема для средств измерений плоского угла, утвержденная приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 26 ноября 2018 г. N 2482 – М.: Стандартиформ, 2018 – 18 с.

4. МИ 1758-87 ГСИ. Меры плоского угла призматические. Методика поверки. – Государственный комитет СССР по стандартам – Государственный комитет СССР по стандартам, – М.: Издательство стандартов, 1989 – 20 с.

5. Федеральный закон об обеспечении единства измерений [Электронный ресурс]: Федеральный закон от 26.06.2008 N 102-ФЗ (ред. от 08.12.2020 с изм. и доп., вступ. в силу с 01.01.2021) // Консультант Плюс. – Режим доступа: <http://base.consultant.ru> (дата обращения: 15.04.2024).

6. ГОСТ 12069-90. Меры длины штриховые брусковые. Технические условия – Государственный комитет СССР по управлению качеством продукции и стандартам, – М. Издательство стандартов 1992 – 15 с.

7. ГОСТ 7502 -98. Рулетки измерительные металлические. Технические условия – Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, Издательство стандартов 1998 – 11 с.

8. ГОСТ 427-75. Линейки измерительные металлические. Технические условия – Стандартиформ, – М.: Стандартиформ 2007 – 7 с.

9. Государственная поверочная схема для средств измерений длины в диапазоне от $1 \cdot 10^9$ до 100 м и длин волн в диапазоне от 0,2 до 50 мкм, утвержденная приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 29 декабря 2018 г. N 2840 – М.: Стандартиформ – 2018 – 17 с.

10. МИ 1987-89. Рекомендация. ГСИ. Меры длины штриховые. Общие требования к поверке. – Государственный комитет СССР по управлению качеством продукции и стандартам, – М.: Издательство стандартов, 1990 – 11 с.

11. ГОСТ 8.528-85. ГСИ. Меры длины штриховые образцовые 2-го разряда и рабочие класса точности 5. Методика поверки. – Государственный комитет СССР по стандартам, – М.: Издательство стандартов, 1986 – 12 с.

12. Таблицы физических величин. Справочник под редакцией академика И. К. Кикоина – М.: АТОМИЗДАТ, 1976 – 1009 с.

13. Температурный коэффициент линейного расширения стекла при различных температурах – <http://thermalinfo.ru/svoystva-materialov/keramika-i-steklo/temperaturnyj-koeffitsient-linejnogo-rasshireniya-stekla-pri-razlichnyh-temperaturah> (дата обращения: 15.04.2024).

14. Описание типа средства измерений. Меры длины штриховые [Электронный ресурс] – URL: [file:///C:/Users/lui/Downloads/76752-19%20\(2\).pdf](file:///C:/Users/lui/Downloads/76752-19%20(2).pdf) (дата обращения: 15.04.2024).