

ЗАКОНОДАТЕЛЬНАЯ И ПРИКЛАДНАЯ МЕТРОЛОГИЯ

№2 (176). 2022 г.
Per. № 1384 от 18.12.1999

УЧРЕДИТЕЛЬ ЖУРНАЛА
ФГБУ «Всероссийский
научно-исследовательский институт
метрологической службы»
(ФГБУ «ВНИИМС»)

ИЗДАТЕЛЬ
ФГБУ «ВНИИМС»

Редколлегия журнала
«Законодательная и прикладная
метрология»

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

Л. К. Исаев,
профессор, доктор технич. наук

ЗАМ. ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА

М.И. Калинин,
кандидат физ.-мат. наук

**ОТВЕТСТВЕННЫЙ
РЕДАКТОР**

Д. Ю. Рассамхин

**ТЕХНИЧЕСКИЙ
РЕДАКТОР**

Г.Б. Маравин,
кандидат химич. наук

РАСПРОСТРАНЕНИЕ

Л.А. Керсова

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

Л. К. Исаев,
председатель Совета.

Л. С. Бабаджанов, профессор, д. т. н.,

А. А. Данилов, профессор, д. т. н.

Н. А. Жагора, профессор, д. т. н.,
(Республика Беларусь)

Б. Н. Кодесс, профессор, д. физ.-мат. н.

А. Д. Козлов, профессор, д. т. н.

В. Г. Лысенко, профессор, д. т. н.

С. Г. Семенчинский, д. физ.-мат. н.

А. В. Яшин, д. т. н.

Адрес редакции: 119361, Москва, Г-361,
ул. Озерная, д. 46, ФГБУ «ВНИИМС»,
тел.: 8 (495) 437-33-55,
факс: 8 (495) 437-56-66,
E-mail: isaev-vm@vniims.ru

**Журнал входит в Перечень, рекомен-
дованный ВАК, и в Российский Индекс
Научного Цитирования (РИНЦ)
Научной Электронной Библиотеки (НЭБ)**

Подписано в печать 04.05.2022 г.
Формат 60×84/8, 6 уч.-изд., 6,5 п.л.
Отпечатано в типографии ИП «Бендик Д. Н.».
Подписной индекс журнала 47701

СЛОВО ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА

Метрология – часть нашей жизни..... 2
Л.К. Исаев

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ МЕТРОЛОГИИ

Прогнозирование потребностей в измерениях,
видение метрологии 2030-х учеными Великобритании..... 3

Measurement needs foresight: a vision of metrology in the 2030s by UK scientists

Ю.Л. Фролова, А.Ю. Кузин

Описание системы обеспечения единства измерений
с точки зрения разработки показателей, характеризующих ее состояние 8

*Description of the system the assurance of measurement uniformity
in terms of developing indicators characterizing its state*

Ю.Л. Фролова, И.В. Красавин

ГОСУДАРСТВЕННАЯ СЛУЖБА СТАНДАРТНЫХ СПРАВОЧНЫХ ДАННЫХ

Таблицы ССД о физических константах и свойствах веществ
и материалов, аттестованных в 2021 году..... 12

*Tables of Standard Reference Data related to physical constants
and properties of substances and materials, certified in 2021*

А.Д. Козлов, В.А. Колобаев, П.В. Попов

О необходимости создания Единого центра радиобиологических данных..... 16

The need to establish a unified Radiobiological Data Center

Л.Н. Комарова, К.В. Матвеев, К.Ю. Егоров

МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Метрологическое обеспечение динамических тонометров глазного давления..... 19

Metrological support of eye pressure dynamic tonometers

Э.Ю. Левина, Ф.Ю. Виноградов, В.С. Иванов, Г.Г. Левин

Исследование методов повышения точности измерений
геометрических параметров отклонения от круглости 26

*Investigation of methods for improving the measurement accuracy
of the geometric parameters of the deviation from roundness*

*В.Г. Лысенко, В.А. Костеев, Е.А. Милованова,
Н.А. Табачникова, Д.А. Новиков*

ПРАКТИКА И ПРОБЛЕМЫ

Актуальные вопросы подтверждения производства средств
измерительной техники на территории Российской Федерации 34

*Confirmation issues related to the production of measuring
equipment on the territory of the Russian Federation*

А.Ю. Кузин, В.Н. Яншин, И.С. Родионова

Когда $p \cdot V = T$ 38

When $p \cdot V = T$

В.Ф. Очков, К.А. Орлов

Поверка средств неразрушающего контроля 45

The verification of non-destructive measuring gauges

Л.С. Бабаджанов, М.Л. Бабаджанова, Т.А. Корюшкина

Аппроксимация характеристики аналогового измерительного
преобразователя температуры составной функцией 48

*Approximation of analog measuring temperature transducer
characteristic by a composite function*

С.Б. Орлов

ИНФОРМАЦИЯ

Бюллетень №2 МОЗМ (OIML bulletin, No. 2, April 2022) посвящен измерениям,
связанным с транспортом 25

Г.В. Битюкова (ФГБУ «ВНИИМС») (перевод и редактирование)

Итоги конференции метрология-2022 в Минске 52

Международная система единиц (SI), издание 9-е, 2019 г. (продолжение) 54

**ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ СЛУЖБЫ**



For metrological service
since 1900

Статьи прошли внешнее и внутреннее рецензирование

С условиями подписки можно ознакомиться на сайте www.vniims.ru

Мнение Редакции может не совпадать с мнением авторов

Редакция не несет ответственности за содержание рекламы

При использовании материалов ссылка на журнал

«Законодательная и прикладная метрология» обязательна



МЕТРОЛОГИЯ – ЧАСТЬ НАШЕЙ ЖИЗНИ

Приближается празднование Всемирного Дня Метрологии – 20 мая, учрежденного в октябре 1999 года на 88-м заседании

Международного Комитета мер и весов (МКМВ) по инициативе России. Это решение МКМВ тогда же было поддержано XXI Генеральной Конференцией по мерам и весам. С тех пор МКМВ совместно с Международным Комитетом законодательной метрологии ежегодно определяют темы на весь год, а плакаты готовят Региональные метрологические организации в порядке очередности.

Сегодня уже более 100 стран отмечают этот знаменательный день. В России по инициативе Госстандарта России начали отмечать Всемирный день метрологии с 2004 года. По предложению Минпромторга России Правительство Российской Федерации своим распоряжением от 5 апреля 2014 г. № 541-р установило ежегодное проведение Московского международного инновационного форума и выставки «Точные измерения – основа качества и безопасности», приуроченных к Всемирному дню метрологии – 20 мая, придав этому событию всероссийский масштаб. Минпромторгу России было поручено образование Оргкомитета и утверждение программы проведения форума и выставки. Одновременно было рекомендовано «федеральным органам исполнительной власти и подведомственным им организациям, органам исполнительной власти субъектов Российской Федерации, государственным корпорациям и предприятиям, а также общественным и профессиональным объединениям и представителям деловых кругов принимать участие в работе форума и выставки».

До весны 2020 года все мероприятия проходили в установленном порядке и даже удалось провести 3 съезда метрологов и приборостроителей в рамках форумов. Однако, ограничительные меры из-за пандемии не позволили метрологам провести празднование в традиционной форме ни в 2020, ни в 2021 году.

*«Наука начинается с тех пор,
как начинают измерять.
Точная наука немислима без меры.»*

Д. И. Менделеев

В этом году можно было бы основную работу провести через СМИ. А вообще, с учетом обстоятельств, придется менять организацию проведения форума и выставки. Опыт проведения масштабных мероприятий межправительственными метрологическими организациями по законодательной метрологии (МОЗМ) и органов Метрической Конвенции (Международного Комитета мер и весов, JCRV и Консультативных Комитетов) показал, что при соответствующей подготовке можно проводить заседания дистанционно, включая тайное голосование. Таким образом возможно организовать проведение и нашего Форума дистанционно.

Что касается выставки, то надо вспомнить опыт СССР, когда в 1933 году по указанию В. В. Куйбышева была организована Всесоюзная постоянная выставка контрольно-измерительных приборов, размещенная в Политехническом музее. В 1939 году выставка была передана в ведение Комитета по делам мер и измерительных приборов при Совнаркоме СССР, а средства на ее содержание были предусмотрены специальным постановлением СНК СССР в июле 1939 года. Основной фонд приборов на выставке непрерывно расширялся и к 1941 году достиг 1,5 млн рублей, а количество посетителей за год превысило 60 тыс. человек. В январе 1944 года Совнарком СССР обязал Комитет восстановить деятельность Выставки для показа научных достижений отечественной и зарубежной контрольно-измерительной техники, оказания помощи промышленности в освоении новых приборов и ознакомления с новинками контрольно-измерительной техники.

Созданный в 1954 году для Молдавской ССР на территории ВДНХ павильон № 10 (с 2011 года сданный в аренду Республике Молдова) был передан в 1963 году Госстандарту и стал павильоном «Стандарты СССР», который в 90-е годы утратил свое предназначение. Сегодня вместо ежегодно организуемых выставок можно было бы организовать постоянно действующую выставку, например, в павильоне № 10 ВДНХ. Как мы уже сообщали в предыдущем номере журнала темой этого года является «Метрология в эпоху цифровизации», поэтому можно было бы на базе цифровизации начать подготовку форума и новой выставки к следующему Всемирному дню метрологии. Вероятно, для этого необходимо подготовить новое распоряжение Правительства Российской Федерации.

**Главный редактор
проф., д. т. н. Л. К. Исаев**

**Ю. Л. Фролова,
А. Ю. Кузин**

Федеральное государственное
бюджетное учреждение
«Всероссийский Научно-
Исследовательский Институт
Метрологической Службы»
(ФГБУ «ВНИИМС»),

Россия, г. Москва
E-mail: kuzin@vniims.ru

УДК 006.91

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПОТРЕБНОСТЕЙ В ИЗМЕРЕНИЯХ, ВИДЕНИЕ МЕТРОЛОГИИ 2030-х УЧЕНЫМИ ВЕЛИКОБРИТАНИИ

**MEASUREMENT NEEDS FORECASTING: A VISION
OF METROLOGY IN THE 2030s BY UK SCIENTISTS**

С целью организации правильного развития системы обеспечения единства измерений и метрологической инфраструктуры необходимо прогнозировать потребности государства и общества в измерениях. Прогнозированию потребностей в измерениях уделяют большое внимание не только в Российской Федерации, но и во всем мире. В работе представлены результаты исследований британских ученых по вопросу влияния новых технологий и тенденций, которые могут оказать влияние на изменение измерений в будущем.

Ключевые слова: прогнозирование измерений, обеспечение единства измерений, видение 2030 годов.

In order to properly arrange the development of the system of assurance of measurement uniformity and the metrological infrastructure, it is necessary to have the perfect foresight of the needs of the state and society in measurements. The foresight of measurement needs is given great attention not only in the Russian Federation, but also around the world. The results of research by UK scientists on the impact of new technologies and trends that may change why and how we perform in measurements in the future are presented.

Keywords: measurement forecasting, assurance of measurement uniformity, a vision of the 2030s.

Обеспечение единства измерений – деятельность, направленная на установление и применение научных, правовых, организационных и технических основ, правил, норм и средств, необходимых для достижения состояния измерений, при котором их результаты выражены в узаконенных единицах величин или в значениях по установленным шкалам измерений, а показатели точности измерений не выходят за установленные границы.

Целями государственного регулирования обеспечения единства измерений в соответствии с Федеральным законом 102-ФЗ [1] являются:

- 1) установление правовых основ обеспечения единства измерений в Российской Федерации;
- 2) защита прав и законных интересов граждан, общества и государства от отрицательных последствий недостоверных результатов измерений;
- 3) обеспечение потребности граждан, общества и государства в получении объективных, достоверных и сопоставимых результатов измерений, используемых в целях защиты жизни и здоровья граждан, охраны окружающей среды, животного и растительного мира, обеспечения обороны и безопасности государства, в том числе экономической безопасности;

- 4) содействие развитию экономики Российской Федерации и научно-техническому прогрессу.

Задачи системы обеспечения единства измерений в соответствии с поставленными целями формулируются с учетом задач и приоритетов социально-экономического развития Российской Федерации, обеспечения ее обороноспособности и национальной безопасности, приведенных в документах стратегического планирования Российской Федерации.

Система обеспечения единства измерений аналогична другим элементам инфраструктуры экономики, таким как, например, транспорт, электроэнергетика, связь, которые необходимы для производства промышленной продукции, товарообмена, а также при реализации государственных функций, таких как налогообложение, оборона и безопасность.

Таким образом, система обеспечения единства измерений Российской Федерации, сложившаяся к настоящему времени, представляет собой структуру, органично дополняющую государственную инфраструктуру, реализующую конкретные цели и задачи, без которых производство материальных благ невозможно.



С целью организации правильного развития системы обеспечения единства измерений и метрологической инфраструктуры необходимо прогнозировать потребности государства и общества в измерениях. Мониторинг и анализ трендов развития приоритетных областей экономики обороны и безопасности государства должны формировать информацию об объектах и видах измерений, о требуемых точностных характеристиках.

В соответствии со Стратегией обеспечения единства измерений в Российской Федерации, утвержденной распоряжением Правительства Российской Федерации от 19 апреля 2017 г. № 737-р [2], и Планом мероприятий по реализации Стратегии обеспечения единства измерений в Российской Федерации до 2025 г., утвержденным распоряжением Правительства Российской Федерации от 9 ноября 2017 г. № 2478-р [3], создание механизма прогнозирования потребностей экономики и общества в измерениях является одной из первоочередных задач.

В целях обеспечения решения задач прогнозирования Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии во Всероссийском научно-исследовательском институте метрологической службы в 2019 году был создан специализированный центр мониторинга состояния системы обеспечения единства измерений, прогнозирования измерительных потребностей экономики, а также оценки влияния уровня развития метрологии на качество жизни и экономику страны в целом (далее – Центр мониторинга и прогнозирования).

Задачами Центра мониторинга и прогнозирования являются анализ текущего состояния обеспечения единства измерений, прогнозирования потребностей в измерениях, оценка влияния уровня развития метрологии на качество жизни и экономику страны в целом. В рамках решения указанных задач в 2019 году был разработан, согласован с Минэкономразвития России и представлен в Правительство Российской Федерации Прогноз потребностей экономики и общества в измерениях на период 2020–2025 годы [4].

Разработанный прогноз содержит:

- основные направления развития экономики и общества, требующие совершенствования измерительных технологий;
- прогнозную оценку востребованности измерений, классифицированных по видам измерений на 2020–2025 годы;
- прогнозные оценки потребностей на 2020–2025 годы в средствах измерений, стандартных образцах, эталонах единиц величин, включая государственные первичные эталоны, аттестованных методиках (методах) измерений, классифицированные по критическим технологиям и видам измерений.

Прогнозированию потребностей в измерениях уделяют большое внимание не только в Российской Федерации, но и во всем мире. В качестве примера иностранного опыта прогнозирования измерительных потребностей рассмотрим документ «Прогнозирование технологий

и измерений. Видение 2030-х годов, сформированное метрологией» [4], разработанный учеными и инженерами NPL – Национальной физической лаборатории Великобритании, являющейся Национальным метрологическим институтом (далее – NPL), совместно с NML – Национальной лабораторией измерений (с химическими и биологическими измерениями из LGC – Лаборатории правительственного химии), NEL – Национальной инженерной лабораторией Великобритании, NGML – Национальной лабораторией метрологии зубчатых зацеплений Великобритании, NIBSC – Национальным институтом биологических стандартов и контроля и OPSS – Управлением по безопасности продукции и стандартам Великобритании.

Запуск проекта прогнозирования в Соединенном Королевстве был осуществлен для исследования влияния новых технологий и тенденций, которые могут оказать влияние на изменение измерений в будущем. Прогнозирование осуществлялось путем сбора, обобщения и анализа информации о появляющихся тенденциях, полученной от отраслевых и технических экспертов. Были определены ключевые тенденции и технологические достижения, которые повлияют на измерения и общество во всем мире.

По результатам анализа полученной информации учеными Великобритании сделан вывод, что метрология в 2030-х годах будет иметь три ключевых приоритета. Во-первых, в целях обеспечения переопределения единиц величин международной системы единиц СИ, будет разработана глобальная измерительная инфраструктура, которая в полной мере будет использовать преимущества цифровой революции. Во-вторых, ввиду того, что глобальные проблемы становятся все более сложными и междисциплинарными, метрология должна улучшить системное понимание мира. И, наконец, увеличение доверия к принятию решений будет являться ключом к процветанию новых технологий, таких как машинное обучение и искусственный интеллект, для которых требуются точные и надежные измерения.

Целью работы [5] являлось изучение влияния новых технологий и тенденций на будущее измерений. Для этого были заданы два вопроса:

- Какие новые тенденции изменят то, почему мы проводим измерения?
- Какие новые технологии изменят то, как мы проводим измерения?

NPL провела всесторонний обзор информации, с целью определить основные тенденции в обществе и промышленности в будущем, проанализировать, какие технологии будут иметь приоритетное значение для их реализации, и изучить их влияние на метрологию – науку об измерениях.

В процессе прогнозирования технологий и измерений были выявлены три движущие силы изменений:

Благополучие. Здоровье, защита и безопасность постоянно растущего населения с меняющимися социальными взглядами и ценностями.

Предпринимательство. Цифровые инновации для повышения благосостояния, производительности и роста бизнеса, а также для обеспечения равенства и справедливости.

Экологичность. Снижение влияния человека на климат и управление природными ресурсами.

В представленной работе отмечается, что COVID-19 оказал глубокое и непосредственное влияние на общество и технологии. Изменения в обществе и технологиях по некоторым направлениям, выявленные в ходе работы по прогнозированию, значительно ускорились, а другие – замедлились. Данный факт подчеркнул, насколько важны качественные измерения для определения информационной политики и поддержки промышленности.

Специалисты NPL представили видение будущего метрологии для шести типовых отраслей: строительство, энергетика, производство продуктов питания, здравоохранение, обрабатывающая промышленность и транспорт. При этом выделены ключевые тенденции и технологические достижения, которые имеют важное значение для одной или нескольких отраслей, и исследованы потребности в измерениях, необходимых обществу для внедрения новых технологий.

В сфере строительства на первый план выдвигаются следующие технологические тенденции, связанные с метрологией:

- встроенные, соединенные в цифровом формате и защищенные датчики будут собирать информацию в реальном времени и позволят прогнозировать потребности в развитии инфраструктуры, ее применение и состояние;
- беспроводные технологии и квантовая криптография будут способствовать беспрепятственному и безопасному обмену данными, в том числе данными об измерениях, что на наш взгляд должно способствовать повышению достоверности измерений, а также повышению доверия к полученным результатам и принятым на их основе решениям.

В сфере энергетики в Прогнозе технологий и измерений выдвинуты на первый план следующие технологические тенденции, связанные с метрологией:

- вычислительно-интенсивное моделирование и симуляция всей энергосистемы, включая измерительную подсистему, выиграют от увеличения вычислительной мощности, необходимой для выполнения квантовых, нейроморфных и спиновых вычислений;
- беспроводные, с низким энергопотреблением устройства и датчики будут задействованы в биосистемах и электронике, получении энергии из окружающей среды, беспроводном электричестве и беспроводной зарядке на больших расстояниях.

Основываясь на видении будущего в производстве продуктов питания выявлены следующие тенденции, связанные с метрологией:

- мониторинг производства продуктов питания будет обеспечиваться за счет машинного обучения и логистики под управлением искусственного ин-

теллекта, систем гиперспектральной визуализации (позволяющих увидеть как область видимого света, так и длины волн, которые человеческий глаз не может воспринять, собирая гораздо более точную информацию о химическом составе, количестве влаги, выявлять немагнитные загрязнения, такие как пластмасса, бумага, картон, насекомых), мониторинга поголовья скота в реальном времени, а также квантового зондирования и измерения для нанесения на карту подземных объектов, включая различные типы почв и водные ресурсы;

- отслеживание ингредиентов и аллергенов от производства до точки продажи будет обеспечено за счет интеллектуальной упаковки и технологий интеллектуальной маркировки, а также обнаружения токсинов и аллергенов на основе плазмонов (квазичастиц для передачи информации в микроскопии);
- для определения индивидуальных потребностей в пище и питании будут полезны достижения в области генетического тестирования, а также понимание и моделирование биологических систем.

На основе видения здравоохранения на первый план выдвинуты следующие технологические тенденции, связанные с метрологией:

- непрерывному сбору данных для мониторинга состояния здоровья помогут достижения в области количественной оценки и обработки мультимодальных и многомасштабных данных, а также усовершенствование беспроводных и сенсорных технологий;
- подключенные к Интернету, автономные, самокалибрующиеся, носимые или имплантируемые биоэлектронные устройства потребуют прослеживаемых и инновационных методов измерений;
- количественная оценка и анализ сложных наборов данных позволят понять влияние на здоровье и болезни.

В промышленной сфере в Прогнозе технологий и измерений отмечены следующие тенденции, связанные с метрологией:

- непрерывное измерение по всей цепочке поставок и производства будет обеспечено за счет передовых технологий визуализации, датчиков и мониторинга;
- сертификаты цифровой калибровки будут храниться в глобальных распределенных реестрах и в сочетании с цифровыми и машиночитаемыми стандартами и правилами будут обеспечивать виртуальную верификацию и калибровку;

методы проверки цифровых продуктов станут возможными благодаря динамичной передаче неопределенности измерений по цепи моделей реализации (за счет сокращения цепочек прослеживаемости).

В сфере транспорта выявлены следующие технологические тенденции, связанные с метрологией:

- открытые, отслеживаемые и проверенные данные о воздействии на окружающую среду будут влиять на выбор клиента;
- усовершенствованные, надежные и связанные датчики позволят контролировать работу критиче-



ски важных для безопасности компонентов даже в экстремальных условиях;

- анализ сложных систем позволит создать действительно интеллектуальные транспортные системы и инфраструктуру.

Также в Прогнозе технологий и измерений отмечены следующие ключевые тенденции и технологии, которые повлияют на то, почему и как мы будем осуществлять измерения, и, следовательно, на будущее метрологии:

- передовые нано- и биотехнологии для медицинского применения и улучшения здоровья и физических способностей человека;
- гиперспектральные изображения для зондирования и автоматизации;
- новые и метаматериалы для обеспечения устойчивости и маломощной, маломощной электроники с низкими потерями;
- квантовая связь и криптография для беспрепятственного и безопасного обмена данными;
- квантовые, фотонные, нейроморфные (имитирующие деятельность мозга) и спиновые компьютеры для маломощных и высокопроизводительных вычислений;
- количественная оценка и обработка многомасштабных, мультимодальных данных для автоматизированного принятия решений на основе моделей;
- количественная биология для применения точной инженерной дисциплины в медицине и фармацевтических науках;
- беспроводное электричество, получение энергии из окружающей среды и микрогенерация для устройств с автономным питанием.

Роль метрологии состоит в том, чтобы гарантировать, что измерения являются пригодными и точными. Речь идет не только о рутинных измерениях, но и о инфраструктуре, которая гарантирует, что мы уверены в точности измерений или внедрении технологий.

Британские коллеги провели исследование влияния новых технологий и тенденций на будущее измерений и отразили в Прогнозе технологий и измерений три основных вывода:

Метрология будет поддерживать цифровизацию при помощи глобальной измерительной инфраструктуры:

- цепочки прослеживаемости будут сокращены, что снизит неопределенность;
- прослеживаемость к системе SI будет встроена непосредственно в измерительные приборы;
- калибровка датчиков и локальных эталонов на месте станет обычным делом.

Новые инструменты управления цифровыми знаниями и их распространения приблизят первичные эталоны к концу измерительной цепочки и уменьшат неопределенность измерений для конечных пользователей. Цифровые и машиночитаемые сертификаты калибровки, хранящиеся в глобальных распределенных регистрах, позволят проводить калибровку датчиков и локальных эталонов на месте, упрощая цепочки прослеживаемости.

Метрология улучшит понимание сложных систем:

- метрология будет поддерживать системное понимание мира;
- метрология поддержит растущее распространение непрямых, смешанных и доверительных измерений;
- метрология поможет объединить данные разного качества, происхождения и периодов времени.

Понимание сложных систем становится все более важным, поскольку мы пытаемся управлять и контролировать изменение климата, биологические процессы и нашу постоянно растущую, взаимосвязанную и взаимозависимую инфраструктуру. Чтобы разрабатывать и использовать большие, многомасштабные и многоуровневые модели сложных систем, нам потребуются структуры качества данных для объединения мультимодальных и многомасштабных данных. Используя «метрологическое мышление», можно анализировать сложные системы и определять неопределенности, даже если многие из задействованных измерений находятся вне системы СИ.

Метрология придаст уверенности в принятии решений:

- метрология будет поддерживать решения, принимаемые алгоритмами машинного обучения и интерпретируемые искусственным интеллектом;
- подвижное и чуткое регулирование позволит принимать автоматизированные решения даже в критических для безопасности ситуациях;
- ученые-метрологи несут ответственность за то, чтобы данные использовались добросовестно и беспристрастно.

Уверенность в принятии решений будет зависеть от динамики передачи неопределенности измерений через цифровые модели или алгоритмы, требующие больших компьютерных ресурсов. Использование преимуществ повышенной чувствительности измерений, беспрепятственного и безопасного обмена данными и повышенной вычислительной мощности необходимо сочетать с надежной метрологической инфраструктурой и ее правильным применением. Это приведет к более эффективному принятию решений и применению искусственного интеллекта и машинного обучения в новых областях, что ускорит процесс открытий.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Задача прогнозирования измерительных потребностей является актуальной и востребованной во всем мире. Увеличивающаяся автоматизация и цифровизация во всех сферах деятельности, развитие технологий и техники потребуют и будут способствовать появлению новых методов измерений. Как следствие, глобальная измерительная инфраструктура с использованием цифровых технологий должна стать ключевым приоритетом государства.

В прогнозе британских коллег дана качественная оценка влияния новых технологий на изменение измерительных возможностей, основанная на видении различных отраслей в будущем. При этом, в отличие от Прогноза потребностей экономики и общества

Российской Федерации в измерениях в прогнозе иностранных коллег отсутствуют какие-либо количественные показатели, характеризующие состояние системы обеспечения единства измерений в будущем.

Несмотря на это, результаты прогнозирования, полученные NPL, безусловно представляют интерес в части

видения тенденций развития всех сфер деятельности общества и государства, включая метрологическую инфраструктуру. В дальнейшем при прогнозировании потребностей в измерениях в Российской Федерации целесообразно учитывать приведенные в прогнозе NPL ключевые направления развития метрологии в мире.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Федеральный закон «Об обеспечении единства измерений» от 26.06.2008 №102-ФЗ*
2. *Стратегия обеспечения единства измерений в Российской Федерации до 2025 г. План мероприятий по реализации Стратегии обеспечения единства измерений в Российской Федерации до 2025 г. Прогноз*

Дата принятия: 29.03.2022

3. *Technology and Measurement Foresighting. A vision of the 2030s shaped by metrology, United Kingdom's National Metrology, November 2020.*

НОВОСТИ ВНИИМС

О НОВЫХ ИНИЦИАТИВАХ СОТРУДНИЧЕСТВА С РЕСПУБЛИКОЙ БЕЛАРУСЬ В ОБЛАСТИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЕДИНСТВА ИЗМЕРЕНИЙ



В Росстандарте состоялась встреча руководителя ведомства Антона Шалаева с Председателем Государственного комитета по стандартизации Республики Беларусь Валентином Татарициком.

Итоговым событием встречи стало подписание Меморандума о взаимопонимании между двумя государственными организациями в области обеспечения единства измерений.

Ключевыми направлениями сотрудничества станут координация позиций на площадках международных и региональных метрологических организаций, взаимодействие в рамках проектов Евро-азиатского сотрудничества государственных метрологических учреждений (КООМЕТ) по проведению межлабораторных сличительных испытаний, проведение совместных научно-исследовательских работ, реализация образовательных программ и обмен опытом на площадках специализированных семинаров и конференций.

В продолжение рабочего визита белорусская делегация и заместитель Руководителя Росстандарта Евгений Лазаренко посетили два государственных метрологических института – ФГУП «ВНИИОФИ» и ФГБУ «ВНИИМС».

Всероссийский научно-исследовательский институт метрологической службы Росстандарта продемонстрировал участникам делегации возможности своих лабораторий в области метрологического обеспечения измерений геометрических параметров и электрических измерений в промышленности. Большой интерес вызвала оснащенность и деятельность лаборатории биоинформационных технологий, на площадке которой осуществляются

разработка и испытания стандартных образцов для медицины, фармацевтической и пищевой промышленности.

«Взаимодействие Росстандарта и Госстандарта Республики Беларусь базируется на уже сложившихся научных и деловых связях. Все это позволит и в дальнейшем объединять наши усилия и осуществлять координацию работ по обеспечению единства измерений в процессе производства и торговли взаимопоставляемой продукции», – отметил заместитель Руководителя Росстандарта Евгений Лазаренко.

Также в начале апреля на площадке международной конференции «Метрология-2022» в Минске подписано соглашение о сотрудничестве Всероссийского научно-исследовательского института метрологической службы (ВНИИМС) и Белорусского государственного института метрологии (БелГИМ) в области обеспечения единства измерений, гармонизации национальных законодательств и разработки нормативно-технических документов.

**Ю. Л. Фролова,
И. В. Красавин**

Федеральное государственное
бюджетное учреждение
«Всероссийский Научно-
Исследовательский Институт
Метрологической Службы»
(ФГБУ «ВНИИМС»),
Россия, г. Москва
E-mail: y.frolova@vniims.ru

УДК 006.91

ОПИСАНИЕ СИСТЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЕДИНСТВА ИЗМЕРЕНИЙ С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ РАЗРАБОТКИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ, ХАРАКТЕРИЗУЮЩИХ ЕЕ СОСТОЯНИЕ

DESCRIPTION OF THE SYSTEM FOR ASSURANCE OF MEASUREMENT UNIFORMITY IN TERMS OF DEVELOPING INDICATORS CHARACTERIZING ITS STATE

Совокупность субъектов, норм, средств и видов деятельности, предназначенная для обеспечения единства измерений образует систему обеспечения единства измерений. Подходы к описанию системы обеспечения единства измерений, как и любой другой системы, определяются целями и задачами описания, а также точкой зрения, с которой осуществляется описание. В работе представлено описание системы обеспечения единства измерений в виде пирамиды, что позволит структурировать проблемные вопросы и задачи на каждом уровне и своевременно решать их. Основываясь на приведенном в статье описании системы обеспечения единства измерений, представлена структура показателей, характеризующих состояние системы обеспечения единства измерений и потребности общества и экономики в измерениях.

Ключевые слова: система обеспечения единства измерений, мониторинг состояния, система показателей.

A whole body of entities, set of norms, means and types of activities aimed at assurance of measurement uniformity contributes to the current system of assurance of measurement uniformity. Approaches to the description of the system of assurance of measurement uniformity, like the description of any other system, are identified by the goals and objectives of the description, as well as by the point of view it expresses. The system of assurance of measurement uniformity is described as a pyramid, which allows to highlight problematic issues and tasks at each level and solve them in a timely manner. Based on the proposed description of the system, the structure of indicators characterizing the state of the system of assurance of measurement uniformity and the needs of society and the economy in measurements, is presented.

Keywords: system of assurance of measurement uniformity, measurement tasks, a set of subsystems, system of indicators.

Обеспечение единства измерений подразумевает деятельность, направленную на установление и применение научных, правовых, организационных и технических основ, правил, норм и средств, необходимых для достижения состояния измерений, при котором их результаты выражены в узаконенных единицах величин или в значениях по установленным шкалам измерений, а показатели точности измерений не выходят за установленные границы. Совокупность субъектов, норм, средств и видов деятельности, предназначенная для обеспечения единства измерений образует систему обеспечения единства измерений [1].

Подходы к описанию системы обеспечения единства измерений, как и любой другой системы, определяются целями и задачами описания, а также точкой зрения, с которой осуществляется описание.

Целью работы, результаты которой приведены в данной статье, является описание системы обеспе-

чения единства измерений как объекта мониторинга ее состояния, формирование перечня показателей, позволяющих оценить текущее состояние системы и обеспечить формирование набора исходных данных для прогнозирования как состояния системы обеспечения единства измерений в целом, так и потребностей в измерениях.

В настоящее время принято рассматривать систему обеспечения единства измерений как совокупность трех подсистем: правовой, технической и организационной [1]. Правовая подсистема – комплекс взаимосвязанных законодательных и подзаконных актов, объединенных общей целевой направленностью и устанавливающих согласованные требования к объектам регулирования. Техническая подсистема представлена совокупностью:

- межгосударственных, государственных эталонов, эталонов единиц величин и шкал измерений;

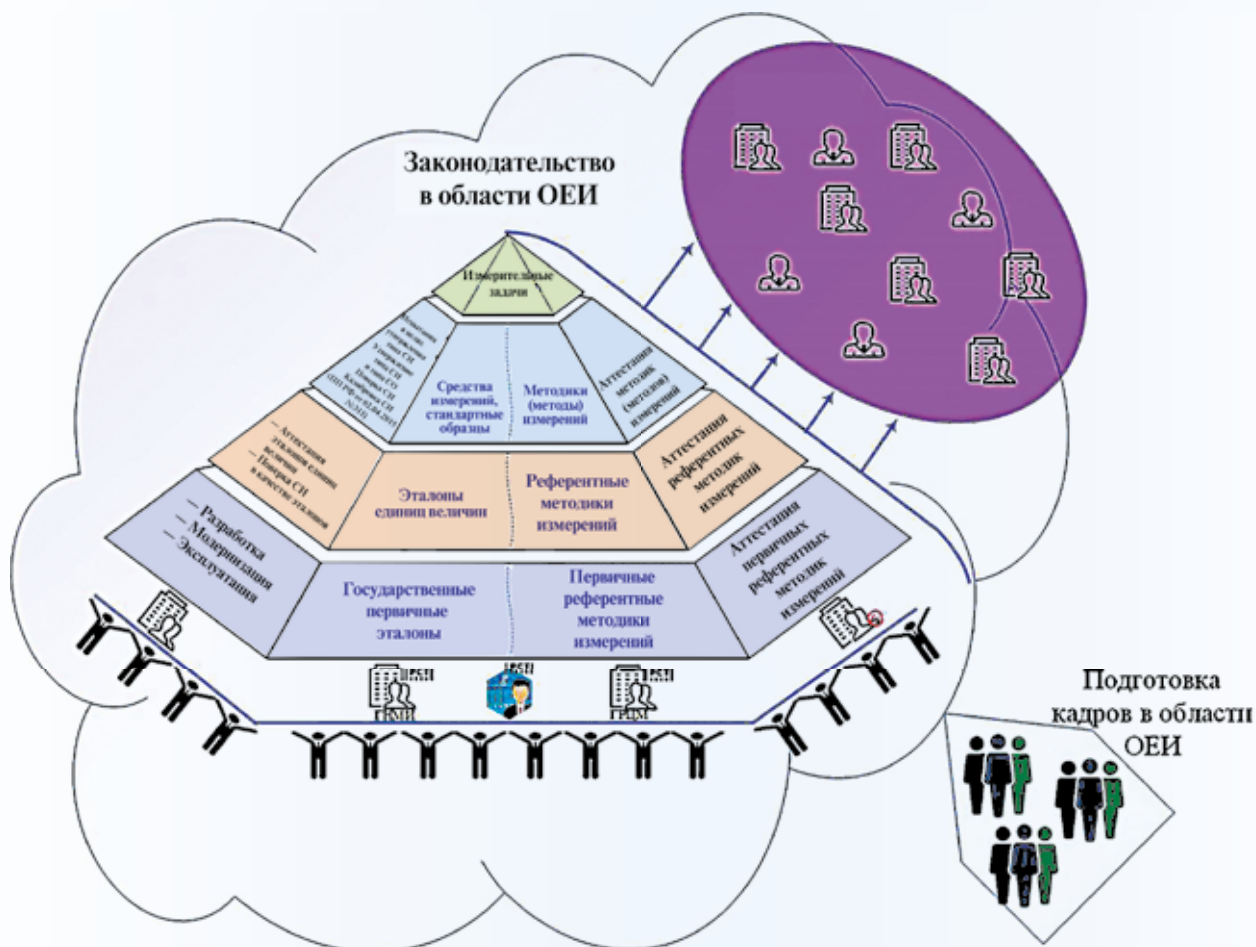


Рис. Система обеспечения единства измерений в Российской Федерации

- стандартных образцов состава и свойств веществ и материалов;
 - стандартных справочных данных о физических константах и свойствах веществ и материалов;
 - средств измерений и испытательного оборудования, необходимых для осуществления метрологического контроля и надзора;
 - специальных зданий и сооружений для проведения высокоточных измерений в метрологических целях;
 - научно-исследовательских, эталонных, испытательных, калибровочных и измерительных лабораторий. Организационная подсистема представлена:
 - федеральными органами исполнительной власти, осуществляющими функции по выработке государственной политики, нормативно-правовому регулированию в области обеспечения единства измерений и государственному метрологическому надзору;
 - государственными метрологическими научно-исследовательскими институтами, осуществляющими фундаментальные и прикладные научные исследования в области обеспечения единства измерений, разработку, совершенствование, содержание, сличение, и применение государственных первичных эталонов единиц величин;
 - государственными региональными центрами метрологии;
 - государственной службой времени и частоты;
 - государственной службой стандартных образцов;
 - государственной службой стандартных справочных данных;
 - метрологическими службами юридических лиц.
- Однако, если рассматривать каждую подсистему отдельно, невозможно оценить текущее состояние системы обеспечения единства измерений в целом, и, как следствие, управлять ей, ее развитием и прогнозировать ее состояние. Это значительно усложняет разработку стратегии развития и повышения эффективности системы обеспечения единства измерений, прогнозирование потребностей общества в измерениях. Таким образом, для обоснования перечня показателей, характеризующих состояние системы обеспечения единства измерений в целом и повышения объективности мониторинга ее состояния необходима, формализация описания системы обеспечения единства измерений.
- Для формализации описания систему обеспечения единства измерений предлагается рассматривать в виде многоуровневой пирамиды, погруженной в совокупность законодательных и иных нормативных правовых актов, нормативно – технических и методических документов, регламентирующих деятельность в области обеспечения единства измерений (Рис.).
- Каждый уровень пирамиды представляет собой некий набор инструментов, позволяющих решать, либо обеспечивать решение измерительных задач. На боковых

гранях пирамиды отражены метрологические услуги, направленные на обеспечение решения измерительных задач. Функционирование пирамиды обеспечивают государственные метрологические институты, государственные региональные центры метрологии и аккредитованные в области обеспечения единства измерений юридические лица и индивидуальные предприниматели, а также метрологические службы предприятий. Потребителями результатов деятельности системы обеспечения единства измерений является общество и экономика страны в целом.

На вершине пирамиды находятся измерительные задачи, решаемые каждый день в огромном объеме, наличие которых обуславливает необходимость существования системы обеспечения единства измерений. Сегодня никакая отрасль народного хозяйства не может правильно и продуктивно функционировать без повсеместного решения измерительных задач. Ведь именно с помощью решения измерительных задач происходит формирование и управление различными технологическими процессами, на стадиях разработки и производства продукции, а также контроль качества выпускаемой продукции. Измерения нужны для удовлетворения самых различных потребностей в процессе развития научно-технического прогресса, в том числе для:

- учета, планирования расхода и восполнения материальных ресурсов;
- нужд внутренней и внешней торговли;
- контроля и проверки качества выпускаемой продукции;
- повышения уровня защиты труда граждан и др.

Решение измерительных задач с требуемыми точностью и достоверностью может быть осуществлено с применением средств измерений, стандартных образцов и (или) методик (методов) измерений, совокупность которых располагается на нижестоящем уровне пирамиды. Подтверждение соответствия применяемых средств измерений, стандартных образцов, методик (методов) измерений обязательным метрологическим требованиям осуществляется за счет проведения испытаний в целях утверждения типов средств измерений и утверждения их типа, утверждения типов стандартных образцов, поверки/калибровки средств измерений, аттестации методик (методов) измерений аккредитованными юридическими лицами и индивидуальными предпринимателями на выполнение работ и (или) оказание услуг по обеспечению единства измерений.

Оказание услуг по поверке/калибровке средств измерений в соответствии с поверочными схемами требует применения эталонов единиц величин (средств измерений утвержденного типа, применяемых в качестве эталонов). На данном уровне пирамиды находится совокупность эталонов единиц величин и средств измерений утвержденного типа, применяемых в качестве эталонов, различного разряда. Помимо эталонов единиц величин на данном уровне располагаются и референтные методики измерений.

Возможность применения эталонов единиц величин и референтных методик требует предоставления услуг

по их аттестации, а также поверки средств измерений, применяемых в качестве эталонов.

Во главе каждой государственной поверочной схемы стоит государственный первичный (специальный) эталон, обеспечивающий хранение и передачу соответствующей единицы величины нижестоящим эталонам единиц величин. Значимость государственных первичных эталонов единиц величин обусловлена их ролью в обеспечении единства измерений, а также невозможностью в большинстве случаев их точного копирования, тиражирования и восстановления в случае утраты. Эта значимость возрастает по мере изучения свойств эталонов единиц величин в результате их постоянных метрологических исследований и международных сличений с национальными эталонами единиц величин иностранных государств. Данный уровень пирамиды включает в себя также первичные референтные методики измерений, позволяющие получать единицы величин без первичных эталонов. Первичная референтная методика (метод) измерений, находящаяся в федеральной собственности, является государственной первичной референтной методикой (методом) измерений. На данном уровне пирамиды находятся услуги и работы по обеспечению разработки, модернизации и эксплуатации государственных первичных эталонов, которые реализуют государственные научные метрологические институты, а также услуги по аттестации первичных референтных методик измерений.

Таким образом, формализация системы обеспечения единства измерений в виде пирамиды позволит структурировать проблемные вопросы и задачи на каждом уровне и своевременно решать их.

В настоящее время оценка состояния системы обеспечения единства измерений осуществляется на основе системы показателей, установленной Стратегией обеспечения единства измерений в Российской Федерации до 2025 года [2], включающей в себя показатели по трем группам:

- показатели, характеризующие степень удовлетворенности граждан, общества и государства состоянием обеспечения единства измерений;
- показатели, характеризующие уровень развития обеспечения единства измерений;
- показатели, характеризующие уровень импортозамещения в области обеспечения единства измерений
- показатели, характеризующие обеспечение единства измерений в области обороны и безопасности государства.

Вместе с тем одной из основных системных проблем обеспечения единства измерений в Российской Федерации в [2] определено отсутствие механизма прогнозирования потребностей общества в измерениях, что невозможно без мониторинга состояния системы обеспечения единства измерений с точки зрения измерительных задач.

Таким образом, приведенная выше система показателей не позволяет объективно оценить состояние системы обеспечения единства измерений в целом. Основываясь на приведенном в статье описании системы обеспечения единства измерений, возникает необхо-

димось пересмотра и структуризации показателей, характеризующих состояние системы обеспечения единства измерений и потребности общества и экономики в измерениях. Исходными данными должны стать потребности в решении измерительных задач, в том числе вновь появляющихся.

Исходя из понимания потребностей в решении измерительных задач, целесообразно оценивать показатели, характеризующие:

- необходимость разработки новых средств измерений, стандартных образцов и методик (методов) измерений;
- тенденции производства средств измерений и стандартных образцов;
- импортозамещения, и т. д.

Количество эталонов единиц величин, условно распадаемых на следующей ступени пирамиды, также изменяется в зависимости от потребностей общества и экономики страны. Как правило ввиду постоянного развития рабочих средств измерений наблюдается тенденция к увеличению их числа. На данном уровне должны быть получены показатели, характеризующие потребность в разработке новых эталонов единиц величин, а также обеспеченность эталонами единиц величин по территориальному принципу с учетом «закрытия» всех ступеней государственных поверочных схем.

Завершающий набор показателей должен характеризовать разработку, модернизацию и эксплуатацию государственных первичных эталонов единиц величин. Данный набор должен отражать потребности в разработке новых и модернизации имеющихся государственных первичных эталонов с учетом их востребованности и загруженности, в том числе и импортозамещения комплектующих [3].

Еще одним немаловажным показателем, характеризующим состояние системы обеспечения единства измерений является подготовка специалистов в данной области, участвующих в оказании услуги и выполнении работы на каждом уровне пирамиды.

Таким образом, предложенные описание системы обеспечения единства измерений и структура системы показателей, характеризующих ее состояние помогут сформировать перечень показателей, результаты оценки которых обеспечат возможность определения направлений развития системы обеспечения единства измерений, а также выработку мер по ее совершенствованию.

В тоже время актуальной задачей является оценка достаточности и доступности исходных данных для оценки значений предложенных показателей, характеризующих состояние системы обеспечения единства измерений, порядка их сбора, обобщения и систематизации.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 *ГОСТ Р 8.000-2015 «Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ). Основные положения».*
- 2 *Стратегия обеспечения единства измерений в Российской Федерации до 2025 г., утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 19 апреля 2017 г. № 737-р.*
- 3 *Фролова Ю. Л., Красавин И. В. К вопросу мониторинга состояния системы обеспечения единства измерений и прогнозирования измерительных потребностей экономики и общества,» Законодательная и прикладная метрология, № 5, 2021, сс. 48 – 53.*

Дата принятия: 12.04.2022

НОВОСТИ ВНИИМС

ИТОГИ ВСЕРОССИЙСКОЙ АКЦИИ «БУДЬ УВЕРЕН! БУДЬ ЗДОРОВ!» ПО ПОВЕРКЕ ТОНОМЕТРОВ У НАСЕЛЕНИЯ

Росстандарт подвел итоги Акции, приуроченной к Всемирному дню здоровья, которая прошла в период 6–8 апреля 2022 года во всех российских федеральных округах.

Центральный федеральный округ вышел на второе место по объему поверенных тонометров с общим количеством 6056 единиц, 9% из которых оказались неисправными. В число основных причин негодности прибора вошли превышение допустимой погрешности в измерениях и технические неисправности, такие как – не герметичность манжет, неполная индикация на экранах автоматических или полуавтоматических тонометров.

В столичном регионе организаторами Акции выступили ВНИИ метрологической службы Росстандарта и Департамент здравоохранения г. Москвы.



Проверка тонометров у населения проходила на базе московских городских поликлиник. Помимо проверки молодые врачи – представители молодежного совета при Департамента здравоохранения провели встречи с посетителями и рассказали о том, как правильно измерять артериальное давление и других основах здорового образа

жизни. В свою очередь, специалисты Росстандарта выдали заключения о работе приборов и дали рекомендации по устранению выявленных неисправностей.

Всего по России в дни проведения акции «Будь уверен! Будь здоров!» было поверено 33017 тонометров, 4098 из которых оказались не пригодными для эксплуатации.

<https://www.vniims.ru/press-center>

**А. Д. Козлов,
В. А. Колобаев,
П. В. Попов**

Федеральное государственное
бюджетное учреждение
«Всероссийский Научно-
Исследовательский Институт
Метрологической Службы»
(ФГБУ «ВНИИМС»),
Россия, г. Москва
E-mail: E-mail: kozlov@vniims.ru;
kolobaev@vniims.ru;
p.popov@vniims.ru

УДК 546.294; 536.76

ТАБЛИЦЫ ССД О ФИЗИЧЕСКИХ КОНСТАНТАХ И СВОЙСТВАХ ВЕЩЕСТВ И МАТЕРИАЛОВ, АТТЕСТОВАННЫХ В 2021 ГОДУ

TABLES OF STANDARD REFERENCE DATA RELATED TO PHYSICAL CONSTANTS AND PROPERTIES OF SUBSTANCES AND MATERIALS, CERTIFIED IN 2021

В 2021 году Главный научный метрологический центр «Стандартные справочные данные» (ГНМЦ «ССД») аттестовал 17 таблиц о физических константах и свойствах веществ и материалов в категории «Таблицы стандартных справочных данных (ССД)».

Ключевые слова: стандартные справочные данные, физические константы, свойства веществ и материалов, химические элементы и соединения, период полураспада, радионуклиды, изотопы, температурный коэффициент линейного расширения (ТКЛР).

The Main Scientific Metrological Center "Standard Reference Data" (GNMTs "SSD") offers 17 publications of Tables of Standard Reference Data (SSD) related to physical constants and properties of substances and materials certified in 2021.

Keywords: standard reference data, physical constants, properties of substances and materials, chemical elements and compounds, half-life, radionuclides, isotopes, temperature coefficient of linear thermal expansion (TCLE).

ГНМЦ «ССД» в соответствии с требованиями [1], [2] и [3] в 2021 году были аттестованы 17 Таблиц стандартных справочных данных (далее – таблицы ССД). Все таблицы ССД размещены в Федеральном информационном фонде по обеспечению единства измерений (www.fgis.gost.ru) для всеобщего использования.

Стандартные справочные данные – оцененные данные о физических константах и свойствах веществ и материалов, представленные в числовом, графическом, аналитическом виде или в компьютерных базах или файлах данных, разработанные для всеобщего и многократного использования, аттестованные Государственной службой стандартных справочных данных и утвержденные Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии [2].

Далее изложим таблицы по порядку.

1. ГСССД 377-2021. Радионуклиды ^{152}Eu , ^{154}Eu , ^{155}Eu , ^{153}Gd , $^{166\text{m}}\text{Ho}$, ^{166}Ho , ^{170}Tm , ^{169}Yb , ^{192}Ir , ^{198}Au , ^{203}Hg , ^{201}Tl , ^{208}Tl , ^{212}Pb , ^{214}Pb , ^{207}Bi , ^{212}Bi , ^{214}Bi , ^{220}Rn , ^{224}Ra , ^{226}Ra , ^{228}Th , $^{234\text{m}}\text{Pa}$, ^{241}Am , ^{243}Am . Энергия, абсолютная вероятность эмиссии гамма – и характеристического рентгеновского излучений и период полураспада. Актуализированные данные характеристик распада радионуклидов.

Таблицы ССД содержат оцененные значения энергии, абсолютной вероятности эмиссии гамма – и харак-

теристического рентгеновского излучений и периода полураспада радионуклидов ^{152}Eu , ^{154}Eu , ^{155}Eu , ^{153}Gd , $^{166\text{m}}\text{Ho}$, ^{166}Ho , ^{170}Tm , ^{169}Yb , ^{192}Ir , ^{198}Au , ^{203}Hg , ^{201}Tl , ^{208}Tl , ^{212}Pb , ^{214}Pb , ^{207}Bi , ^{212}Bi , ^{214}Bi , ^{220}Rn , ^{224}Ra , ^{226}Ra , ^{228}Th , $^{234\text{m}}\text{Pa}$, ^{241}Am , ^{243}Am . Такие радионуклиды содержатся в перечне МАГАТЭ, которые относятся к стандартам гамма- и характеристического рентгеновского излучений, и предназначены для калибровки спектрометрической и радиометрической аппаратуры. Эти радионуклиды также используются для различных целей в дозиметрии, медицине, радиозоологии и исследованиях по переработке радиоактивных отходов. Список указанных радионуклидов сформирован по результатам обсуждения с экспертами Комиссии по аттестации ССД в области использования атомной энергии. Учтена новая экспериментальная информация (по состоянию информации на 1 июня 2018 года).

Таблицы разработаны АО «Радиевый институт им. В. Г. Хлопина» (к. ф.-м. н. Н. К. Кузьменко).

2. ГСССД 378-2021. Циклогексан. Теплофизические свойства (плотность, теплоемкость, энтальпия, энтропия, скорость звука, коэффициенты теплопроводности и вязкости) в диапазоне температуры от тройной точки до 700 К при давлениях до 100 МПа. Таблицы ССД о термодинамических свойствах циклогексана рассчитаны по фундаментальному уравнению

состояния (ФУС), описывающему свободную энергию Гельмгольца $a(\rho, T)$ в зависимости от температуры T и плотности ρ . Безразмерная свободная энергия Гельмгольца $\alpha(\delta, \tau)$ представлена в настоящих таблицах в виде суммы идеально-газовой части $\alpha^0(\delta, \tau)$ и избыточной части $\alpha^f(\delta, \tau)$.

При разработке ФУС использовались разнородные экспериментальные данные о термодинамических свойствах циклогексана – p, v, T -данные, упругость насыщенных паров p_v , плотность насыщенной жидкой ρ_l и газовой фазы ρ_v , теплоемкость насыщенной конденсированной фазы c_s и изобарная c_p и изохорная c_v теплоемкости, энтальпия h , скорость распространения звука w .

Таблицы разработаны ООО «ГАЗПРОМ ВНИИГАЗ» (д.т.н. Б. А. Григорьев) и ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет» (д.т.н. А. А. Герасимов, к. т. н. И. С. Александров).

3. ГСССД 379-2021. Метилциклогексан. Теплофизические свойства (плотность, теплоемкость, энтальпия, энтропия, скорость звука, коэффициент теплопроводности) в диапазоне температуры от тройной точки до 700 К при давлениях до 100 МПа.

Таблицы ССД о термодинамических свойствах циклогексана рассчитаны по фундаментальному уравнению состояния (ФУС), описывающему свободную энергию Гельмгольца $a(\rho, T)$ в зависимости от температуры T и плотности ρ . Безразмерная свободная энергия Гельмгольца $\alpha(\delta, \tau)$ представлена в настоящих таблицах в виде суммы идеально-газовой части $\alpha^0(\delta, \tau)$ и избыточной части $\alpha^f(\delta, \tau)$. При разработке ФУС использовались разнородные экспериментальные данные о термодинамических свойствах метилциклогексана – p, v, T -данные, упругость насыщенных паров p_v , плотность насыщенной жидкой ρ_l и газовой фазы ρ_v , теплоемкость насыщенной конденсированной фазы c_s и изобарная c_p теплоемкости, энтальпия h , скорость распространения звука w .

Таблицы разработаны ООО «ГАЗПРОМ ВНИИГАЗ» (д.т.н. Б. А. Григорьев) и ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет» (д.т.н. А. А. Герасимов, к. т. н. И. С. Александров).

4. ГСССД 381-2021. Теллурид лантана (La_3Te_4). Теплопроводность, электропроводность и термоэдс в диапазоне температур от 80 К до 800 К.

Приведены таблицы ССД о величине и температурной зависимости коэффициентов теплопроводности, электропроводности и термоэдс высокотемпературного термоэлектрического материала La_3Te_4 в диапазоне температур от 80 К до 800 К. Измерения выполнены на двух экспериментальных установках (низкотемпературной для интервала температур от 80 К до 450 К и высокотемпературной для интервала от 300 К до 800 К), позволяющих одновременно определять эти коэффициенты на одном образце. Относительная погрешность измерения термоэдс составляет 1.1%, а электропроводности – 1.6%. Одной из областей использования термоэлектрического материала La_3Te_4 является радиоизотопные термоэлектрические генераторы (РИТЭГ), в которых тепловая энергия, выделя-

ющаяся при естественном распаде радиоактивных изотопов (плутоний 238, стронций 90), преобразуется в электроэнергию. РИТЭГи являются основными источниками питания на космических аппаратах, сильно удаляющихся от Солнца, где использование солнечных батарей неэффективно или невозможно.

Таблицы разработаны ФГБУН Институтом физики Дагестанского федерального исследовательского центра РАН (ФГБУН ИФ ДФИЦ РАН) (к. ф.-м. н. С. М. Лугуев, к. ф.-м. н. Н. В. Лугуева).

5. ГСССД 383-2021. Диэлектрические и пьезоэлектрические свойства мультиферроика феррониобата свинца при температурах от 10 К до 500 К.

В таблицах ССД представлены данные о диэлектрических характеристиках (величины диэлектрических проницаемостей и тангенса угла диэлектрических потерь) и теплофизических свойствах (значения удельной теплоемкости) керамик высокотемпературных мультиферроиков на основе феррита висмута $\text{Bi}_{0.95}\text{Nd}_{0.05}\text{FeO}_3$, $\text{Bi}_{0.90}\text{Nd}_{0.10}\text{FeO}_3$, $\text{Bi}_{0.85}\text{Nd}_{0.15}\text{FeO}_3$ и $\text{Bi}_{0.80}\text{Nd}_{0.20}\text{FeO}_3$ в диапазоне температур от 273 К до 800 К. Такие материалы обладают высокими температурами сегнетоэлектрического и магнитного фазовых переходов, низкими значениями относительной диэлектрической проницаемости, умеренными значениями тангенса угла диэлектрических потерь и удельной теплоемкости; являются беспримесными, что позволяет их эффективно использовать при изготовлении полифункциональных структур на основе мультиферроиков в виде керамики, а также в качестве мишеней для синтеза тонкопленочных структур различного назначения.

Таблицы разработаны Научно-исследовательским институтом физики Южного федерального университета («НИИ физики ЮФУ») д. ф.-м. н. Л. А. Резниченко, д. ф.-м. н. И. А. Вербенко, к. ф.-м. н. А. А. Павленко, д. ф.-м. н. А. В. Павленко.

6. ГСССД 384-2021. Диэлектрические и теплофизические свойства высокотемпературных мультиферроиков на основе феррита висмута при температурах от 273 К до 800 К.

В таблицах ССД представлены данные о диэлектрических характеристиках (величины диэлектрических проницаемостей и тангенса угла диэлектрических потерь) и теплофизических свойствах (значения удельной теплоемкости) керамик высокотемпературных мультиферроиков на основе феррита висмута $\text{Bi}_{0.95}\text{Nd}_{0.05}\text{FeO}_3$, $\text{Bi}_{0.90}\text{Nd}_{0.10}\text{FeO}_3$, $\text{Bi}_{0.85}\text{Nd}_{0.15}\text{FeO}_3$ и $\text{Bi}_{0.80}\text{Nd}_{0.20}\text{FeO}_3$ в диапазоне температур от 273 К до 800 К. Такие материалы обладают высокими температурами сегнетоэлектрического и магнитного фазовых переходов, низкими значениями относительной диэлектрической проницаемости, умеренными значениями тангенса угла диэлектрических потерь и удельной теплоемкости; являются беспримесными, что позволяет их эффективно использовать при изготовлении полифункциональных структур на основе мультиферроиков в виде керамики, а также в качестве мишеней для синтеза тонкопленочных структур различного назначения.

Таблицы разработаны Научно-исследовательским институтом физики Южного федерального университета («НИИ физики ЮФУ») д. ф.-м. н. Л. А. Резниченко, д. ф.-м. н. И. А. Вербенко,

д. ф.-м. н. А. В. Павленко, к. ф.-м. н. С. В. Хасбулатов, к. ф.-м. н. З. М. Омаров, Е. В. Глазунова.

7. ГСССД 385-2021. Теплопроводность оптических материалов на основе сульфида цинка в диапазоне температур от 4 К до 100 К.

Приведены таблицы ССД о величине и температурной зависимости коэффициента теплопроводности оптических материалов на основе сульфида цинка (КО-2, ПО-2, монокристалла) в диапазоне температур от 4 К до 100 К. Измерения теплопроводности материалов выполнены абсолютным стационарным методом, основанном на создании линейного теплового потока через исследуемый образец. Погрешность результатов измерений на экспериментальной установке составляет (5–8) %. Сульфид цинка ZnS, благодаря оптимальному сочетанию оптических, тепловых и механических свойств, является одним из наиболее используемых материалов для оптических приборов и устройств, работающих в широком оптическом диапазоне, включающем длинноволновую инфракрасную (ИК) область. Материалы для инфракрасных оптических систем наряду с широкой полосой пропускания излучения должны иметь высокую однородность и прозрачность; химическую стойкость к внешним воздействиям; механическую прочность. Сульфид цинка удовлетворяет этим требованиям как в видимой, так и в ИК областях оптического спектра.

Таблицы разработаны ФГБУН Институтом физики Дагестанского федерального исследовательского центра РАН (ФГБУН ИФ ДФИЦ РАН) (к. ф.-м. н. С. М. Лугуев, к. ф.-м. н. Н. В. Лугуева).

8. ГСССД 386-2021. Твердые растворы 94%Ti6%Al, 89%Ti11%Al и интерметаллид $Ti_{67}Al_{33}$. Температурный коэффициент линейного расширения и удельное электрическое сопротивление в диапазоне температур от 300 К до 1000 К.

Приведены таблицы ССД о температурном коэффициенте линейного расширения (ТКЛР) твердых растворов 94%Ti6%Al, 89%Ti11%Al и интерметаллида $Ti_{67}Al_{33}$ в диапазоне температур от 300 К до 1000 К, полученные на кварцевом dilatометре, реализующем измерения ТКЛР, и данные об удельном электрическом сопротивлении, определяемые четырехзондовым методом на постоянном токе. Суммарная расширенная неопределенность данных о ТКЛР не превышает 8%. Суммарная расширенная неопределенность данных об удельном электрическом сопротивлении составляет 1,2%.

ССД о температурном коэффициенте линейного расширения и удельного электрического сопротивления могут быть использованы производителями инновационной и высокотехнологичной продукции, в том числе наносистем, в областях металлургии, электроники, энергетики, ракетной и космической техники

Таблицы разработаны ФГБОУ «Дагестанский государственный университет» (д. ф.-м. н. Д. К. Палчаев, к. ф.-м. н. М. Э. Исхаков, д. ф.-м. н. Ж. Х. Мурлиева, С. Х. Гаджимагомедов).

9. ГСССД 386-2021. Длины волн пиков поглощения оптического излучения в газах в спектральном диапазоне от 1260 до 1650 нм.

Приведены таблицы ССД о длинах волн пиков поглощения оптического излучения в газах в спектральном диапазоне от 1260 нм до 1650 нм. Измерения длин волн пиков поглощения оптического излучения в газах проведены с помощью методики калибровки МК 001. ФЗ-19, утвержденной ФГУП «ВНИИОФИ», с применением эталонного измерителя длины волны из состава Государственного первичного специального эталона единиц длины и времени распространения сигнала в световоде, средней мощности, ослабления и длины волны для волоконно-оптических систем передачи информации ГЭТ 170-2011 и эталонного измерителя мощности оптического излучения из состава Государственного рабочего эталона единицы средней мощности оптического излучения в волоконно-оптических системах передачи в диапазоне от 10^{-11} до 10^{-2} Вт на длинах волн от 500 до 1700 нм 3.1. ZZA. 0029.2015.

Таблицы разработаны ФГУП «ВНИИОФИ» (А. О. Погonyшев, к. т. н. А. К. Митюрёв, к. т. н. К. Б. Савкин).

10. ГСССД 388-2021. Горные породы. Теплопроводность в условиях насыщения флюидами (газ, вода, углеводороды) при давлениях до 400 МПа в диапазоне температур от 273 К до 523 К.

Приведены таблицы ССД о теплопроводности 16 образцов горных пород различных месторождений: Россия (Дагестан), Азербайджан, Германия от поверхностных отложений до глубины залегания 10000 м при температурах (273–523) К и давлениях (0,1–400) МПа. Измерения выполнены абсолютным стационарным методом плоских пластин. Значения теплопроводности определены в газонасыщенном (аргон), водонасыщенном и углеводородонасыщенном состоянии образцов. Стандартная относительная погрешность определения теплопроводности не превышает 4%.

Таблицы разработаны Институтом проблем геотермии и возобновляемой энергетики (филиал ОИВТ РАН), ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет» и ООО «Газпром ВНИИГАЗ» (д. т. н. С. Н. Эмиров, к. т. н. А. Э. Рамазанова, М. А. д. т. н. Кузнецов, д. т. н. Е. Б. Григорьев).

11. ГСССД 389-2021. Масс-спектры наркотических средств и психотропных веществ. Морфин, кодеин, 6-ацетилморфин, амфетамин, 3,4-метилendioксиметамфетамин, кокаин, фентанил.

Таблицы ССД содержат масс-спектры наркотических средств и психотропных веществ: морфина, кодеина, 6-ацетилморфина, амфетамина, 3,4-метилendioксиметамфетамин, кокаина, фентанила, полученные на газовых хромато-масс-спектрометрах (ГХ/МС) фирмы Agilent. Полученные масс-спектры индивидуальных веществ позволят идентифицировать наркотические средства и психотропные соединения в биологических объектах при проведении химико-токсикологических анализов.

Таблицы разработаны ФГБУ «ВНИИМС» (С. В. Вихрова, к. х. н. О. Л. Рутенберг) и ГБУЗ «МНПЦ наркологии ДЗМ» (к. ф. н. А. В. Смирнов, О. Б. Дорогокупец, к. ф. н. А. Е. Петухов, Е. П. Панкратенко).

12. ГСССД 390-2021. Масс-спектры психоактивных лекарственных веществ. Тропикамид, баклофен,

габепентин, прегабалин, карбамазепин, клонидин (клофелин), клозапин, N-дезметилклозапин, доксиламин, галоперидол, амитриптилин.

Таблицы ССД содержат масс-спектры психоактивных лекарственных веществ: тропикамида, баклофена, габепентина, прегабалина, карбамазепина, клонидина (клофелина), клозапина, N-дезметилклозапина, доксиламина, галоперидола, амитриптилина, полученные на газовых хромато-масс-спектрометрах (ГХ/МС) фирмы Agilent.

Полученные масс-спектры индивидуальных веществ позволят идентифицировать психоактивные лекарственные вещества в биологических объектах при проведении химико-токсикологических анализов.

Таблицы разработаны ФГБУ «ВНИИМС» (С. В. Вихрова, к. х. н. О. Л. Рутенберг) и ГБУЗ «МНПЦ наркологии ДЗМ» (к. ф. н. А. В. Смирнов, О. Б. Дорогокупец, к. ф. н. А. Е. Петухов, Е. П. Панкратенко).

13. ГСССД 391-2021. Параводород жидкий и газообразный.

Плотность, энтальпия, энтропия, изохорная, изобарная теплоемкости и скорость звука при температурах от 14 К до 1000 К и давлениях до 100 МПа.

Настоящие таблицы ССД содержат расчетные значения плотности, энтальпии, энтропии, изобарной, изохорной теплоемкостей и скорости звука для параводорода (pH_2) как в однофазных областях (газ, жидкость и флюид), так и на линии фазового перехода газ-жидкость (линии насыщения), в последнем случае приводятся также значения давления насыщения.

Таблицы разработаны ФГБУ «ВНИИМС» (дт. н. А. Д. Козлов, В. А. Колобаев, М. Д. Роговин, С. И. Рыбаков).

14. ГСССД 392-2021. Ортоводород жидкий и газообразный.

Плотность, энтальпия, энтропия, изохорная, изобарная теплоемкости и скорость звука при температурах от 15 К до 1000 К и давлениях до 100 МПа.

Настоящие таблицы ССД содержат значения плотности ρ , энтальпии h , энтропии s , изобарной теплоемкости c_p , изохорной теплоемкости c_v и скорости звука w для ортоводорода ($o-H_2$) как в однофазных областях (газ, жидкость и флюид), так и на линии фазового перехода газ-жидкость (линии насыщения), а также значения давления насыщения p_s .

Стандартные справочные значения ρ , h , s , c_p , c_v , w и p_s рассчитаны по единому для жидкой и газовой фаз фундаментальному уравнению состояния (ФУС) – зависимости свободной энергии (функции Гельмгольца) F от плотности ρ и температуры T .

Таблицы разработаны ФГБУ «ВНИИМС» (дт. н. А. Д. Козлов, В. А. Колобаев, М. Д. Роговин, С. И. Рыбаков).

15. ГСССД 393-2021. Толуол жидкий и газообразный.

Плотность, энтальпия, энтропия, изохорная и изо-

барная теплоемкости и скорость звука при температурах от 180 К до 700 К и давлениях до 100 МПа.

Настоящие таблицы ССД содержат расчетные значения плотности, энтальпии, энтропии, изобарной и изохорной теплоемкостей и скорости звука для толуола (C_7H_8) как в однофазных областях (газ, жидкость и флюид), так и на линии фазового перехода газ-жидкость (линии насыщения), в последнем случае приводятся также значения давления насыщения.

Стандартные справочные значения ρ , h , s , c_p , c_v , w и p_s рассчитаны по единому для жидкой и газовой фаз фундаментальному уравнению состояния (ФУС) – зависимости свободной энергии (функции Гельмгольца) F от плотности ρ и температуры T .

Таблицы разработаны ФГБУ «ВНИИМС» (дт. н. А. Д. Козлов, В. А. Колобаев, М. Д. Роговин, С. И. Рыбаков).

16. ГСССД 394-2021. Моноксид углерода жидкий и газообразный. Плотность, энтальпия, энтропия, изохорная и изобарная теплоемкости при температурах от 70 К до 500 К и давлениях до 100 МПа.

Настоящие таблицы ССД содержат расчетные значения плотности, энтальпии, энтропии, изобарной и изохорной теплоемкостей для монооксида углерода (СО) как в однофазных областях (газ, жидкость и флюид), так и на линии фазового перехода газ-жидкость (линии насыщения), в последнем случае приводятся также значения давления насыщения

Стандартные справочные значения ρ , h , s , c_p , c_v , w и p_s рассчитаны по единому для жидкой и газовой фаз фундаментальному уравнению состояния (ФУС) – зависимости свободной энергии (функции Гельмгольца) F от плотности ρ и температуры T .

Таблицы разработаны ФГБУ «ВНИИМС» (дт. н. А. Д. Козлов, В. А. Колобаев, М. Д. Роговин, С. И. Рыбаков).

17. ГСССД 395-2021. Ксенон жидкий и газообразный.

Плотность, энтальпия, энтропия, изохорная, изобарная теплоемкости и скорость звука при температурах от 162 К до 750 К и давлениях до 100 МПа.

Настоящие таблицы ССД содержат расчетные значения плотности, энтальпии, энтропии, изобарной и изохорной теплоемкостей для монооксида углерода (СО) как в однофазных областях (газ, жидкость и флюид), так и на линии фазового перехода газ-жидкость (линии насыщения), в последнем случае приводятся также значения давления насыщения.

Стандартные справочные значения ρ , h , s , c_p , c_v , w и p_s рассчитаны по единому для жидкой и газовой фаз фундаментальному уравнению состояния (ФУС) – зависимости свободной энергии (функции Гельмгольца) F от плотности ρ и температуры T .

Таблицы разработаны ФГБУ «ВНИИМС» (дт. н. А. Д. Козлов, В. А. Колобаев, М. Д. Роговин, С. И. Рыбаков).

ЛИТЕРАТУРА

1. Федеральный закон «Об обеспечении единства измерений» от 26 июня 2008 г. № 102-ФЗ.
2. ГОСТ Р 8.614-2018 ГСИ «Государственная служба стандартных справочных данных Основные положения».
3. МИ 3600-2018 ГСИ «Рекомендации по метрологии. Разработка и аттестация «таблиц стандартных справочных данных» и «таблиц рекомендуемых справочных данных».

Дата принятия 28.03.202

Л. Н. Комарова¹⁾,
К. В. Матвеев²⁾,
К. Ю. Егоров²⁾

- 1) Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» (НИЯУ МИФИ)
- 2) Федеральное государственное бюджетное учреждение «Всероссийский Научно-Исследовательский Институт Метрологической Службы» (ФГБУ «ВНИИМС»),
Россия, г. Москва
E-mail: matveev@vniims.ru

УДК 006.91

О НЕОБХОДИМОСТИ СОЗДАНИЯ ЕДИНОГО ЦЕНТРА РАДИОБИОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ

THE NEED TO ESTABLISH A UNIFIED RADIOBIOLOGICAL DATA CENTER

В статье проанализирована роль влияния ионизирующего излучения на биологические объекты и окружающую среду. Изложены проблемы и перспективные направления ее развития для радиационной биологии. Описана необходимость создания единого Центра радиобиологических данных.

Ключевые слова: законодательная метрология, сфера здравоохранения, сфера охраны труда, ионизирующее излучение, нормы радиационной безопасности, радиационная эпидемиология, радиобиология, радиэкологические данные, радиобиологические данные, Центр радиобиологических данных, Госкорпорация «Росатом», МАГАТЭ.

The effect of ionizing radiation on biological objects and the environment is analyzed. The problems and perspective directions of its development for radiation biology are outlined. The need to establish a unified Radiobiological Data Center is described.

Keywords: legal metrology, health care, occupational safety, ionizing radiation, radiation safety standards, radiation epidemiology, radiobiology, radioecological data, radiobiological data, Radiobiological Data Center, Rosatom State Corporation, IAEA.

Одной из важнейших проблем на планете, связанных с качеством нашей жизни, является обеспечение безопасности жизни (биологической, излучений, безопасность радиационная и проч.). В законодательной метрологии обеспечение безопасности связано с социально-значимыми измерениями в области охраны окружающей среды, в сфере здравоохранения и охраны труда. В последнее время наибольшую тревогу у человечества вызывают возможные опасности, связанные с действием ионизирующего излучения (далее – ИИ) на биологические объекты, а в частности, с влиянием на организм человека и его здоровье.

С самого начала становления атомной промышленности в нашей стране одним из основных направлений является научное обеспечение радиационной безопасности и защиты населения, проживающего в районах расположения предприятий, как в условиях нормальной их деятельности, так и в аварийных ситуациях, а также разработка необходимых санитарных норм, правил, методических и других нормативных документов в соответствующей области санитарного законодательства. Принято считать, что при расчете радиационных рисков основную фактическую базу предоставляет радиационная эпидемиология. К настоящему време-

ни в нашей стране и в мире собран большой массив радиозэпидемиологических данных. Так первые базы данных появились в 50-60-х годах прошлого века, после первых бомбардировок в Хиросиме и Нагасаки, далее базы пополнялись и в связи с масштабным изучением влияния ИИ на живые объекты, а также в связи с ростом числа инцидентов и аварий на разных атомных объектах. Последнее пополнение таких данных, об изменении морской фауны и флоры появилось после аварии на Фукусиме-1 [1–3]. Систематизация этих данных позволило ввести существующие Нормы радиационной безопасности для персонала и населения. Но в настоящее время пришло время смены существующих нормативов, особенно в группе «население», это связано с увеличением техногенно загрязненных территорий (и количества проживающего там населения), а также с ростом технологий как ядерного, так и неядерного применения искусственного интеллекта, в частности в медицине, как для диагностики, так и для лечения. В связи с чем резко возросла дозовая нагрузка на население и появилась необходимость в проведении точной биологической дозиметрии. Применение радиобиологических подходов для биологической дозиметрии известно достаточно давно [2]. Реконструкция

полученной дозы по частоте хромосомных aberrаций является, порой, единственно возможным способом оценки уровня экспозиции в прошлом, как это было с пострадавшими при аварии на ЧАЭС раннего периода [3, 4]. Кроме того, появились специфические маркеры, позволяющие точно установить дозовую нагрузку. Поэтому систематизация всех имеющихся данных по эффектам действия ИИ на живые объекты с целью нормирования является очень актуальной проблемой. И здесь речь идет не только о нормировании для человека, но и для мониторинга территорий и акваторий, которые могут подвергаться действию ионизирующего излучения.

В настоящее время существует необходимость консолидации подходов и разработки унифицированных стандартов сбора и анализа радиоэкологических данных. Для прогнозирования изменений радиационной обстановки необходимо проводить специфическое моделирование распространения загрязнителей радиационной и химической природы в окружающей среде с учетом геохимических, гидрологических, климатических и других особенностей районов расположения объектов наследия. Для этих целей необходим большой объем достоверной и стандартизированной информации. Опыт взаимодействия и кооперации с различными организациями в этом вопросе позволяет отметить следующее. Информационные потоки сбора радиоэкологической информации разобщены, данные аккумулируются в разных ведомствах в соответствии со спецификой их деятельности. В связи с этим, основным путем решения данной проблемы является разработка единых стандартов сбора и анализа радиоэкологической информации и формирование унифицированных аналитических информационных систем для обеспечения информационной поддержки принятия решений на различных этапах реабилитации исследуемых объектов.

Для решения данных задач необходимо создать единый Центр радиобиологических данных, в котором последовательно будет накапливаться база данных о состоянии окружающей среды на территориях, прилегающих к объектам ядерного и уранового наследия, о состоянии здоровья проживающего населения с учетом влияния радиационных, химических и других факторов, в том числе природных источников излучения. Собранные и обобщенные в Центре базы данных позволят осуществлять прогнозирование радиационно-гигиенической обстановки на радиационноопасных объектах. На этой основе Центр радиобиологических данных обеспечит представление адекватных сведений о радиационно-гигиеническом состоянии объектов для принятия управленческих решений, как при их проектировании, так и при проведении реабилитации в ходе эксплуатации. В настоящее время в Госкорпорации «Росатом» создается отраслевая система экологического мониторинга, включающая в себя радиационный и объектный мониторинг, в связи с чем Центр радиобиологических данных может стать основным звеном в отраслевой системе экологического мониторинга Госкорпорации «Росатом».

Опыт регулирования мероприятий защиты населения и окружающей среды, накопленный на площадках наследия, нашел свое отражение в новом техническом документе МАГАТЭ [5], который включает в себя результаты первых пяти лет работы Международного форума МАГАТЭ по регулируемому надзору за объектами наследия.

Организация и осуществление такого мониторинга особенно актуальны при реабилитации объектов наследия и функционировании объектов ядерной энергетики. Получаемая в ходе этих исследований информация необходима для оценки медицинских последствий многолетнего функционирования предприятий на всех этапах ядерно-топливного цикла и для выяснения масштабов воздействия на здоровье. Наличие информации в этой области позволит научно обосновывать выбор референсных уровней дозовых нагрузок на население при различных вариантах реабилитации объектов наследия, приемлемых в отношении вероятной индукции отдаленных стохастических эффектов, и, в то же время, позволяющих научно обосновывать реабилитационные мероприятия в атомной отрасли. Публикация 103 МКРЗ ввела три категории облучения (облучаемых лиц): профессиональное облучение, облучение населения и медицинское облучение пациентов. А в 2014 г. с разработкой новой Публикации МКРЗ (Публикация 124 «Защита окружающей среды при различных ситуациях облучения») [6–8] добавлена четвертая категория облучения – облучение окружающей среды.

Принципиально важные изменения нормирования радиационных воздействий должны быть реализованы и в российских нормативных документах, однако эта работа еще не начиналась. Анализ показывает, что невозможно внести значимые изменения в Нормы радиационной безопасности без предварительного внесения изменений в Федеральный закон «О радиационной безопасности населения», который без существенных изменений действует с 1996 г. и за 26 лет по многим позициям устарел. В настоящее время происходит модернизация атомного промышленного комплекса на основе новых научно-технических решений в области энергетического реакторостроения и используемого ядерного топлива, что требует особого внимания к обеспечению безопасности персонала и населения. Это приводит к необходимости проведения соответствующего радиационно-гигиенического сопровождения проводимых работ для безопасной реализации новых технологий.

Основные проблемы, с которыми сталкиваются радиационные биологи при формировании баз данных следующие:

- Опубликованные данные различных авторов по одной и той же проблеме могут сильно отличаться друг от друга, в связи с чем сложно оценить достоверность представленных результатов;
- Данные не собраны и не обобщены в виде баз данных или автоматизированных систем;



- Отсутствуют сведения об условиях проведения экспериментов, режимных параметрах и т.д.
- Отсутствует библиотека литературных источников (в виде оригиналов статей или их копий)
- Что считать эталоном, позволяющим однозначно оценивать влияние ионизирующего излучения на живые объекты.

Ответов на эти вопросы нет в мировом сообществе, поэтому нормативы, принятые в нашей стране и зарубежные в разы отличаются друг от друга.

Создание единого Центра радиобиологических данных позволит не только обобщить имеющиеся сведения, но и, используя, зарубежные базы данных, выйти с вопросом о пересмотре Норм радиационной безопасности.

Очевидно, что единственным способом оценки радиационных рисков становится учет радиобио-

логической информации. Этот факт отражается, в частности, в специальных обширных документах международных организаций, которые посвящаются, в том числе радиобиологическим аспектам воздействия радиации (НКДАР-2000, НКДАР-2006, НКДАР-2009, BEIR-VII, МКРЗ-99, COMARE-VII) [9–11].

Таким образом, есть основания уверенно рассчитывать, что создание единого Центра радиобиологических данных будет способствовать уменьшению груза медицинских проблем, связанных с ядерным наследием; повышению уровня и качества жизни соответствующих контингентов населения России; созданию необходимых условий для успешного развития атомной энергетики в Российской Федерации и укреплению национальной безопасности страны.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ильин, Л.А. Медико-дозиметрический регистр работников атомной промышленности России. Состояние и перспективы / Л.А. Ильин, М.Ф. Киселев, А.П. Панфилов // Бюллетень сибирской медицины. – 2005. – Т. 4, № 2. – С. 6-13.
2. USDOE. A graded approach for evaluation radiation doses to aquatic and terrestrial biota. DOE-STD-1153-2002. Washington: US Department of Energy, 2002.
3. CEPA. Canadian Environmental Protection Act. Priority substances list assessments report. Releases of radionuclides from nuclear facilities (impact on non-human biota). Environment Canada, 1999. 130 p.
4. United Nations. UNSCEAR 2006. Report to the General Assembly, with Scientific Annexes. Annex A. Epidemiological studies of radiation and cancer. United Nations. New York, 2008. – P. 17-322.
5. Мазник, Н.А. Уровень аберраций хромосом в лимфоцитах периферической крови у эвакуированных из 30-километровой зоны ЧАЭС и резидентов, проживающих на загрязненных радиологически территориях спустя длительный срок после инцидента в Чернобыле / Н.А. Мазник, В.А. Винников // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2002. – Т. 42, № 6. – С. 704-710.
6. Бирюков, А.П. Особенности регистрации заболеваемости участников ликвидации последствий аварии на ЧАЭС в различных дозовых группах / А.П. Бирюков, М.А. Болотникова // Радиация и риск. 2008. – Т. 17, № 2. – С. 39-49.
7. IAEA International Forum on the Regulatory Supervision of Legacy Sites. TECDOC. IAEA.Vienna. 2016. 113 pp.
8. Рекомендации 2007 года Международной комиссии по радиационной защите. Публикация 103 МКРЗ. ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России. – М., 2009. 311 с.
9. Нормы безопасности МАГАТЭ: Радиационная защита и безопасность источников излучения. Международные основные нормы безопасности. Общие требования безопасности. Часть 3. № GSR Part 3. Пер. на рус. яз. 2014. 518 с.
10. Committee on Medical Aspects of Radiation in the Environment (COMARE). Seventh Report (2002). Parents occupationally exposed to radiation prior to the conception of their children. A review of the evidence concerning the incidence of cancer in their children. Ed. by Crown. Produced by the National Radiological Protection Board. 2002. – 86 p.
11. United Nations. UNSCEAR 2006. Report to the General Assembly, with Scientific Annexes. Annex C. Non-targeted and delayed effects of exposure to ionizing radiation. United Nations. New York, 2009. – P. 1-79.

Дата принятия 30.03.2022

НОВОСТИ РОССТАНДАРТА

НОВЫЙ СТАНДАРТ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ТРУДА ШАХТЕРОВ

МОСКВА, 15 апреля 2022 г. – Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии (Росстандарт) утвержден национальный стандарт ГОСТ Р 70061-2022 «Оборудование горно-шахтное. Пункты переключения в самоспасатели. Общие технические требования».

Новый стандарт впервые устанавливает общие технические требования к пунктам переключения в самоспасатели (ППС), которые предназначены для обеспечения доступа шахтеров к резервным самоспасателям при эвакуации из аварийных участков угольных шахт на поверхность и проведения безопасного переключения в резервные самоспасатели. Актуальность

разработки данного стандарта на государственном уровне обусловлена необходимостью обеспечения безопасности труда шахтеров. Принятие нового стандарта решило вопрос отсутствия нормативной документации, регламентирующей требования к ППС ранее

Кроме того, утверждение и внедрение нового стандарта позволит реализовать единые технические требования к ППС, способствовать процессам импортозамещения, а также стать основой практической деятельности угольным компаниям при формировании закупок и эксплуатации оборудования для сохранения жизни и здоровья шахтеров в аварийных ситуациях.

<https://www.rst.gov.ru/portal/gost/home>

**Э. Ю. Левина,
Ф. Ю. Виноградов,
В. С. Иванов,
Г. Г. Левин**

Федеральное государственное
унитарное предприятие
«Всероссийский научно-
исследовательский институт
оптико-физических измерений»
(ФГУП «ВНИИОФИ»),

Россия, г. Москва
E-mail: levin@vniiofi.ru

УДК 006.91

МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ТОНОМЕТРОВ ГЛАЗНОГО ДАВЛЕНИЯ

METROLOGICAL SUPPORT OF EYE PRESSURE DYNAMIC TONOMETERS

Рассмотрены вопросы метрологического обеспечения двух типов динамических тонометров: бесконтактный струйный и импульсный чрезвековой, которые в основном применяются для массового скрининга населения. Приведены конструктивные особенности мер, применяемых для их поверки и калибровки. Показано, что основным источником погрешности является результат медицинских сличений динамических тонометров с тонометром Гольдмана, принятым за эталон.

Ключевые слова: офтальмология, тонометрия, внутриглазное давление, динамический тонометр глазного давления, аппланационный тонометр, метрологическое обеспечение.

The issues are considered of metrological support of two types of dynamic tonometers – non-contact jet and pulse per secular tonometers, which are commonly used for mass screening of the population. The design features of the measures used for their verification and calibration are given. It is shown that the major source of error is the result of medical comparisons of dynamic tonometers with the Goldman tonometer taken as a measurement standard.

Keywords: ophthalmology, tonometry, intraocular pressure, dynamic eye pressure tonometer, applanation tonometer, metrological support.

1. Введение и краткие исторические сведения

Ежегодно в мире увеличивается число людей, имеющих проблемы со зрением. Согласно статистике Федерального агентства по здравоохранению и социальному развитию, только в России тяжелыми глазными заболеваниями страдают 15,5 млн жителей. Каждый второй россиянин имеет проблемы в данной сфере. [1]

Большое значение для успешного лечения имеет своевременное выявление заболеваний. В связи с этим возникает проблема нехватки квалифицированных врачей-офтальмологов, что, в свою очередь, заставляет искать новые скрининговые методы диагностики тех или иных патологий органов зрения, что позволило бы быстро и на ранних стадиях определять явное наличие или отсутствие того или иного заболевания и принимать решения о дальнейшем обследовании. Такие методы ускоряют и упрощают работу врача, что позволяет осмотреть большее количество пациентов за рабочий день, что, в свою очередь, приводит к снижению затрат на лечение, диагностику и профилактику офтальмологических болезней.

Одной из причин возникновения проблем со зрением является нарушение внутриглазного давления.

Внутриглазное давление (ВГД) – давление, обусловленное объемом и размером полостей внутри глаза и упругостью оболочек глазного яблока. [2]

Системной единицей давления является Паскаль (Па). Но исторически сложилось, что единицей измерения внутриглазного давления, принятой в медицине, является миллиметр ртутного столба (мм рт. ст.). Миллиметр ртутного столба – внесистемная единица измерения давления. В России использование данной единицы величины разрешено только в таких специальных областях, как медицина, метеорология и авиационная навигация. [3]

Нормальным считают внутриглазное давление, равное 16–20 мм рт. ст. Суточные колебания внутриглазного давления у здоровых лиц ограничиваются цифрами 2–5 мм рт. ст. [4]

Пониженное внутриглазное давление называют гипотонией, или гипотензией. Гипотония глаза характеризуется снижением внутриглазного давления до 15–12 мм рт. ст. и менее. Она возникает вследствие местных



(глазных) и общих заболеваний. Длительная гипотония глаза ведет к постепенной атрофии глазного яблока с одновременным снижением зрительных функций [5].

Глаукома – хроническое заболевание глаз, характеризующееся постоянным или периодическим повышением внутриглазного давления с развитием особой формы атрофии зрительного нерва и характерными изменениями поля зрения. Развитие глаукомы ведет к необратимому процессу полной потери зрения. Зачастую в начале течения заболевания глаукома может никак не проявлять себя, то есть протекать незаметно для заболевшего. В 20% случаев именно глаукома становится причиной инвалидности по зрению. Особенности развития этого заболевания делают измерение внутриглазного давления необходимой частью планового ежегодного медицинского осмотра у офтальмолога (или окулиста) для профилактики как глаукомы, так и гипотонии, и определения их на ранних стадиях, когда проблема может быть решена с помощью медикаментозного лечения без хирургического вмешательства. Изменение внутриглазного давления также имеет большое значение при лечении внутриглазных воспалительных процессов и является важным при оценке успеха после проведения полостных офтальмологических операций и показателем хорошего общего состояния организма.

Давно установленным стандартом в тонометрии является следующее правило: каждый человек старше 40 лет как минимум один раз в год должен проходить процедуру измерения внутриглазного давления! Таким образом в нашей стране необходимо проводить более ста миллионов измерений в год.

Инструментальные методы измерения внутриглазного давления называют тонометрией, а приборы для его измерения – тонометрами. Тонометрия – измерение внутриглазного давления, основанное на способности глазного яблока к деформации. Тонометрия представляет собой косвенный метод измерения внутриглазного давления. При тонометрии величина внутриглазного давления определяется на основании анализа данных о деформации глаза в процессе измерения. Такой анализ невозможен без осмысления всех происходящих при этой деформации процессов, т. е. без разработки теории тонометрии. По мере развития теории тонометрии создавались предпосылки для более точного определения истинного внутриглазного давления.

Понятие «тонометр» родилось в Германии в середине 1800-х годов. Тогда А. Грефе и Ф. Дондерс создали еще полностью не оконченное устройство, но их идея побудила ученых того времени на разработку рабочего тонометра, что привело к созданию сотни вариантов тонометров в течение следующих десятилетий. Тонометры бывают импрессионными и аппланационными. Импрессионные тонометры построены на принципе вдавливания поверхности роговицы с помощью специального стержня (плунжера). Принцип действия аппланационных тонометров основан на уплощении роговицы глаза какой-либо плоской поверхностью.

В 1884 году А. Маклаков предложил первый, простой по конструкции аппланационный тонометр, который представляет собой набор грузиков с известной массой. При помещении грузика на роговицу глаза площадь контактирующей поверхности S или ее диаметр d служат численными характеристиками величины внутриглазного давления. Именно этот тонометр положил начало всей аппланационной тонометрии в России. Благодаря простой конструкции и хорошей повторяемости результатов измерений тонометр Маклакова получил большое распространение среди офтальмологов нашей страны и используется вплоть до нашего времени.

В 1957 году Г. Гольдман представил свой вариант аппланационного тонометра. Аппланация при измерении была значительно усовершенствована, что привело к широкому использованию тонометра, и это сильно повлияло на признание тонометра Гольдмана «золотым стандартом» глазной тонометрии.

Г. Гольдман и Т. Шмидт не только стандартизировали прибор, но и значительно уменьшили зону уплощения роговицы до 3,06 мм. Гольдман показал, что именно при таких размерах площади уплощения происходит взаимная нейтрализация двух факторов, неблагоприятно влияющих на точность измерений внутриглазного давления. С одной стороны – сопротивление роговичных структур их деформации, а с другой – то дополнительное давление на роговицу, которое оказывает грузик через окружающий ее мениск слезной жидкости, неизбежно возникающий в ходе исследования. [6]

Однако, эти методы тонометрии имеют два существенных недостатка: во-первых, они требуют непосредственного контакта прибора и роговицы глаза, во-вторых, требуют предварительной подготовки пациента, и процедура измерения является достаточно продолжительной (10 – 15 минут), что не позволяло сделать эту процедуру массовой.

В последнее время в связи с возросшими гигиеническими требованиями и для обеспечения массовых регулярных обследований пациентов возникла необходимость в развитии бесконтактных методов и средств измерений глазного давления и создании соответствующих приборов. В настоящее время в России используются тысячи бесконтактных тонометров, позволяющих проводить измерения в течении нескольких секунд, что позволило решить проблему скрининговых обследований населения. В данном классе приборов значение внутриглазного давления определяется по динамическому отклику глаза на внешнее импульсное воздействие.

2. Метрологическое обеспечение тонометров.

Массовое использование тонометров поставило задачу метрологического обеспечения этих приборов. О востребованности этого рода измерений говорит тот факт, что для метрологического обеспечения офтальмологии в Международной Организации по Стандартизации ISO (International Organization for Standardization) создан

специальный технический комитет ISO/TC 172/SC 7 «Ophthalmic optics and instruments», в котором работают 10 рабочих групп. В работе комитета принимают участие представители 21 страны, в том числе и России, и 13 стран-наблюдателей. Выпущено более 111 стандартов ISO в области офтальмологии. В 2009 г. в МОЗМ была создана рабочая группа «Тонومتر» в Техническом Комитете 18 «Медицинские измерительные инструменты» по разработке рекомендаций «Офтальмологические инструменты: Импрессионные и аппланационные тонометры». Это говорит о важности тонометрических измерений.

Можно условно разделить приборы, применяемые для измерения внутриглазного давления, по способу воздействия на глаз на динамические и статические (рис. 1).



Рис. 1. Классификация офтальмотонометров

Динамические тонометры оказывают на глаз динамическое измерительное воздействие: импульсное (например, отскок-тонометры фирмы iCare и бесконтактные тонометры) или вибрационное (тонометр Паскаля) – и определяют внутриглазное давление по характеристикам динамики роговицы глаза: частоте, характеру и скорости колебания роговицы, времени до остановки колебания после окончания воздействия и др. Характер динамического отклика определяется упругими свойствами роговицы глаза, а они, в свою очередь, сильно зависят от внутриглазного давления. Проанализировать упругие свойства глаза возможно же только в динамике [8]. Динамические тонометры позволяют определять внутриглазное давление, оценивая состояние глаза в целом, а не анализируя поведение лишь отдельного участка глаза.

Статические тонометры оказывают на глаз постоянное воздействие, изменяя его форму. Измеряется или сила воздействия, необходимая для достижения конкретного, определенного, неизменного уплощения глаза (тонометрия по Гольдману), или площадь плоского участка, образуемого на поверхности роговицы глаза, при воздействии на данную роговицу конкретной, определенной, неизменной силой (тонометрия по Маклакову). Т. к. в статических тонометрах нет элементов, отслеживающих параметры динамики глаза, то такие тонометры зачастую более просты в техническом плане, и их поверка и калибровка требуют более простых с точки зрения выполнения и разработки метрологических устройств, но их использование значительно увеличивает время измерения.

Многолетняя медицинская практика позволила врачам-офтальмологам сформулировать требования

к измерительным возможностям тонометров, которые были обобщены в ГОСТ Р ИСО 8612-2010 «Приборы офтальмологические. Тонометры» идентичный международному стандарту ISO 8612:2001 «Ophthalmic instruments – Tonometers», в котором подробно описана сертификация тонометров, работающих различными методами. В основу международного стандарта в измерении внутриглазного давления лег тонометр Гольдмана [7]. В частности, там указана процедура сопоставления результатов клинических измерений при помощи «эталонного» тонометра Гольдмана и тонометра нового типа.

Клинические тонометры, выпускаемые промышленностью, могут использовать разные параметры глаза или устанавливать соотношение в косвенной оценке измеренного внутриглазного давления. Предприятие – изготовитель указывает точные расчетные параметры специфического тонометра и затем, демонстрирует, что специфическая конструкция функционирует приемлемо в сравнении с эталонным (контрольным) методом. В качестве контрольного метода и тонометра принят тонометр Гольдмана. Таким образом, предприятие – изготовитель проходит процесс сертификации.

Предприятие-изготовитель должно показать, что измерения испытательным тонометром при сравнении с измерениями контрольным тонометром (Гольдмана) удовлетворяют требованиям, указанным в Таблице. Эти требования удовлетворяются, если не более 5% парных разностей между показанием эталонного тонометра и показанием испытательного тонометра в каждом диапазоне давления не превышают допуск для каждого диапазона. Допуски в Таблице представляют значение в 1,96 раз больше среднеквадратического отклонения, допустимого для парных измерений.

Таблица.

Диапазон ВГД, мм рт. ст.	Допуск, мм рт. ст.	Минимальное число глаз
От 7 до 16	±5,0	40
>16 до <23	±5,0	40
≥23	±5,0	40

Предприятие-изготовитель должно разработать метод и испытательную аппаратуру – меру, чтобы подтвердить, что конструктивные требования допустимые пределы на погрешности удовлетворяются каждым изготовленным тонометром. Каждый тонометр должен быть проверен с помощью разработанного метода и аппаратуры. Допустимая погрешность испытательной аппаратуры должна составлять половину разрешенного допуска, данного в Таблице 1.

В России в настоящее время закуплено и функционирует большое количество офтальмологических измерительных приборов, предназначенных для измерения внутриглазного давления. В настоящей работе мы рассмотрим меры и аппаратуру предназначенные для поверки и калибровки двух основных типов динамических тонометров применяемых в нашей стране.

2.1 МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕСКОНТАКТНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ ТОНОМЕТРОВ

Основную долю приборов, применяемых в России, составляют бесконтактные автоматические тонометры внутриглазного давления, которые позволяют обеспечивать массовый скрининг глазного давления при диспансеризации населения.

Метрологическое обеспечение бесконтактных тонометров потребовало разработки принципиально новых приборов.

В 1980-х г. в национальном метрологическом институте Германии PTB (Physikalisch-Technische Bundesanstalt) был разработан прибор для калибровки бесконтактных тонометров. Данный прибор включал в себя сложную систему рычагов и вращающихся зеркал, что требовало особую точность на этапе сборки. В качестве эталонного тонометра для передачи единиц использовался импульсный воздушный тонометр «XPERT NCT PLUS» (производство Leica in Buffalo, USA). Испытания показали недостаточную надежность такой системы. Подобный прибор имел большую стоимость и требовал особых условий хранения и транспортировки. Поэтому он не нашел применения в метрологическом обеспечении тонометрии

Аналогичный механический прибор для калибровки бесконтактных тонометров был изготовлен и запатентован в Японии в 2001 г. (патент Японии № 11-225974) компанией Asahi Optical Co., Ltd. Однако, он также не нашел применения.

В 2003 г. в США Дэвид Льюс предложил свой вариант прибора для калибровки бесконтактных тонометров (патент США № 6,679,842). Прибор включает в себя датчик давления и систему имитации уплощения глаза пациента, что увеличивает точность калибровки эталонного тонометра. Доверительная граница суммарной погрешности прибора для калибровки бесконтактных тонометров составляет $\pm 0,1$ мм рт. ст.

В 2007 году компания Reichert Technologies разработала систему калибровки воздушных бесконтактных тонометров при помощи датчика давления фирмы GE. Этот датчик фирма сопровождает сертификатом калибровки NIST, что позволяет видеть прослеживаемость единицы к эталону давления. При этом было разработано встроенное в тонометр программное обеспечение, которое позволяло использовать показания датчика для калибровки непосредственно тонометра.

В настоящее время именно эта методика находит широкое применение для метрологического обеспечения бесконтактных воздушных тонометров. В работе Левиной Э. Ю. и Ермакова М. М. [9] подробно описан метод компарирования на основе отечественного тензопреобразователя Курант-ДИ фирмы «Метроник», который использован для калибровки бесконтактного тонометра внутриглазного давления, входящего в состав Государственного первичного специального эталона единицы внутриглазного давления ГЭТ 215-2015.

Однако для повседневной оперативной поверки тонометров этот метод применять довольно сложно.

Это вызвано тем, что такая процедура калибровки достаточно длительна и требует специального программного обеспечения. Поэтому возникла потребность в создании неких мер, пригодных для оперативной поверки бесконтактных тонометров.

С развитием уровня промышленности стало возможным изготовить меры внутриглазного давления, представляющие собой искусственные «резиновые» глаза – фантомы, имитирующие в процессе измерения поведение человеческого глаза. Подобные меры изготавливаются определенного номинала, что позволяет производить калибровку бесконтактных тонометров по определенным контрольным точкам.

«Резиновый» глаз – имитация глаза человека, мера внутриглазного давления. «Резиновый» глаз изготавливается из прорезиненного глянцевго материала с фиксированным коэффициентом упругости, соответствующим значению внутриглазного давления 10, 20 или 30 мм рт. ст. Поверхность «резинового» глаза выпуклая, при проведении измерения внутриглазного давления имитирует поведение глаза человека во время данной процедуры. Обычно выпускается набором из 3 мер, в комплект так же входит стойка-держатель (рис. 2). Доверительная граница суммарной погрешности мер для калибровки бесконтактных тонометров составляет ± 2 мм рт. ст.



Рис. 2. Набор «резиновых» глаз со стойкой

Фирмы-производители выпускают наборы таких мер для поверки тонометров только собственного производства. При измерении «резиновых» глаз тонометрами других фирм результаты измерений могут отличаться от значений, заявленных в свидетельстве на данные меры внутриглазного давления. Это происходит из-за того, что при фабричной первоначальной калибровке тонометра такими мерами внутриглазного давления в каждый прибор вносятся поправочные коэффициенты, рассчитанные по методике каждой конкретной фирмы.

Для калибровки бесконтактных тонометров во «ВНИИОФИ» были разработаны универсальные меры МОД-1, которые снабжались специальными поправочными таблицами для всех тонометров, включенных в Государственный реестр средств измерений РФ.

Для измерения внутриглазного давления с помощью тонометра универсальное устройство с мерами давления необходимо установить в правильное положение, относительно сопла прибора.

При этом центр трубки – сопла должен находиться ровно напротив центра сферической поверхности меры внутриглазного давления (рис. 3).

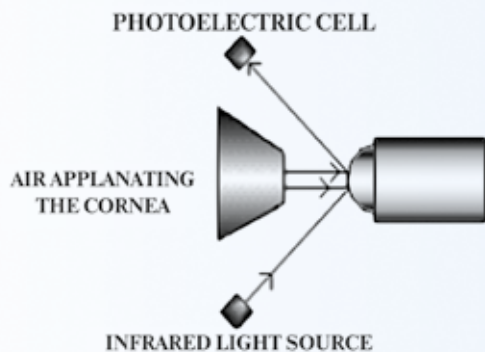


Рис. 3

Оператор занимает место со стороны монитора. Когда мера занимает правильное положение, оператор нажимает на кнопку измерения и прибор выпускает струю воздуха из сопла на поверхность меры. Световые детекторы, расположенные по обеим сторонам эжектора, определяют степень уплощения поверхности меры и момент достижения конечной точки.

Во время измерения тонометр направляет на поверхность меры струю воздуха под изменяющимся во времени давлением. Мера во время данной процедуры постоянно освещается параллельным пучком света, который отражается от поверхности меры и улавливается датчиками света тонометра, расположенными недалеко от сопла. Данные датчики определяют максимальное отражение света, соответствующее уплощению сферической поверхности меры до окружности диаметром 3,06 мм.

Время, необходимое для достижения максимального отражения, прямо пропорционально давлению воздушного потока, которым тонометр воздействует на меру, и внутриглазному давлению и интерпретируется в виде показателя внутриглазного давления.

С течением времени «резиновые» глаза теряют эластичность, поэтому каждый год их необходимо заново калибровать на первичном эталоне.

В тоже время была поставлена задача разработать универсальный перестраиваемый фантом, имитирующий различную упругость глаза. Эта задача была успешно решена Faculty of Mechanical Engineering Slovak Institute of Metrology, Bratislava, Slovakia. Был создан фантом – резиновый глаз с переменным внутренним давлением, подобраны специальные материалы имитирующие роговицу глаза [10].

2.2 МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КОНТАКТНЫХ ЧРЕЗВЕКОВЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ ТОНОМЕТРОВ

Другой тип тонометров, нуждающийся в метрологическом обеспечении, был разработан отечествен-

ными приборостроителями и серийно выпускается на Государственном Рязанском приборном заводе (АО «ГРПЗ») и на Елатомском приборном заводе (АО «ЕПЗ»). Избежать непосредственного контакта роговицы с измерительным устройством можно, если осуществлять воздействие через веко. При этом существенно расширяются возможные области применения тонометра – от амбулаторного использования до скрининговых исследований в условиях повседневной деятельности человека, включая и домашние условия.

Статические тонометры не позволяют выявлять упругие свойства роговицы при посредничестве века глаза. Поэтому построение тонометра, производящего измерение через веко, возможно только на основе динамического способа измерения.

В тонометре ТВГД-01 (производства АО «ЕПЗ») осуществляется определение жесткости роговицы или склеры глаза динамическим вибрационным способом на основе измерения периода свободных колебаний оболочек глаза подсоединенных через веко к чувствительному элементу тонометра. При этом измерение периода собственных колебаний колебательной системы «веко-глаз-чувствительный элемент тонометра» можно осуществлять с существенно более высокой точностью, чем измерение диаметра области соприкосновения роговицы глаза с воздействующими на нее элементами измерителя внутриглазного давления.

Чувствительный элемент ТВГД-01, называемый вибратор, состоит из неподвижной части (катушки индуктивности) и подвижной части, имеющей возможность перемещаться вдоль оси катушки индуктивности. Подвижная часть вибратора состоит из штока с закрепленными на нем двумя постоянными магнитами в виде колец, подвешенного на двух мембранных пружинах к торцам катушки индуктивности. Сам вибратор может свободно перемещаться внутри корпуса прибора в некоторых пределах, заданных конструктивно. Масса всего вибратора составляет 15,76 г, что обеспечивает преодоление наружного мягкого слоя века и исключения его влияния на результат измерения. Масса штока с магнитом составляет 2,6 г. Именно эта часть вибратора входит в состав колебательной системы «веко-глаз-чувствительный элемент тонометра».

Принцип действия тонометра ТВГД-01 основан на измерении частоты свободных колебаний системы «вибратор-глаз», возникающих после кратковременного вывода ее из состояния равновесия внешним воздействием. Изменение (увеличение) частоты свободных колебаний системы «вибратор-глаз» по отношению к частоте собственных колебаний вибратора прибора ТВГД-01, пропорционально изменению жесткости роговицы глаза, которая, в свою очередь, пропорциональна изменению внутриглазного давления.

Для определения связи коэффициента жесткости роговицы живого глаза с внутриглазным давлением были использованы результаты проведенных в НИИ глазных болезней им. Гельмгольца сравнительных испытаний тонометра ТВГД-01 с образцовым тонометром

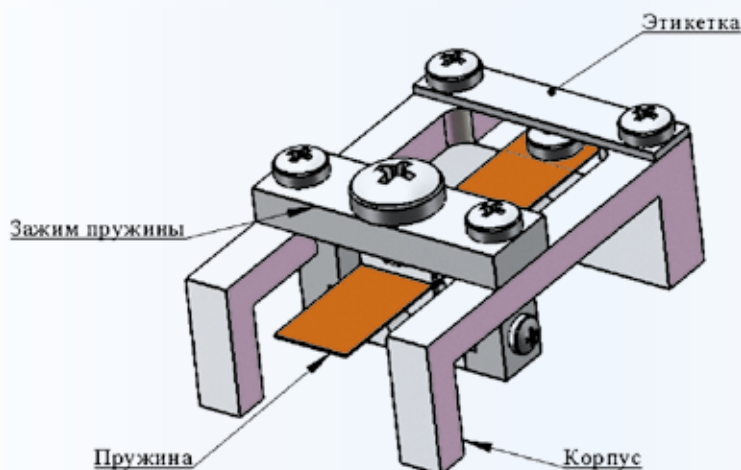


Рис. 4

Гольдмана. На добровольцах проводились последовательные измерения глазного давления по методике, разработанной специалистами НИИ глазных болезней, тонометром Гольдмана и ТВГД-01.

В результате медицинских испытаний установлено, что показания тонометра ТВГД-01 соответствуют требованиям стандарта. Область допустимых отклонений ограничена значениями ± 5 мм рт. ст. от показаний образцового тонометра. В соответствии со стандартом допускается выход за указанную область 5% от общего числа показаний испытываемого тонометра. В данных испытаниях за зону допуска вышло 5 показаний, что составляет 3.3% от общего числа измерений (149 измерений у различных пациентов).

Исходя из принципа работы тонометра, мера давления для проверки прибора ТВГД-01 должна быть построена по принципу измерения жесткости некоторого объекта, равной жесткости системы «веко-глаз», при которой тонометр должен давать заданные показания.

Для простоты конструктивного решения и получения стабильных результатов измерений целесообразно в качестве меры давления использовать плоскую пружину в виде металлической пластины, один конец которой жестко закреплен (рис. 4).

Динамический контроль основан на измерении периода собственных колебаний пружины меры. При этом измерение периода собственных колебаний можно осуществлять с существенно более высокой точностью, чем измерение линейных размеров.

Значения контролируемых периодов свободных колебания плоской пружины меры определяются из соотношения, связывающего эти значения с жесткостью пружины и ее геометрическими размерами:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{33b \cdot h \cdot l \cdot \rho}{140K}},$$

где ρ – удельный вес (кг/м³) бронзы марки БРБ2, из которой изготовлена плоская пружина;

b – ширина пружины (м);

h – толщина пружины (м);

l – длина пружина (м) (настраиваемый параметр);

T – период свободных колебаний пружины (с);

K – жесткость пружины меры, принимаемая равной жесткости системы «веко-роговица».

Каждому значению внутриглазного давления, измеренному с помощью ТВГД-01, соответствует, как отмечалось выше, определенный период свободных колебаний системы, образованной вибратором тонометра и роговицей глаза. По измеренным значениям периодов колебаний при разных значениях внутриглазного давления можно рассчитать эквивалентные жесткости пружины, входящей в состав меры и эквивалентную частоту системы. Такая конструкция меры позволила избежать метода компарирования при передаче ей единицы глазного давления эталонным тонометром, который прошел медицинские сличения с тонометром Гольдмана. Основная погрешность меры при этом определяется результатами этого сличения. Для поверки мер была создана специальная установка по измерению частоты свободных колебаний пружины, входящей в ее состав.

2.3 Государственный первичный специальный эталон единицы внутриглазного давления ГЭТ 215-2015.

Государственный специальный первичный эталон, который предназначен для воспроизведения, хранения единицы давления (Па (Н/м²), мм рт. ст.) для офтальмологии, значение которой получено экспериментальным путем, и последующей передачи указанной единицы при помощи рабочих эталонов рабочим средствам измерений. Диапазон значений давления для офтальмологии, воспроизводимых эталоном, составляет от 0,75 мм рт. ст. до 70 мм рт. ст. (от 100 Па до 10 кПа).

Государственный специальный эталон обеспечивает воспроизведение единицы давления определенной экспериментальным способом, с расширенной неопределенностью при коэффициенте охвата $K=2$, лежащей в интервале $0,2 \div 1,4$ мм рт. ст. (26,66 ÷ 166,65 Па), в зависимости от номинального значения давления. Эталон состоит из двух независимых приборных комплексов.

Первый из них предназначен для передачи единицы давления тонометру кооператору типа Гольдмана. Он представляет собой баланс весы с корреляционным нуль-индикатором/11/и тонометр Гольдмана фирмы

SHIN-NIPPON SL-TM (Япония). Чувствительность данной системы – 5 мг, что эквивалентно 0,05 мм рт. ст.

Второй предназначен для передачи единицы давления бесконтактным динамическим тонометрам и включает в себя комплекс следующих технических средств измерений и вспомогательных устройств:

- датчик давления Курант ДИ фирмы «Метроник» (s/n 112262);
- устройство для механической фиксации Курант ДИ;
- специализированный электронный блок калировки тонометра-компаратора;
- компаратор в виде бесконтактного тонометра 7 CR фирмы «Reichert» (s/n 43902-0814).

3. Заключение

Разработанные меры и методы их поверки и калировки позволили решить задачу метрологического

обеспечения практически всех тонометров, находящихся в офтальмологических кабинетах и проводящих массовые измерения глазного давления. Необходимо отметить, что, несмотря на достаточно высокую воспроизводимость результатов измерения, погрешность, приписываемая этим приборам достаточна высокая и составляет 5 мм рт. ст. Это обусловлено тем, что основной вклад в погрешность вносят медицинские исследования, которые проводятся при сопоставлении результатов измерения динамическим тонометром и тонометром Гольдман, принятым за эталон. Однако только эта процедура, описанная в ГОСТ Р ИСО 8612-2010 позволяет перейти от измеряемых динамических характеристик глаза непосредственно к главному давлению в мм ртутного столба, привычного врачам-офтальмологам.

ЛИТЕРАТУРА

1. <http://health.mail.ru/news/3956> – (дата обращения – 11.11.2014 г.);
2. Вургафт М. Б., Вургафт Я. М. *Тонометрические методы исследования внутриглазного давления и гидродинамика глаза при глаукоме*. Казань, 1991, с. 67, 84;
3. *Международный документ МОЗМ D2. Узаконенные (официально допущенные к применению) единицы измерений. Приложение А*;
4. БСЭ, 1969–1978;
5. Кацнельсон Л. А., Форофонова Т. М., Бунин А. Я. *Сосудистые заболевания глаза – «Медицина», Москва 1990 г. – 272;*
6. Шамшинова А. М., Волков В. В., *Функциональные методы исследования в офтальмологии – «Медицина», Москва 1999 г. – 416с;*
7. *ГОСТ Р ИСО 8612-2010. Приборы офтальмологические. Тонометры;*
8. Иомдина Е. Н. *Механические свойства тканей глаза. Современные проблемы биомеханики. Вып. 11. Изд-во МГУ, 2006. С. 183–200;*
9. Левина Э. Ю., Ермаков М. М. *Разработка метода компарирования для калировки бесконтактного апланационного тонометра внутриглазного давления на основе жидкостного тензометрического преобразователя давления // Законодательная и прикладная метрология. – 2018. – № 2. – С. 24–27;*
10. P. Pavlásek, J. Rybář, S. Ďuriš, B. Hučko, J. Palenčár and M. Chytil. *Developments in non-contact eye tonometer calibration // «2019 IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC)». – 2019. – С. 1–5.*
11. *Способ поверки/калировки контактных тонометров Левин Г. Г., Левина Э. Ю., Шутяев В. В., Ермаков М. М. Патент на изобретение RU 2657927 С1, 18.06.2018. Заявка № 2017119542 от 05.06.2017.*

Дата принятия 11.04.2022

ИНФОРМАЦИЯ

БЮЛЛЕТЕНЬ № 2 МОЗМ (OIML BULLETIN, NO. 2, APRIL 2022) ПОСВЯЩЕН ИЗМЕРЕНИЯМ, СВЯЗАННЫМ С ТРАНСПОРТОМ

Число жертв в мире в результате дорожно-транспортных происшествий не уменьшается, оставаясь стабильно на высоком уровне – около 1,2 млн чел. в год. В 2020 году ООН провозгласила период 2021 – 2030 годов вторым «Десятилетием действий по обеспечению безопасности дорожного движения», в рамках которого страны обязуются достичь к 2030 году сокращения вдвое общемирового числа погибших и раненых на дорогах. Являясь важным аспектом безопасности общества, безопасность дорожного движения может быть существенно улучшена посредством осуществления ряда эффективных, целенаправленных мер, включая законодательные и правоустанавливающие, предусматривающие наказание за вождение в нетрезвом виде и за превышение скорости.

Измерения в контексте вынесения наказания за превышение скорости играют решающую роль,

и для этой цели важно, чтобы приборы для измерения скорости соответствовали установленным метрологическим требованиям по точности.

В статье «Группа проекта МОЗМ ТК 7 /ПК 4/проект 3: пересмотр Рекомендации OIML R 91» авторами (R. Flegar из Словении и F. Assi, D. Sprecher из Швейцарии) рассматривается тема «Радиолокационное оборудование для измерения скорости транспортных средств», которая является актуальной и требует гармонизации требований к приборам для измерения скорости транспортных средств в нормативных документах всех стран. Рекомендация OIML R 91 (Radar equipment for the measurement of the speed of vehicles), изданная еще в 1990 году, названа авторами «упущенными возможностями», т.к. накопленные вопросы в каждой стране решались по-своему.

Приборы измерения скорости имеют специфическое значение в сфере законодательной метрологии. Иногда

продолжение на стр. 33



**В. Г. Лысенко,
В. А. Костеев,
Е. А. Милованова,
Н. А. Табачникова,
Д. А. Новиков**

Федеральное государственное
бюджетное учреждение
«Всероссийский научно-
исследовательский институт
метрологической службы»
(ФГБУ «ВНИИМС»),
Россия, г. Москва
E-mail: lysenko@vniims.ru

УДК 006.91

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ОТКЛОНЕНИЯ ОТ КРУГЛОСТИ

INVESTIGATION OF METHODS FOR IMPROVING THE MEASUREMENT ACCURACY OF THE GEOMETRIC PARAMETERS OF THE DEVIATION FROM ROUNDNESS

Исследуются и анализируются методы и средства повышения точности измерений отклонения от круглости. На основе анализа бюджета неопределенности измерений выявлены источники, требующие минимизации и компенсации. Сформулированы пути повышения точности измерений отклонения от круглости, соответствующие мировому уровню.

Ключевые слова: отклонение от круглости, неопределенность измерений, меры круглости.

The methods and techniques for increasing the measurement accuracy of the deviation from roundness are investigated and analyzed. Based on the analysis of the measurement uncertainty budget, sources that require minimization and compensation are identified. The ways of increasing the measurement accuracy of the deviation from roundness are formulated, corresponding to the world level.

Keywords: roundness deviation, measurement uncertainty, roundness measures.

Введение

Поверхности тел вращения играют важную роль в прецизионном машиностроении. Требования к их точности достигли порядка десятков нанометров. Например, прецизионные эталонные меры отклонения от круглости имеют отклонения формы порядка 10–20 нанометров. Измерительные и калибровочные возможности Российской Федерации, продекларированные в базе данных Международного Бюро мер и весов, имеют расширенную неопределенность измерений 28 нанометров для мер отклонения от круглости [1,4,5]. Это требует повышения точности воспроизведения единицы длины в этом виде измерений в стране, как минимум, в 3 раза. С этой целью необходимо по математической модели измерений проанализировать основные источники неопределенности измерений, выявить наиболее значимые из них, а затем на основе анализа, а также исследования технических и программно-методических возможностей модификации средств измерений (СИ), выбрать базовую модель, обеспечивающую требуемую точность.

Анализ математической модели погрешностей (неопределенностей) измерений отклонения от круглости

Для проведения анализа и исследования существующих технических решений для обеспечения требуемых

технических и метрологических характеристик необходимо выявить наиболее значимые аппаратные и методические составляющие погрешностей кругломеров. Для этого необходимо сформулировать на основании анализа и исследования математические модели погрешностей (неопределенностей) измерений, зависящих от конструкции кругломеров [2], в соответствии с действующими правилами [3] провести анализ входных величин – составляющих бюджета неопределенности измерений, исследовать типовые бюджеты неопределенности измерений отклонения от круглости [4] и выявить наиболее значимые составляющие неопределенности измерений, которые следовало бы минимизировать в выбранных оптимальных технических решениях.

В результате анализа источников и составляющих неопределенности измерений математическая модель измерений геометрических параметров тел вращения F_{\max} может быть записана [4–6]:

$$F_{\max} = f(\delta_{\text{ш}} + \delta_{\text{раз}} + \delta_{\text{рад}} + \delta_{\text{ув}} + \delta_{\text{центр}} + \delta_{\text{выр}}),$$

где: $\delta_{\text{ш}}$ – неопределенность, вызванная электрическим и механическим шумами;

$\delta_{\text{раз}}$ – неопределенность, вызванная разрешением;

$\delta_{\text{рад}}$ – неопределенность, вызванная радиальным биением шпинделя;

$\delta_{\text{ув}}$ – неопределенность калибровки увеличения датчика прибора;

Входная величина	Характеристика входной величины
F_{\max_i} – среднее арифметическое значение измерений параметра F_{\max} меры	Тип неопределенности: А Вид распределения: нормальное Стандартная неопределенность: $u(F_{\max_u}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (F_{\max_i} - F_{\max_u})^2}{n(n-1)}}$ $u(F_{\max_u}) = 0,001 \text{ мкм}$
$\delta_{\text{ш}}$ – поправка на неопределенность электрического и механического шума	Тип неопределенности: В Вид распределения: прямоугольное Стандартная неопределенность: 0,002 мкм
$\delta_{\text{разр}}$ – поправка на неопределенность разрешения	Тип неопределенности: В Вид распределения: прямоугольное Стандартная неопределенность: 0,001 мкм
$\delta_{\text{рад}}$ – поправка на неопределенность радиального биения шпинделя	Тип неопределенности: В Вид распределения: прямоугольное Стандартная неопределенность: 0,012 мкм
$\delta_{\text{ув}}$ – поправка на неопределенность увеличения	Тип неопределенности: В Вид распределения: прямоугольное Стандартная неопределенность: 0,001 мкм
$\delta_{\text{центр}}$ – поправка на неопределенность центрирования эталонной меры	Тип неопределенности: В Вид распределения: прямоугольное Стандартная неопределенность: 0,0001 мкм
$\delta_{\text{выр}}$ – поправка на неопределенность выравнивания осей	Тип неопределенности: В Вид распределения: прямоугольное Стандартная неопределенность: 0,0001 мкм

$\delta_{\text{центр}}$ – неопределенность центрирования эталонной меры;

$\delta_{\text{выр}}$ – неопределенность положения оси шпинделя относительно колонны

В соответствии с рекомендацией КОOMET [2] проведен анализ входных величин и составлен бюджет неопределенности измерений.

Результаты анализа входных величин и бюджет приведены в таблице 1 [5].

Общая итоговая стандартная неопределенность измерений равна 0,0139 мкм

Расширенная неопределенность измерений (при $k=2$) составляет 0,0278 мкм

Анализ бюджета неопределенности измерений отклонения от круглости, согласно [4,5], показал, что наибольший вклад в суммарную стандартную неопределенность измерений вносит радиальное биение шпинделя.

Способ выявления и компенсации систематических погрешностей шпинделя «методом разделения»

К числу наиболее значимых составляющих (источников) относится неопределенность, вносимая погрешностью изготовления и юстировки (монтажа) шпинделя. Погрешность шпинделя складывается из-за собственного отклонения от круглости в любой точке измеренного профиля номинально круглой поверхности вращения.

До тех пор, пока требования к точности измерений отклонений от круглости были невысоки, систематические погрешности шпинделя не выделялись и не компенсировались, а входили в состав неисключенных систематических погрешностей (НСП).

При новом уровне требований к точности измерений отклонений от круглости неисключение систематических погрешностей шпинделя приводит к существенным погрешностям измерений отклонения формы измеряемых номинально круглых прецизионных поверхностей.

При анализе и исследовании технических решений выявления и компенсации систематических погрешностей шпинделя одним из наиболее эффективных способов (методов) [7,8] является «метод разделения», при котором измеряемая деталь устанавливается на поворотный стол и ее профиль измеряется в диапазоне 360 градусов последовательно n раз, каждый раз (при каждом новом измерении) с поворотом детали перед измерением на $360/n$ градусов. Каждый измеренный, повернутый на $360/n$ градусов, профиль (круглограмма) состоит из суммы всегда одинаково расположенных отклонений шпинделя и каждый i -й раз ($i=1...n$) развернутого на $360/n$ относительно предыдущего измерения отклонения контролируемой детали.

В итоге, после n измерений детали все n результатов суммируются и находится их среднее арифметическое. Поскольку полученные отклонения рассчитывались относительно средней окружности, построенной по методу наименьших квадратов, и каждому отклонению формы в «+», найдется приближенно равное отклонение в «-», то сумма всех отклонений стремится к нулю. В результате среднее арифметическое отклонение контролируемых профилей номинально круглой поверхности стремится к нулю. В то же время n раз просуммированные отклонения шпинделя, деленные на n для получения среднего отклонения, дают отклонения, вызванные шпинделем в каждой из измеренных точек.



Рис. 1. Схема кругломера и поворотного индексного стола с энкодером для реализации «метода разделения»

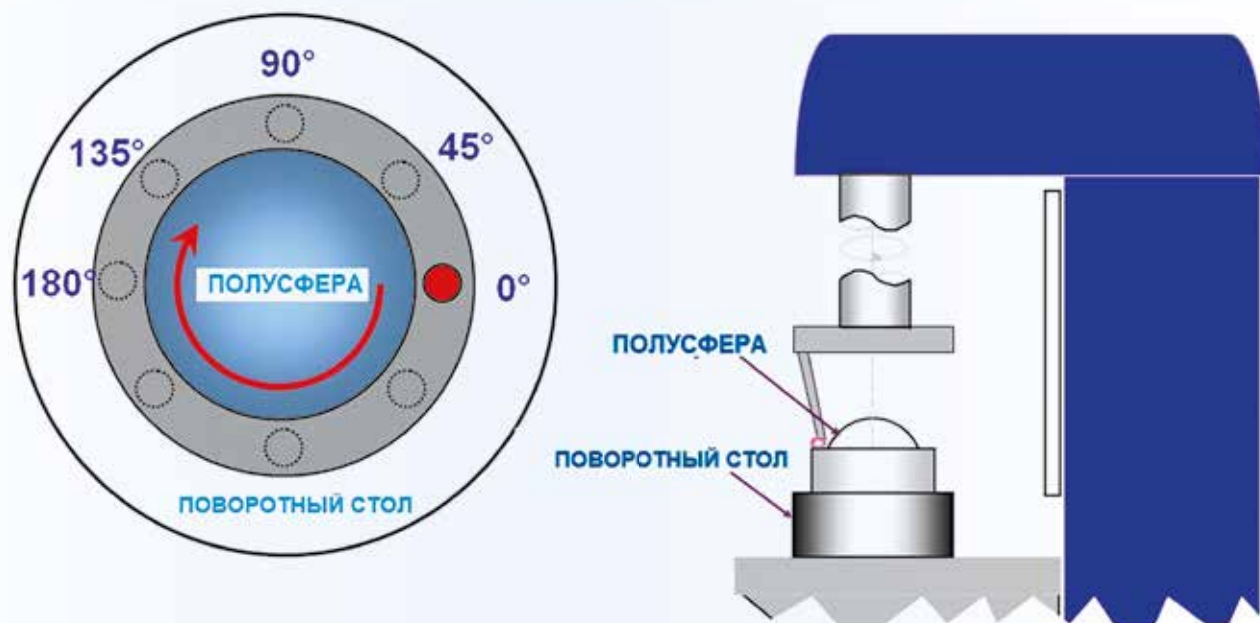


Рис. 2. Схема компенсации систематической погрешности шпинделя с помощью аттестованной меры круглости

Таким образом, в результате проведенной процедуры получаем отдельно отклонения профиля измеряемого образца и отклонения шпинделя. На рис. 1 изображена указанная выше техническая реализация метода разделения отклонения шпинделя и контролируемой поверхности тела вращения.

На приведенной выше схеме рис. 1 мы видим кругломер с вращающимся шпинделем, на его столе размещен поворотный стол с энкодером. Измеряемое тело вращения размещается на поворотном столе в центральном положении и в известном угловом положении. Поверхность тела вращения измеряется при нулевом положении поворотного стола, и далее в каждом n -ном положении стола (угол $360/n$ градусов) до тех пор, пока измеряемая деталь не завершит полный оборот на 360 градусов.

Калибровка шпинделя по сфере

Альтернативным «методу разделения» является метод выявления и компенсации систематических погрешностей шпинделя с помощью аттестованной эталонной меры круглости, отклонения которой известны и могут быть сориентированы относительно системы координат прибора [7]. При этом аттестованная эталонная мера имеет красную метку начала отсчета профиля меры (рис. 2). При калибровке проводится измерение отклонений профиля аттестованной эталонной меры с фиксированного начала отсчета на всем диапазоне от 0 до 360 градусов с шагом дискретизации по углу, например, $360/n$. При этом считываются измеренные показания отклонения профиля в n точках с интервалом $360/n$ градусов и сравниваются

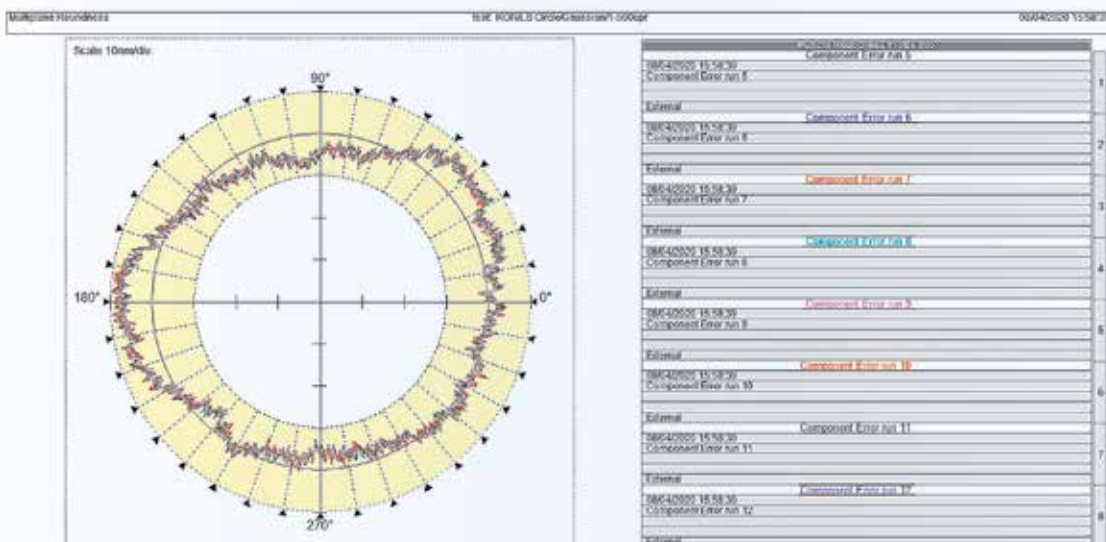


Рис. 3. Результат измерений отклонения формы поверхности вращения без компенсации систематической погрешности шпинделя.

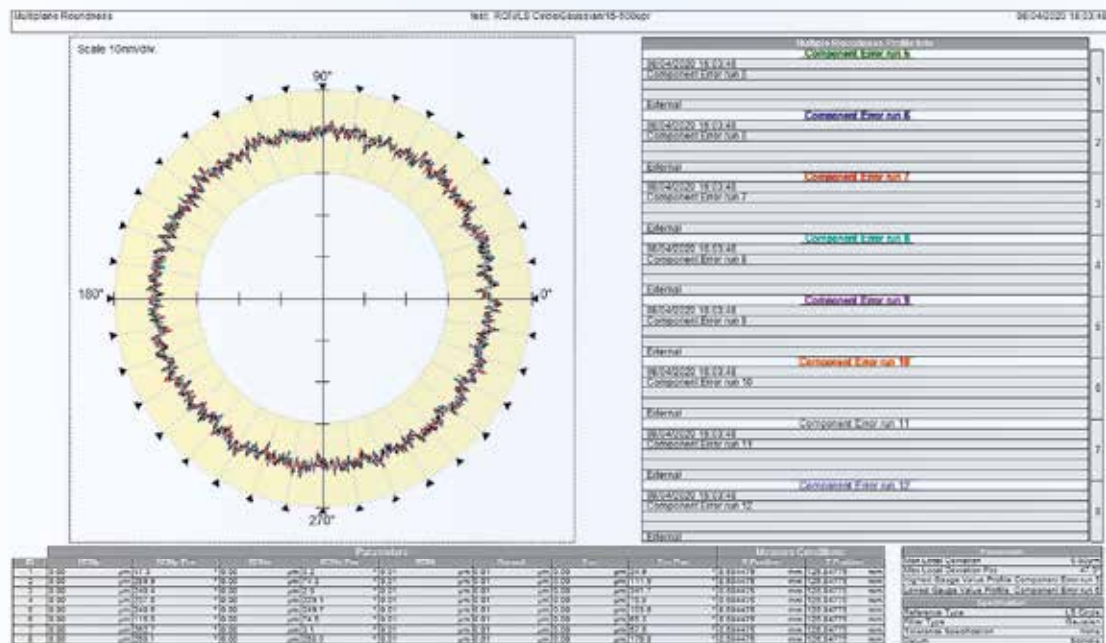


Рис. 4. Результат измерений отклонения формы поверхности вращения с компенсацией систематической погрешности шпинделя.

с аттестованными значениями профиля эталонной меры в этих точках. Разность между аттестованными и измеренными значениями отклонений профиля характеризует систематическую погрешность шпинделя, которая определяется в процессе калибровки, заносится в карту компенсации погрешностей кругломера, и, в дальнейшем, используется при проведении измерений.

Ниже приводится результат измерений отклонения формы поверхности вращения без компенсации систематической погрешности шпинделя (рис. 3) и с ее компенсацией (рис. 4).

После компенсации систематической погрешности шпинделя по аттестованной мере неопределенность измерений отклонения от круглости составила 10 нанометров. Таким образом, метод калибровки шпинделя по аттестованной эталонной мере круглости может быть, наряду с «методом разделения», техниче-

ским решением, обеспечивающим требуемые метрологические характеристики СИ.

Исследование метода повышения точности измерений отклонения от круглости путем устранения погрешности эксцентриситета высокого порядка

Важным алгоритмическим и программным методом повышения точности измерений отклонения от круглости является более точный алгоритм определения параметров центрирования меры круглости при ее измерении на прецизионном кругломере. Суть этого метода состоит в нижеследующем. Перед началом измерения меры отклонения от круглости ее необходимо (механически) центрировать по отношению к оси шпинделя кругломера. Механически добиться «нулевого» эксцентриситета невозможно, поэтому эта

величина выявляется и компенсируется программно по алгоритму, заложенному в программное обеспечение кругломера. Суть алгоритма состоит во вписывании по методу наименьших квадратов (МНК) номинальной окружности в результаты измерения профиля. Проблема повышения точности определения этой составляющей неопределенности заключается в том, что алгоритм МНК хорошо работает при невысоких требованиях к точности, когда параметры (неизвестные), которые определяются по МНК, являются линейными функциями в системе линейных уравнений МНК относительно неизвестных параметров [1]. В традиционной модели погрешности эксцентриситета измерения (погрешность эксцентриситета, погрешность радиуса и погрешность угловой координаты в полярной системе координат), которые должны определяться по МНК являются нелинейными функциями (не в линейных, а в трансцендентных уравнениях относительно искомым – эксцентриситета, радиуса и угла). В этом случае в старых алгоритмах программ кругломеров, когда требования к точности измерений были не столь высоки по сравнению с сегодняшним днем, трансцендентные уравнения линейризовались и искомые параметры приближенно находились линейным МНК с достаточной точностью, соответствующей точности других источников неопределенности измерений. Теперь же, когда требования к точности измерений кругломеров существенно повысились, линейного приближения для определения по МНК параметров эксцентриситета, радиуса и угла недостаточно. Появились новые алгоритмические и программные решения, увеличивающие точность определения указанных систематических факторов [9–10]. Наиболее оптимальным из предложенных вариантов повышения точности определения указанных параметров является разложение трансцендентной функции в уравнении определения эксцентриситета в ряд Тейлора помимо 1-го (линейного) порядка до 2-го и 4-го порядков [10]. Зная аналитические выражения членов ряда Тейлора 2-го и 4-го порядков, учетом указанных «довесков», существенно повышается точность измерений.

Ниже излагается, согласно [10], метод точного измерения отклонения от круглости профиля, основанный на устранении погрешности эксцентриситета высокого порядка. В процессе точного измерения профиля круглости погрешность эксцентриситета сборки является существенным источником, влияющим на точность измерения. Погрешность вызвана несовпадением геометрического центра измеряемой номинально круглой в сечении поверхности тела вращения с центром вращения шпинделя. После анализа основной погрешности традиционной модели измерения для решения этой проблемы в статье предлагается метод измерения профиля круглости, основанный на устранении погрешности эксцентриситета высокого порядка, и устанавливаются модели измерения квадратичной погрешности устранения эксцентриситета второго порядка и квадратичной погрешности устранения эксцентриситета четвертого порядка. Кроме того, в статье также сравнивается

оцененная точность параметров модели между традиционной моделью измерения и моделью прецизионных измерений, основанной на устранении погрешности эксцентриситета высокого порядка с помощью компьютерного моделирования. Таким образом, выполняется проверка доступности метода, предложенного в этой статье, и, соответственно, может быть улучшена точность измерения профиля круглости.

Анализ погрешности эксцентриситета высокого порядка и сравнительная оценка с погрешностью традиционной линейной модели измерений

На рис. 5 представлена модель традиционной погрешности эксцентриситета измерения. Выражение измерения представляется как:

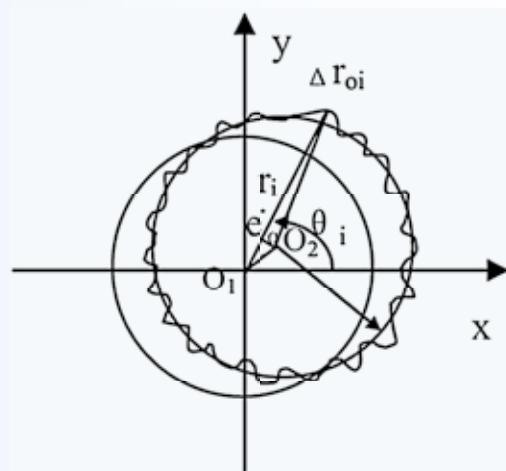


Рис. 5 – Традиционная модель измерения погрешности эксцентриситета

$$r_i = e \cdot \cos(\theta_i - \alpha) + \sqrt{(r_0 + \Delta r_{oi})^2 - e^2 \sin^2(\theta_i - \alpha)}, \quad 1.$$

$\forall \theta_i = 1, 2, 3, \dots, N-1$

Согласно методу наименьших квадратов, следующее выражение должно соответствовать:

$$\varphi(e, r_0, \alpha) = \sum_{i=0}^{N-1} \Delta r_{oi}^2 = \min \quad 2.$$

Чтобы оценить параметры наименьших квадратов (e, r_0, α) , нам нужно вычислить частные производные функции $\varphi(e, r_0, \alpha)$ по e, r_0, α и приравнять их нулю:

$$\begin{cases} \frac{\partial \varphi(e, r_0, \alpha)}{\partial e} = 0 \\ \frac{\partial \varphi(e, r_0, \alpha)}{\partial r_0} = 0 \\ \frac{\partial \varphi(e, r_0, \alpha)}{\partial \alpha} = 0 \end{cases} \quad 3.$$

Для функции это сложная неограниченная оптимизация, целевая функция которой является нелинейной функцией, мы не можем получить ее производное выражение результата с помощью обычного метода.

Линеаризуем выражение (1), удовлетворяющее условию $e \ll r_0$ (обычно $e/r_0 < 10^{-3}$). Тогда выражение 1 изменяется:

$$r_i = e \cdot \cos(\theta_i - \alpha) + r_0 + \Delta r_{oi}, \quad 4.$$

где $i = 1, 2, 3, \dots, N - 1$

Если второе слагаемое в выражении (1) разложить в степенной ряд Тейлора, с учетом помимо линейных и членов 2-го и 4-го порядков, получим:

$$r_i = e \cdot \cos(\theta_i - \alpha) + r_0 + \Delta r_{oi} - \frac{e^2}{2(r_0 + \Delta r_{oi})} \sin^2(\theta_i - \alpha) - \frac{e^4}{8(r_0 + \Delta r_{oi})^3} \sin^4(\theta_i - \alpha) - \dots \quad 5.$$

По сравнению с выражением (4) «довесок» 2-го и 4-го порядков запишется (6):

$$\delta r_i = \left| \frac{e^2}{2(r_0 + \Delta r_{oi})} \sin^2(\theta_i - \alpha) + \frac{e^4}{8(r_0 + \Delta r_{oi})^3} + \dots \right. \quad 6.$$

Легко видеть, что δr_i связан с двумя частями: с детерминированной частью r_0 и со случайной частью Δr_{oi} . Детерминированная часть является окружностью, построенной по методу наименьших квадратов. Случайная часть связана с профилем измеряемого объекта. Параметры оценки рассчитываются соответственно с помощью модели разложения высокого 2-го и 4-го порядка и традиционной линейной модели измерения на персональном компьютере. В соответствии с приведенными выше математическими выражениями абсолютная погрешность эксцентриситета оцененных параметров, основанных на различных моделях измерений (линейной, квадратической и биквадратной), имеет большое значение. Рис. 6 иллюстрирует абсолютную погрешность эксцентриситета для различных моделей:

На рис. 6 мы можем наблюдать, что оцененные данные более приближены к значению истинности модели высокого порядка, а точность намного выше, чем данные традиционной линейной модели измерения.

Таким образом, теоретический анализ и моделирование показывают, что метод, основанный на модели

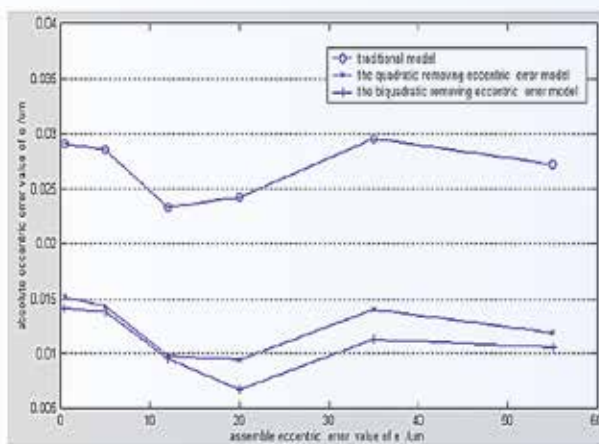


Рис. 6. Абсолютная погрешность эксцентриситета оцениваемых параметров e .

устранения абсолютной погрешности эксцентриситета высокого (2-го и 4-го) порядка, может снизить (с max 30нм до min 5нм) влияние погрешности на точность измерения профиля круглости по сравнению с традиционной линейной моделью измерения, поэтому метод может быть реализован с целью получения более точных измерений профиля круглости по сравнению с линейной моделью.

Техническая реализация повышения точности измерений отклонения от круглости за счет технических и методических усовершенствований средств измерений

Одним из усовершенствованных вариантов инструмента для измерения отклонения от круглости является прибор для измерений отклонения формы и расположения поверхностей вращения Talyrond 73 фирмы Rank Taylor Hobson (Великобритания), использованный в [4,5]. Он претерпел несколько модификаций для повышения точности, согласно описанию [11], имея вращающийся шпиндель с масляно-гидростатическим подшипником. Шпиндель приводится в движение двигателем постоянного тока без редуктора, который полностью лишен вибрации.

Для считывания положения шпинделя, что необходимо для разделения и последующей коррекции погрешности шпинделя, встроен инкрементальный поворотный энкодер.

Весь прибор защищен от пыли и теплового излучения корпусом из оргстекла (рис. 7). Защита от теплового излучения особенно важна для того, чтобы минимизировать тепловой дрейф эталона круглости относительно положения шпинделя во время измерений.



Рис. 7. Прибор Talyrond 73 для измерения отклонения от круглости, защищенный корпусом из оргстекла.

Экспериментальные исследования повышения точности измерений отклонения от круглости с использованием «метода разделения»

Согласно [11] для проведения исследования использовалась керамическая сфера диаметром 30 мм (рис. 7). Она была откалибрована три раза с использованием многоступенчатой процедуры, как описано выше. На рис. 8 показаны результаты трех измерений. Стандартное отклонение различий между измерениями составляет 3,8 нм, максимальная разница составляет 10 нм.

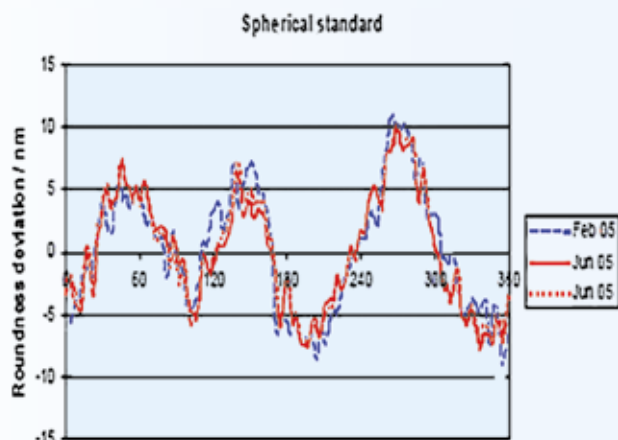


Рис. 8. Профиль керамической сферы, измеренный трижды с помощью многоступенчатой процедуры.

Выводы

Анализ теоретических и экспериментальных исследований в области измерений отклонения от круглости с целью выявления существующего уровня точности выпускаемых производителями коммерческих (рабочих) средств измерений (СИ), существующих прецизионных (метрологических) СИ для калибровки эталонных мер круглости (рабочих эталонов), а также методов и средств повышения точности в этом виде измерений показал следующее.

В наилучших прецизионных СИ отклонения от круглости с традиционной механической системой привода вращения шпинделя высокий уровень случайной составляющей вызывается относительной нежесткостью механической конструкции, не позволяющей выявить и скомпенсировать систематическую погрешность механических элементов конструкции. Поэтому ее вносят в состав неисключенной систематической погрешности (НСП), что обеспечивает расширенную неопределенность измерений порядка не менее 30 нм [4, 5]. Современные коммерческие прецизионные СИ отклонения от круглости нового поколения с компенсацией систематических погрешностей шпинделя путем их калибровки с помощью аттестованной меры отклонения от круглости в любой точке ее круглограммы и измерительного поворотного стола обеспечивают повышение точности СИ отклонения от круглости до уровня расширенной неопределенности порядка 10–15 нм [7]. Применение метода многократного ус-

Таблица 2.

Бюджет неопределенности измерения отклонения от круглости.

Количество	Описание	Стандартная неопределенность
Шум	Шум, выраженный в виде стандартного отклонения в профиле круглости	0,7 нм
Линейность датчика	Нелинейность датчика: <0,1%. Если предположить, что максимальный эксцентриситет артефакта составляет 1 мкм, то видимая ошибка округлости <0,001·1 мкм = 1 нм	0,6 нм
Тепловой дрейф	Тепловой дрейф положения артефакта относительно шпинделя за 1 оборот: < 1 нм, создает максимальное искажение профиля 0,5 нм	0,3 нм
Стабильность погрешности шпинделя	Воспроизводимость или кратковременная стабильность погрешности шпинделя: 0,7 нм, стандартное отклонение	0,7 нм

Неопределенность измерений оптимального варианта технического решения

В таблице 2 обобщены вклады в неопределенность измерения отклонения от круглости, рассмотренные выше.

Расширенная неопределенность измерений составляет ($k = 2$) $U=5$ нм. Следует отметить, что это обеспечивает наилучшие возможности измерения в идеальных условиях и на артефактах с относительно тонкой структурированной поверхностью, таких как керамическая сфера, за счет модернизации высокоточного прибора для измерения круглости с некоторыми модификациями оборудования, такими как электроника усилителя или угловой энкодер, и с помощью нового программного обеспечения.

реднения систематических погрешностей шпинделя в комплексе с компенсацией (или минимизацией) других составляющих погрешностей (температурная погрешность, электронные и механические шумы, применение гидравлических подшипников и др.) позволяет повысить точность до значений неопределенности измерений порядка 5–10 нм [8,25].

В отличие от действующей модели линейного приближения составляющих круглограммы, применение в программном обеспечении при определении базовой окружности по методу наименьших квадратов разложения в ряд Тейлора до квадратичного и биквадратного приближения вносят вклад в повышение точности измерений до уровня расширенной неопределенности порядка 5–10 нм [10].

Таким образом, при выявлении и компенсации систематических погрешностей применение новых элементов механической конструкции СИ, обеспечивающих существенное уменьшения составляющих погрешностей, учет влияния внешних факторов и их минимизация, а также применение в алгоритме программного обеспечения

измерений координат круглограммы - более точного квадратичного или биквадратного приближения базовой поверхности по МНК, в отличие от существующего линейного приближения, могут повысить уровень исходных по точности измерительных и калибровочных возможностей до мирового уровня наиболее развитых стран [7,8,11].

ЛИТЕРАТУРА

1. А. Н. Авдулов *Контроль и оценка круглости деталей машин*. Издательство стандартов. Москва 1974 г.
2. Рекомендации КОOMET: «Положение о сличении национальных эталонов в НМИ» (COOMET R/GM 11:2007).
3. Руководство по оценке неопределенности измерений: ISO – Guide to the Expression of uncertainty in measurement (GUM).
4. COOMET project No 563/RU/12. COOMET L-S17
5. Comparison of the measurement standards of the length unit in the field of roundness deviations measurements. Final report. Moscow, Russia. September 2015.
6. Стандарт ИСО 14253-2 Руководство по оценке неопределенности в области геометрических параметров (перевод).
Дата принятия 20.04.2022
7. *Operators hand book for the Talyrond 73-PC with high precision roundness analysis*. Taylor Hobson. Leicester. England. Publication K505/41.
8. *Error separation*. Presentation Taylor Hodson. Leicester. England.
9. Whitehouse David J. *Handbook of Surface and Nanometrology*. Second Edition. CRC Press – Taylor & Francis Group, Boca Raton. 2010. 975
10. Zhi-min C., Yun W., Jian H., *Roundness deviation evaluation method based on statistical analysis of local least square circles*, Meas. Sci. Technol., 2017, vol. 28, pp. 105017. <https://doi.org/10.1088/1361-6501/aa770f>
11. Ruedi Thalmann. *Basics of highest accuracy roundness measurement/Federal Office of Metrology METAS, Simposio de Metrología, Switzerland, 2006*

ИНФОРМАЦИЯ

БЮЛЛЕТЕНЬ №2 МОЗМ (OIML BULLETIN, NO. 2, APRIL 2022) ПОСВЯЩЕН ИЗМЕРЕНИЯМ, СВЯЗАННЫМ С ТРАНСПОРТОМ

Продолжение. Начало на стр. 25

водители называют их «банкоматами», используемыми государством для получения доходов, но смысл этого, куда важнее, чем кажется. Борясь с одной из основных причин дорожно-транспортных происшествий – превышением скорости, они спасают человеческие жизни. С другой стороны, применение контроля скорости влияет на нашу жизнь в виде больших и часто неприятных штрафов и штрафных баллов. Лишение водительского удостоверения может самым драматическим образом изменить жизнь водителя-правонарушителя или даже жизни его родственников. Поэтому, чтобы обеспечивать точные и достоверные измерения скорости, которые впоследствии могут быть использованы и в суде в качестве неопровержимых доказательств, приборы измерения скорости должны иметь установленные характеристики. Соблюдение скорости должно быть справедливым и уважительным для обеих сторон.

За 30 лет технологии контроля скорости продвинулись далеко вперед, демонстрируя очевидный прогресс. Все чаще в приборах измерения скорости используется программное обеспечение, и они полностью опираются на информационные технологии. К тому же появились несколько новых технологий с применением новых физических принципов, такие как лидары (акроним, означающий «световое обнаружение и определение дальности»/LIDAR – Light Identification, Detection and Ranging), стереокамеры, доплеровские радары слежения, измерители средней скорости и другие.

Поскольку Рекомендация OIML R 91 не пересматривалась, общие требования не учитывались, то страны-участницы вынуждены были самостоятельно вводить в национальные правила свои требования.

Новый проект МОЗМ в рамках ТК 7/ПК 4 был утвержден в 2014 году, но достичь прогресса мешали упомянутые проблемы. За последние 30 лет участвующие в проекте страны имели абсолютно разные и несогласованные взгляды по разным вопросам, например, критерии приемлемости для испытания влияющего фактора, подход к тестированию программного обеспечения, доля полевых испытаний по отношению к имитационным испытаниям. Выполнение объема редактирования, включающего множество разных аспектов, потребовало введения второго организатора проектной группы, а также введения еженедельной ротации организаторов, проведения заседаний по видеосвязи. Например, проблемой было (и остается), как сформулировать требования и процедуры испытаний для измерителей скорости, находящихся в движении, то есть используемые в более сложных условиях, чем измерители скорости в стационарном положении. Или как проводить полевые испытания с большим количеством в поле зрения машин, если в потоке едет патрульная машина. Из этой ситуации важно сделать вывод, как не допустить, чтобы в Рекомендации OIML R 91 были прописаны невыполнимые в реальной жизни требования.

продолжение на стр. 44

**А. Ю. Кузин¹⁾,
В. Н. Яншин¹⁾,
И. С. Родионова²⁾**

1) Федеральное государственное бюджетное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт метрологической службы» (ФГБУ «ВНИИМС»),
Россия, г. Москва
E-mail: kuzin@vniims.ru

2) Общество с ограниченной ответственностью «МетролodgeНет» (ООО «МетролodgeНет»),
Россия, г. Москва.
E-mail: rodionova@metrologynet.ru

УДК 006.91

АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ПОДТВЕРЖДЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВА СРЕДСТВ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ НА ТЕРРИТОРИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

CONFIRMATION ISSUES RELATED TO THE PRODUCTION OF MEASURING EQUIPMENT ON THE TERRITORY OF THE RUSSIAN FEDERATION

Рассмотрены вопросы идентификации средств измерений в рамках постановления Правительства Российской Федерации от 17 июля 2015 г. № 719 «О подтверждении производства промышленной продукции на территории Российской Федерации». Приведены результаты интерактивного опроса 1485 отечественных изготовителей средств измерительной техники.

Ключевые слова: импортозамещение, Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений, утверждение типа средств измерений.

The issues of identification of measuring instruments within the framework of the Decree of the Government of the Russian Federation dated July 17, 2015 No. 719 "On confirmation of the production of industrial products in the territory of the Russian Federation" are considered. The results of the survey of 1.485 domestic manufacturers of measuring instruments are presented.

Keywords: import substitution, the Federal Information Fund on Assurance of Measurement Uniformity, type approval of measuring instruments.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время США, страны Евросоюза и некоторые другие государства ввели санкции против российских предприятий оборонного комплекса и приоритетных отраслей промышленности, включая отечественных разработчиков и изготовителей средств измерений.

Складывающаяся внешнеполитическая ситуация на рынке измерительной техники способствует развитию импортозамещения и принятию действенных мер по удовлетворению спроса крупных целевых потребителей за счет предложений отечественных изготовителей средств измерительной техники. В сложившейся ситуации импортозамещение необходимо для обеспечения национальной безопасности страны.

Росстандарт с 2018 года по предложениям отечественных изготовителей измерительной техники готовит и ежегодно актуализирует Перечень средств измерений отечественного производства, аналогичных средствам измерений импортного производства (далее Перечень), который утверждает Минпромторг России. Перечень предназначен для информирования потребителей о возможностях соответствующей замены импортных средств измерений на отечественные [1].

Данные Федерального информационного фонда по обеспечению единства измерений об утвержденных типах средств измерений

Нормативные правовые акты Российской Федерации, нормативные документы, информационные базы данных, международные документы, международные договоры Российской Федерации в области обеспечения единства измерений, сведения об аттестованных методиках (методах) измерений, единый перечень измерений, относящихся к сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений, сведения о государственных эталонах единиц величин, применяемых в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений, сведения об утвержденных типах стандартных образцов или типах средств измерений, сведения о результатах поверки средств измерений, сведения о результатах мониторинга состояния системы обеспечения единства измерений, прогнозирования измерительных потребностей экономики и общества образуют Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений (далее ФИФ) [2].

В настоящее время в ФИФ внесено 101418 записей, которые включают сведения о 29821 утвержденном типе

средств измерений отечественного производства с действующим утверждением типа и о 19770 утвержденных типах зарубежных средств измерений с действующим утверждением типа. На рис. 1 представлены количественные данные по средствам измерений с действующим утверждением типа по странам.

Сравнительный анализ данных об утвержденных типах средств измерений отечественного и зарубежного производства показывает преобладание отечественных средств измерений в области:

- измерений силы и массы;
- приборного учета воды, газа, электроэнергии и тепла у физических лиц;
- измерений характеристик ионизирующих излучений и ядерных констант.

В то же время номенклатура утвержденных типов импортных средств измерений продолжает доминировать на российском рынке в области измерений геометрических величин, физико-химических измерений, радиотехнических и радиоэлектронных измерений, оптических и оптико-физических измерений, биологических и медицинских измерений.

Процентное соотношение потребностей по видам измерений на продукцию приборостроения для решения задачи импортозамещения представлено на рис. 2.

Идентификация изготовленных на территории Российской Федерации средств измерительной техники

Технические и организационные аспекты импортозамещения требуют основательной проработки вопросов идентификации изготовленных на территории Российской Федерации средств измерительной техники.

Вопросы идентификации отечественной промышленной продукции решаются в рамках постановления Правительства Российской Федерации от 17 июля 2015 г. № 719 «О подтверждении производства промышленной продукции на территории Российской Федерации» (далее – постановление Правительства Российской Федерации № 719) [3].

В соответствии с постановлением Правительства Российской Федерации № 719 на основании акта экспертизы о соответствии производимой промышленной продукции требованиям, предусмотренным приложением к постановлению Правительства Российской Федерации

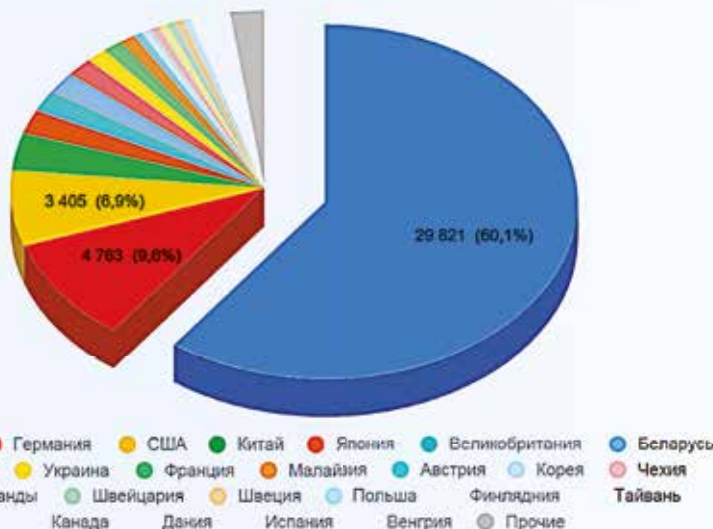


Рис. 1. Средства измерений с действующим утверждением типа по странам



Рис. 2. Распределение потребностей на продукцию приборостроения по видам измерений

№ 719, Минпромторг России выдает заключение о подтверждении производства промышленной продукции на территории Российской Федерации.

Согласно приказа Минпромторга России от 28 августа 2020 г. № 2905 код идентификации производства средств измерений, указываемый в сертификате об утверждении типа средств измерений, обозначается двумя прописными буквами: РФ – для средств измерений, соответствующих критериям подтверждения производства промышленной продукции на территории Российской Федерации в соответствии с постановлением Правительства Российской Федерации № 719, и ОС – для остальных средств измерений.

В настоящее время сертификаты с кодом РФ выданы на 109 типов отечественных средств измерений.

Такое небольшое количество сертификатов обусловлено тем, что в приложении к постановлению Правительства Российской Федерации № 719 практически отсутствуют требования, предъявляемые к средствам измерений для отнесения их к продукции, произведенной на территории Российской Федерации. Кроме того, общероссийский классификатор продукции по видам экономической деятельности (ОКПД 2) содержит только 234 кода на средства измерений,

тогда как однотипных средств измерений несколько тысяч [4].

В приложении к постановлению Правительства Российской Федерации № 719 требования на соответствующие виды промышленной продукции установлены по кодам ОКПД 2 и сформированы по разделам, связанным с видами экономической деятельности. Для средств измерений выделен раздел XXII «Приборы для измерения», который в настоящее время включает только 5 однотипных средств измерений. 25 однотипных средств измерений вошли в другие разделы [5]. В связи с этим у отечественных изготовителей измерительной техники возникает проблема получения заключения Минпромторга России о подтверждении производства средств измерений на территории Российской Федерации, так как на большинство из них в приложении отсутствуют требования.

В рамках поддержки отечественных изготовителей измерительной техники целесообразно средства измерений из всех разделов включить в раздел XXII, а также раздел XXII дополнить требованиями к конкретным группам средств измерений.

Для решения этой задачи была разработана интерактивная опросная анкета для отечественных изготовителей измерительной техники. Анкета включала список существующих кодов ОКПД 2 на средства измерений и перечень операций (условий), применяемых при изготовлении отечественных средств измерений.

Результаты интерактивного опроса 1485 отечественных изготовителей средств измерительной техники

Анализ Федерального информационного фонда по обеспечению единства измерений позволил подготовить перечень отечественных изготовителей измерительной техники, который включил 1485 изготовителей. В результате опроса этих изготовителей было получено 330 полных анкет.

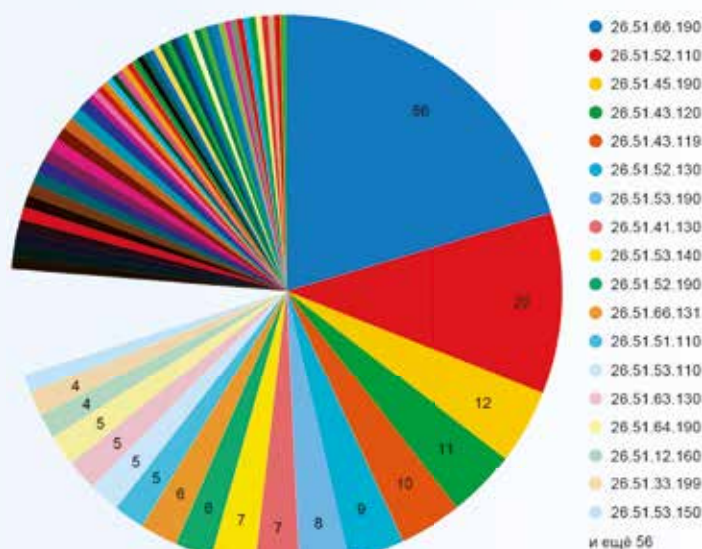


Рис. 3. Коды ОКПД 2, представленные в ответах на анкету



Рис. 4. Распределение однотипных средств измерений по видам измерений

Таблица.

Вид измерений	Количество СИ
01. Измерения геометрических величин	30
02. Измерения механических величин	57
03. Измерения параметров потока, расхода, уровня, объема веществ	55
04. Измерения давления, вакуумные измерения	15
05. Измерения физико-химического состава и свойств веществ	49
06. Теплофизические и температурные измерения	23
07. Измерения времени и частоты	7
08. Измерения электрических и магнитных величин	71
09. Радиотехнические и радиоэлектронные измерения	26
10. Виброакустические измерения	18
11. Оптические и оптико-физические измерения	5
12. Измерения характеристик ионизирующих излучений и ядерных констант	10
13. Биологические и медицинские измерения	7

В полученных ответах на анкету содержались предложения, касающиеся средств измерений по 74 кодам ОКПД 2, распределение которых представлено на рис. 3.

Распределение содержащихся в предложениях однотипных средств измерений по видам измерений представлено в таблице и на рис. 4.

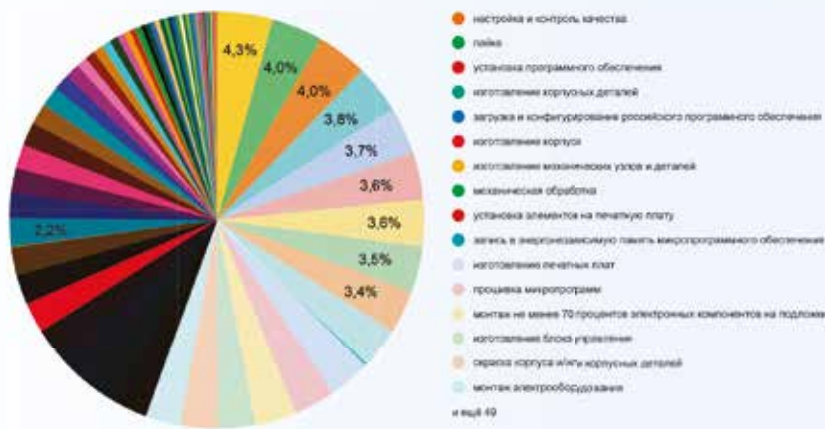


Рис. 5. Суммарное процентное соотношение операций (условий)

В анкету вошли 72 операции (условия), которые могут применяться при изготовлении отечественных средств измерений. При заполнении анкеты изготовители отмечали операции (условия), которые используются при изготовлении производимых ими средств измерений с указанием рейтинга этих операций (условий) от 1 до 5.

Суммарное процентное соотношение операций (условий) для всех однотипных средств измерений представлено на рис. 5.

Как уже выше отмечалось в соответствии с постановлением Правительства Российской Федерации № 719 на основании акта экспертизы о соответствии производимой промышленной продукции требованиям, предусмотренным приложением к постановлению Правительства Российской Федерации № 719, Минпромторг России выдает заключение о подтверждении производства промышленной продукции на территории Российской Федерации.

Приложение к постановлению Правительства Российской Федерации от № 719 устанавливает как конкретные требования к промышленной продукции, так и оценку в баллах конкретных операций (условий) при изготовлении промышленной продукции.

Для продукции, в отношении которой установлены требования о совокупном количестве баллов за выполнение (освоение) на территории Российской Федерации соответствующих операций (условий), акт экспертизы содержит информацию о совокупном количестве баллов за фактическое выполнение на территории Российской Федерации таких операций (условий); для продукции, в отношении которой

установлены требования по достижению процентных показателей совокупного количества баллов за выполнение (освоение) на территории Российской Федерации соответствующих операций (условий) от максимально возможного количества баллов, акт экспертизы содержит информацию о совокупном количестве баллов за фактическое выполнение (освоение) на территории Российской Федерации таких операций (условий), о максимально возможном количестве баллов

и о процентном показателе совокупного количества баллов от максимально возможного количества баллов. Для средств измерений предлагается в разделе XXII приложения к постановлению Правительства Российской Федерации № 719 устанавливать требования по достижению процентных показателей совокупного количества баллов за выполнение (освоение) на территории Российской Федерации соответствующих операций (условий) от максимально возможного количества баллов.

При оценке в баллах конкретных операций (условий) при изготовлении на территории Российской Федерации однотипных средств измерений предлагается использовать предложения отечественных изготовителей, представленные в результатах анкетирования.

Выводы

По результатам обработки анкет подготовлены предложения на 275 однотипных средств измерений по 74 кодам ОКПД 2 для включения их в раздел XXII приложения к постановлению Правительства Российской Федерации № 719 с указанием операций (условий), применяемых при изготовлении средств измерений в баллах, что позволит отечественным изготовителям измерительной техники получать заключение Минпромторга России о подтверждении производства промышленной продукции на территории Российской Федерации на большинство изготавливаемых в настоящее время средств измерений, а также подготовлен справочник кодов ОКПД 2 на однотипные средства измерений.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Федеральный закон от 26 июня 2008 г. № 102 «Об обеспечении единства измерений».*
2. *Яншин В. Н., Круг О. В. Актуальные вопросы импортозамещения средств измерительной техники. Приборы. 2019. № 2.*
3. *Постановление Правительства Российской Федерации от 17 июля 2015 г. № 719 «О подтверждении производства промышленной продукции».*
4. *Общероссийский классификатор продукции по видам экономической деятельности (ОКПД 2).*
5. *Яншин В. Н. Критерии и идентификационные признаки отечественной измерительной техники – барьеры для контрафактной продукции// Главный метролог. 2019. № 1.*

Дата принятия 07.04.2022



**В. Ф. Очков,
К. А. Орлов**

Национальный
исследовательский университет
«МЭИ» (НИУ «МЭИ»)

Россия, г. Москва
E-mail: OchkovVF@mpei.ru

УДК 006.91
КОГДА $p \cdot V = T$
WHEN $p \cdot V = T$

Обсуждается новая технология работы с температурой при компьютерных расчетах в средах физико-математических программ. Затрагиваются фундаментальные вопросы физики, связанные с системами физических величин и единиц их измерения. Температура рассматривается не как основная, а как производная физическая величина.

Ключевые слова: температура, закон идеального газа, универсальная газовая постоянная, второй закон Ньютона, физико-математические компьютерные пакеты.

A new technology dealing with temperature in computer calculations in the environment of physical and mathematical programs is discussed. The fundamental items of physics related to the systems of physical values and units of their measurement are described. Temperature is not considered as a base quantity but rather as a derived physical quantity

Keywords: temperature, ideal gas law, universal gas constant, Newton's second law, physical and mathematical computer packages.

«Ну хорошо, электричество и теплота одно и то же, но возможно ли в уравнении для решения вопроса поставить одну величину вместо другой? Нет. Ну так что же? Связь между всеми силами природы и так чувствуется инстинктом...»

Толстой Л. Н. «Анна Каренина» (стр. 19)

Название статьи вдвойне необычно. Во-первых, оно состоит только из крайне короткой математической формулы (равенства) без какого-либо поясняющего текста, а во-вторых, прописанное уравнение состояния идеального газа (уравнение Клапейрона – Менделеева¹) приведено без традиционной буквы R – без универсальной газовой постоянной (a gas constant).

Представьте себе, что вы открываете учебник физики и видите там такую формулу $m a = k F$ с пояснением, что это математическая запись второго закона Ньютона, где m – это масса (mass), a – ускорение (acceleration), F – сила (force), а k – универсальная силовая постоянная. Вы, конечно, бы удивились

и сказали, что в этой формуле не должно быть никакой константы k . Но вам бы возразили в том плане, что постоянная k служит для того, чтобы перевести силу, выраженную в килограммах-силы в ньютон. И пояснили, что люди уже давно привыкли выражать силу в килограммах-силы, а не в каких-то там непонятных ньютонках. Поэтому-то в этой формуле и стоит величина k , которая называется универсальной силовой постоянной (a force constant). Силу можно выражать и в других расхожих единицах – в динах, в фунтах-силы и проч. Но их все нужно сначала перевести в килограммы-силы, а уже потом вставлять полученную величину в формулу второго закона Ньютона $m a = k F$.

¹ Или Менделеева — Клапейрона. Авторство этой основной формулы классической термодинамики окончательно не установлено. Во многих странах Запада тут Менделеева не упоминают. Такая же примерно история случилась и с периодической таблицей химических элементов, которая является именной только в России (таблица Менделеева). До Менделеева уравнение идеального газа было свое для каждого конкретного газа. Менделеев объединил их, введя в уравнение еще одну величину – молярную массу газа. Немцы в вопросе о уравнении идеального газа вспоминают своего Клаузиуса (Rudolf Julius Emanuel Clausius; 1822 — 1888). В этом деле много конъюнктуры и политики. Как, впрочем, и в международной системе физических величин, которая будет затронута в статье.

«Предшественниками» уравнения идеального газа были законы Гей-Люссак и Бойля-Мариотта. Учительница физики автора статьи повторяла своим ученикам: «Дети, запомните! Гей-Люссак (Joseph Louis Gay-Lussac; 1778 — 1850) – это один человек, а Бойль-Мариотт – это два отдельных человека (Robert Boyle; 1627 — 1691 и Edme Mariotte; 1620 — 1684)». «И «гей» – это не особенность человека, а часть его фамилии!».


Рис. 1. Схема задачи о накачке колеса велосипеда

Но если мы откроем учебник по классической термодинамике – одному из разделов физики, то мы наяву увидим уже упомянутую подобную «обремененную» константой формулу $p \nu = R T$ с пояснением того, что p – это давление (pressure), ν – удельный молярный объем (volume), T – температура (temperature), а R – универсальная газовая постоянная, служащая для перевода килограммов-силы, пардон, градусов Кельвина, еще раз пардон, кельвинов в... правильные единицы температуры. В какие? Читаем статью дальше. Часто в этой формуле можно увидеть и еще одну переменную n с пояснением того, что это молярная масса идеального газа.

Давайте для объяснения такого необычного названия статьи мы пока не будем вдаваться в физическую суть понятия температуры, а решим на компьютере несложную задачу из области термодинамики идеальных газов.

Задача. Нужно накачать колесо велосипеда. Спрашивается, сколько качков поршневым насосом нужно сделать, чтобы поднять давление в шине от одной до пяти атмосфер. На рис. 1 показана схема задачи, а на рис. 2 ее решение в среде модернизированной авторами (подчеркиваем!) программы Mathcad.

В задаче три допущения.

1. Камера велосипеда – это тор, который не меняет свой объем при накачивании: покрышка достаточно жесткая – процесс в камере изохорный.
2. Температура воздуха в камере и насосе почти не меняется. Воздух за счет теплообмена с окружающей средой успевает при каждом качке насоса охладиться до температуры, близкой к температуре окружающей среды (процесс почти изотермический). Для этого необходимо накачивать колесо велосипеда медленно, плавно.
3. Нет утечки воздуха из насоса.

На рис. 2 показан протокол решения задачи методом последовательных приближений, методом «научного тыка». Задается число качков насоса n , которое корректируется в зависимости от рассчитанного значения давления в шине p_n .

В начале расчета задаются геометрические размеры шины велосипеда и велосипедного насоса. Шина, как уже сказано, – это тор с малым радиусом r и большим радиусом R , а насос – это цилиндр с диаметром d и с высотой H (ход поршня насоса). Введенные значения r , R , d и H позволяют рассчитать объемы этих геометрических тел (6.477 литра и 283 миллилитра²). Сразу подчеркнем особо, что пакет Mathcad работает с единицами физических величин, что делает расчеты комфортными, исключает пересчеты и многие возможные ошибки в них, позволяет навскидку подбирать правильные формулы для расчетов [1]. Далее в расчет вводятся давление p_0 и температура T_0 окружающей среды. Давление вводится в атмосферах физических (1 atm = 760 мм ртутного столба), которые сразу пере-

$$r := 50 \text{ cm} \quad R := 55 \text{ cm}$$

$$V_o := \frac{1}{4} \pi^2 \cdot (R+r) \cdot (R-r)^2 = 6.477 \text{ L}$$

$$p_0 := 1 \text{ atm} = (1.013 \cdot 10^5) \text{ Pa} \quad T_0 := 18 \text{ }^\circ\text{C} = (2.421 \cdot 10^3) \frac{\text{J}}{\text{mol}}$$

$$p_0 \cdot \frac{V_o}{x_0} = T_0 \quad x_o := p_0 \cdot \frac{V_o}{T_0} = 0.271 \text{ mol}$$

$$H := 40 \text{ cm} \quad d := 3 \text{ cm} \quad V_{\text{pump}} := \pi \cdot \frac{d^2}{4} \cdot H = 283 \text{ mL}$$

$$p_0 \cdot \frac{V_{\text{pump}}}{x_{\text{pump}}} = R \cdot T_0 \quad x_{\text{pump}} := p_0 \cdot \frac{V_{\text{pump}}}{T_0} = 0.012 \text{ mol}$$

$$n := 88 \quad \Delta T := 10 \text{ }^\circ\text{C} = 83.145 \frac{\text{J}}{\text{mole}}$$

$$p_n \cdot \frac{V_o}{x_o + n \cdot x_{\text{pump}}} = T_0 + \Delta T \quad p_n := \frac{T_0 + \Delta T}{\frac{V_o}{x_o + n \cdot x_{\text{pump}}}} = 5.008 \text{ atm}$$
Рис. 2. Расчет процесса накачивания колеса велосипеда

² Округление ведется при выводе ответа на печать с ручной заменой единиц физических величин. В недрах же компьютера эти значения хранятся в метрах кубических (основная единица объема в SI, на которую по умолчанию ориентирован пакет Mathcad) и с максимальной точностью в 15 значащих цифр.



водятся в паскали (основная единица давления в SI, на которую по умолчанию ориентирован пакет Mathcad). А вот работа с температурой («гвоздь» статьи) ведется по-новому. Введенное значение переменной T_0 (18 градусов по шкале Цельсия) сначала переводится на шкалу Кельвина (абсолютная термодинамическая температура $18 + 273.15 = 291.15$ – это делает и обычный Mathcad), а затем эту величину авторский Mathcad умножает на уже упомянутую универсальную газовую постоянную $R = 8.314 \text{ J/mol/K}$. Результат (2421 J/mol) и выводится на печать по умолчанию, но пользователь вправе заменить эту единицу температуры на более привычные кельвины, градусы Ренкина, градусы Фаренгейта...

Универсальная газовая постоянная R потеряла свой статус физической константы и переместилась из уравнения состояния идеального газа в инструмент ввода в расчет температуры. Теперь это не физическая константа, а просто переводной коэффициент работы с единицами температуры. Но это не только некий чисто компьютерный прием – это восстановление физической справедливости, если так можно выразиться. Об этом будет сказано ниже.

После ввода исходных данных рассчитывается начальное количество воздуха в камере велосипедного колеса x_0 в молях³. Далее предполагается, что температура воздуха в процессе его сжатия повысится на десять градусов Цельсия (на десять кельвинов). Величина ΔT выводится для контроля на печать с правильной единицей температуры – джоуль, деленный на моль. После этого через наше «правильное» уравнение идеального газа ($pV = T$, а не $pV = RT$) рассчитывается давление в камере колеса велосипеда после 88 качков насоса: температура по нашему допущению повысилась на десять градусов Цельсия, но объем камеры велосипеда не изменился – изменился удельный молярный объем, деленный на количество воздуха (в молях). И нигде в расчетах не видно величины R – универсальной газовой постоянной. Вскользь отметим, что это и ускоряет расчеты – величина R незаметно используется только один раз при вводе значения температуры для перевода кельвинов в джоули, деленные на моль. Отметим и такой нюанс – переменная R у нас освободилась для хранения радиуса колеса велосипеда⁴.

Но вернемся к физике задачи.

В физике температура определяется средней кинетической энергией хаотического движения молекул,

приходящейся на одну степень свободы системы, грубо говоря, на одну молекулу. Теорема о равномерном распределении говорит, что эта средняя кинетическая энергия молекул будет совершенно одинакова для любых молекул с одинаковым числом степеней свободы, даже если они будут иметь разные массы. Так что у кипящей воды и ее пара эти средние энергии одинаковы. И этот результат справедлив в общем случае, а не только для идеальных газов. Все эти результаты получены в рамках статистической механики. В термодинамике, конкретнее, в технической термодинамике эти результаты получить нельзя. Термодинамика не знает ни молекул, ни атомов. Она является феноменологической теорией, работающей со сплошными средами.

В физике плазмы, в физике элементарных частиц, например, где все намного проще и все намного сложнее и нет явных фазовых переходов первого рода, температуру часто измеряют электронвольтами (одна из единиц энергии), подразумевая при этом, что количество вещества – это безразмерная величина. Пакет Mathcad, повторяем, по умолчанию работает с SI, где семь основных единиц измерения⁵, включая и температуру (кельвин – kelvin⁶), и количество вещества (моль – mole). Но до сих пор многие физики при расчетах предпочитают работать с «беззаконной» системой CGS (СГС – сантиметр-грамм-секунда), где только три базовые, основополагающие, понятные всем величины (пространство, масса и время) и где температура и количество вещества находятся на неких «птичьих правах». Система CGS, на которую можно перейти в среде Mathcad, – это по своей сути не «чистокровная» система CGS, а некий компромиссный гибрид, некий метис систем SI и CGS.

Исторически сложилось так, что сначала в физике появилось эмпирическое понятие температуры с разными именными градусами и шкалами (Фаренгейт – 1724 г., Реомюр – 1730 г., Цельсий – 1742 г. и др.), а только значительно позже, спустя целый век (1834–1874, Максвелл, Больцман, Клапейрон, Клаузиус, Менделеев и др.) было выведено теоретическое уравнение состояния идеального газа с температурой, которое и пришлось подгонять под «градусы». Вот здесь и таится загадка о том, почему температура стала не просто отдельной физической величиной, а именно основной физической величиной в SI. А она должна быть производной величиной, что мы и пытаемся показать в этой статье.

³ Мы никогда не говорим так: масса чего-то там в килограммах, а просто говорим масса. Но в случае с количеством вещества приходится уточнять, что данная величина задается именно в молях. Иначе выражение «количество воздуха» можно неверно трактовать как масса воздуха или объем воздуха.

⁴ В среде Mathcad Prime (современная версия Mathcad), стало возможным иметь в расчетах одноименные разные переменные, отличающиеся друг от друга стилем. Так переменная R зарезервирована для хранения и универсальной газовой постоянной, и градусов Ренкина. Внешне они по умолчанию отличаются цветом – константа зеленая, а единица физической величины – синяя.

⁵ Нужно говорить и писать не единицы измерения, а единицы физических величин. Но есть и экономические величины (рубли, доллары, евро...), величины измерения информации (биты, байты...). Как тут быть?

⁶ Заметим, что для ученого высшей оценкой его заслуг будет то, что его фамилию напишут строчной (маленькой), а не прописной (заглавной, большой) буквой: Не Кельвин (Томпсон, 1824–1907), а кельвин. В статье, например, был упомянут и Блез Паскаль (1623–1662), давший имя производной единице давления. Можно продолжить: вольт, ампер, кулон, стокс... – целая вереница основных и производных единиц измерения, названных в честь знаменитых ученых. Крайне почетно также если фамилию сократят до одной-двух букв: не Кельвин, а К, не Паскаль, а Ра.

Об этом свидетельствует и тот факт, что до 1968 года кельвин официально именовался градусом Кельвина. А градусы в те времена повсеместно изгонялись из метрологии [3] и переводились в разряд вспомогательных величин. Вспомним угловые градусы, градусы твердости, градусы Энглера (вязкость жидкости, о которой мы скажем ниже), градусы жесткости воды, алкогольные градусы и др. Да, градус Кельвина переименовали в кельвин. Но это похоже на то, как в «метрологическом доме» не провели капитальную уборку, а просто замели мусор под ковер. Кстати, градус Ренкина (заокеанский аналог градуса Кельвина, кельвина) так и остался градусом Ренкина: ренкинов (единиц температуры) в метрологии нет и не предвидится. И еще про градусы температуры. Теплотехники говорят – в котле 200 градусов Цельсия. Но градус Цельсия равен градусу Кельвина (кельвину), а градус Фаренгейта равен градусу Ренкина. Следовательно, в котле 200 кельвинов (???) . Мы к такой условности, к такому умолчанию привыкли. Но по-хорошему следует педантично (занудно) говорить, что в котле 200 градусов по шкале Цельсия (см. также сноску 8 про микрограммы).

При ручных расчетах и при расчетах в программных средах без инструментария работы с физическими величинами (электронные таблицы, языки программирования) можно использовать старое уравнение идеального газа с четырьмя переменными – с тремя термодинамическими величинами (давление-объем-температура) и одной константы – универсальной газовой постоянной. Переход же к расчетам в средах современных физико-математических программ с инструментами работы с физическими величинами (Mathcad, Maple, Mathematica, SMath и др.) позволяет вернуть в расчеты некое подобие истинной термодинамики и изгнать окончательно из расчетов градусы Кельвина (кельвины) не только формально («заметание мусора под ковер»), но и по существу. Пользователи же физико-математических пакетов вправе работать с любыми единицами температуры – с привычными, но неправильными градусами или с правильными, но непривычными джоулями, деленными на моль (см. Рис. 2). Или просто с джоулями – см. название статьи, где прописана прописная (пardon, за тавтологию) буква V (объем), а не строчная буква v (удельный молярный объем). Джоуль, напомним, первым нашел эквивалент между механической (электрической – см. эпиграф статьи) работой и тепловой энергией. Этот факт даже зафиксирован на надгробной доске Джоуля в Вестминстерском аббатстве⁷.

В системе единиц физических величин SI, открывенно говоря, царит полный произвол. Про незаслу-

женно возведенный в степень основной единицы кельвин мы уже написали. Основная единица массы оказалась с кратным множителем кило⁸. Моли – это просто штуки, такие, как «десяток», «дюжина», «сотня». Вылезла какая-то непонятная эмпирическая кандела, но остались за бортом единицы стоимости, количества информации... Единицы времени так и остались десятичными. Малоизвестных, почти забытых физиков «наградили» именными единицами измерения, а заслуженных корифеев обошли. И т.д. и т.п. Ровно семь основных физических величин (пространство, масса, время, сила тока, количество вещества, сила света и наша температура) – это не какая-то «физическая сущность» мироздания, а скорее – мистика, магия цифр: семь цветов спектра, семь нот звукоряда, семь дней недели, семь гномов, семь богатырей, семь чудес света, семь древних мудрецов, семь рисунков и семь библиографических ссылок в этой статье и т.д. В этот ряд разработчики SI приписали и *семь* основных физических величин.

«Полный произвол» – это, конечно, авторы погорячились. Исправимся и скажем, что система единиц физических величин SI компромиссна и крайне несовершенна. Но несовершенен и наш мир.

Если говорить не об идеальном газе, а о реальных веществах – газах и жидкостях, то для описания их свойств можно вернуть четвертую переменную в уравнения состояния: не $p v = T$, а $p v = k T$, где переменная k зависит от давления и температуры и меняется от единицы (идеальный газ) до почти нуля (несжимаемая жидкость). Обратную величину от k называют коэффициентом (фактором) сжимаемости. В этом смысле коэффициент k можно назвать коэффициентом (фактором) «расширяемости». На каких-то участках коэффициент k меняется скачком, что связано с фазовыми переходами первого рода (кипение-конденсация, возгонка-сублимация, плавление-кристаллизация).

На Рис. 3 контурным графиком (линиями одного уровня) отображена зависимость переменной k для воды и водяного пара от давления и температуры. График построен в среде Mathcad с использованием авторской сертифицированной программы WaterSteamPro® (www.wsp.ru), которая базируется на формуляциях Международной ассоциации по свойствам воды и водяного пара (www.iapws.ru), в которой работают авторы этой статьи. Расцветка графика сделана по схеме радуги: красный цвет – это значения коэффициента k , близкие к единице (идеальный газ – водяной пар с низким давлением и высокой температурой), фиолетовый цвет – это значения коэффициента k , близкие к нулю (вода с низкой температурой под низким давлением).

⁷ В калории (тепло) примерно 4,19 джоуля (работа – ньютон, умноженный на метр). Авторы предлагают 19 апреля каждого года праздновать День теплотехника. По образцу Дня математика 1 апреля и Дня числа π , какой отмечают 14 марта (т.е. 3.14) в 1 час 59 мин 26 с.

⁸ Единица массы мкг – это что? Микрограмм (мк-г) или милликилограмм (м-кг), то есть просто грамм? Килограмм отвязали от платинового эталонного цилиндра и привязали к постоянной Планка. Это похоже на шутивную запись «Килограмм – см. статью «Килограмм». Постоянную Планка сначала привязали к килограмму, а потом килограмм привязали к постоянной Планка. Такой же курьез случился и с градусом Кельвина. Постоянную Больцмана сначала привязали к кельвину, а потом кельвин привязали к постоянной Больцмана.

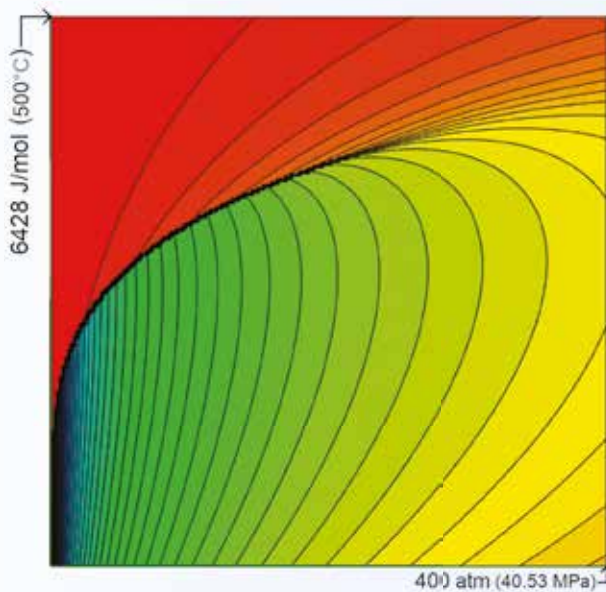


Рис. 3. «Расширяемость» воды и водяного пара в зависимости от давления и температуры

В середине рис. 3 линии одного уровня сливаются в одну, образуя так называемую линию насыщения воды и водяного пара, простирающуюся от тройной точки, где одновременно присутствуют лед, вода и водяной пар, до критической точки, где вода перестает качественно отличаться от водяного пара. Но правильнее нужно говорить не кривая насыщения, а поверхность насыщения и не тройная точка, а тройная линия. Если контурный график на Рис. 3 преобразовать в поверхность, добавив третью координату – удельный объем или плотность, то мы получим так называемую термодинамическую поверхность воды и водяного пара, где будут четко видны и поверхность насыщения, и линия тройной точки. С этой поверхностью можно поработать в среде авторского он-лайн расчета [4, 6, 7] по адресу <http://tw.t.mpei.ac.ru/MCS/Worksheets/WSP/VTPs.xmcd>. Там можно изменить давление и температуру, построить на поверхности изобару и изохору, а также узнать, чему равен удельный объем воды или водяного пара в точке их пересечения.

Если идти направо от левого верхнего угла диаграммы на рис. 3 по горизонтальной прямой-изомерме до правого угла, затем опускаться вниз до нижнего угла по прямой-изобаре, а потом перейти в левый нижний угол, то значения параметра f изменятся так: 1, 0.625, 0.315 и... два значения: единица для воды и нуль для водяного пара на концах тройной линии.

Значение коэффициента k зависит не только от давления и температуры, но и от других факторов. Если, например, в до-

критической области изохорно поднимать температуру, то значение k при пересечении линии насыщения может возрасти не ступенькой, а неким пологим «пандусом». Это явление связано с перегревом насыщенной воды. Если идти вниз и изохорно уменьшать температуру перегретого пара, то может наблюдаться процесс переохладения водяного пара. И все это, как в случае с велосипедным насосом, определяется скоростью охлаждения или нагрева. Если все делать достаточно плавно, то нестабильных термодинамических проблем не будет.

Пакет программ WaterSteamPro® позволяет рассчитывать теплофизические свойства не только воды и водяного пара, но и газов. Есть укороченная облачная версия этого пакета [5–7], работа которой в среде Mathcad 15 показана на Рис. 4.

В Mathcad-расчете на рис. 4 делается ссылка (Reference) на Mathcad-файл с именем gas.xmcd, хранящийся в «облаке» по адресу <http://tw.t.mpei.ru/tthb>. После такой ссылки в рабочем документе, показанном на рис. 4, становятся видимыми функции, созданные в документе с именем gas.xmcd. В частности, будет доступна функция с именем wspgSGSPT, которая возвращает значение удельной массовой энтропии газа со спецификацией Gas (у нас это воздух, смесь азота с кислородом) при атмосферном давлении и нормальной температуре 18°C. Если воздух сжимать идеально «плавно», адиабатно, то его энтропия не будет изменяться при сжатии. Вторая функция пакета WaterSteamPro®, функция с именем wspgTGSPS, вернула нам температуру идеально сжатого воздуха при давлении пять атмосфер: 2420,8 J/mol или 186,7°C. Если же будут десятипроцентные потери на трение, то температура будет выше: 4087 J/mol или 218,4°C.

Мы тут упомянули энтропию, вернее, удельную массовую энтропию с единицей J/kg·K. Но это единица физической величины, которую подправил сам

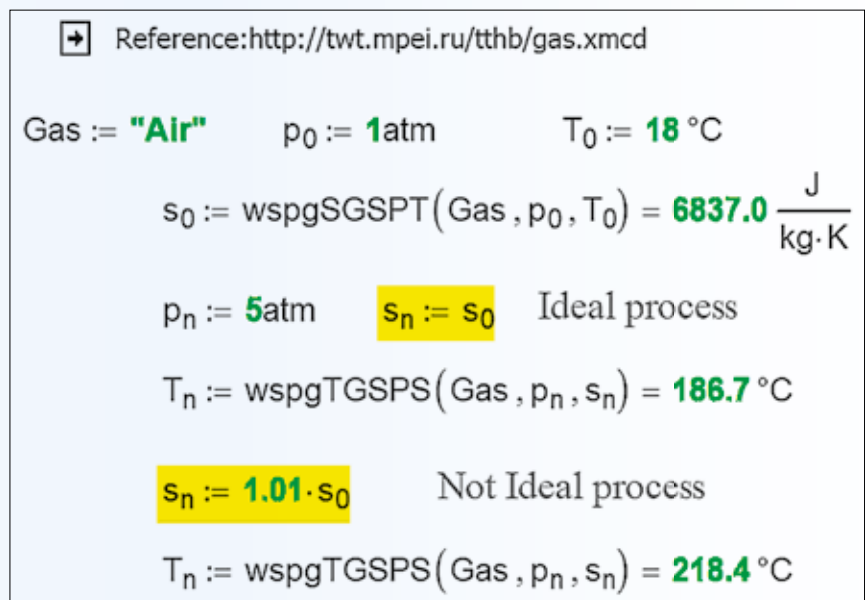


Рис. 4. Расчет процесса сжатия воздуха в камере велосипеда

пользователь пакета – см. вторую строку на Рис. 4. По умолчанию, связанному с тем, что температура измеряется не в кельвинах, а в джоулях, деленных на моли, была выведена единица mol/kg, которую пользователь заменил на традиционные джоули, деленные на килограмм и на кельвин.

Кстати, постоянная Больцмана в авторском модернизированном Mathcad имеет единицу измерения моль вместо старого всем знакомого джоуля, деленного на кельвин. А если принять, что моли – это некие безразмерные штуки, то постоянная Больцмана оказывается совсем безразмерной величиной. Вернее, величиной с размерностью 1 (единица).

Можно также отметить, что формула $ma = kF$, о которой было рассказано в самом начале статьи, не такая уж «странная». Буква k делает эту формулу пригодной и для неклассической (эйнштейновской) механики, где значение k будет зависеть от скорости материальной точки и других параметров. Если скорость низкая, то k равно единице (второй закон Ньютона). Если же скорость приближается к скорости света, то... Кстати, в знаменитую формулу $E = mc^2$ тоже можно вставить некий коэффициент, учитывающий нелинейность нашего мироздания.

И еще.

Задача о накачивании велосипедного колеса (рис. 1 и 2) связана скорее с тепломассообменом, а не с термодинамикой⁹. Ведь чтобы ее решить, нужно более-менее точно рассчитать потери тепла в насосе и в камере колеса. А для этого нужно как минимум знать не только теплопроводность алюминия, резины и воздуха, но и вязкость воздуха, который и закачивается в камеру велосипеда, и служит для наружного охлаждения насоса и колеса. На рис. 5 показано, как в среде Mathcad вводится значение вязкости воздуха μ_{Air} в рекомендованных SI единицах – паскалях (микроджоули), умноженные на секунды. Затем это значение тут же выводится «на печать» с упрощенной до предела единицей kg/m/s. Затем значение μ_{Air} выводится еще раз с трехуровневой, правильной с точки зрения физики, единицей вязкости.

$$\begin{aligned} \mu Pa &:= 10^{-6} Pa && \text{User pressure unit} \\ \mu_{Air} &:= 18 \mu Pa \cdot s = (1.8 \cdot 10^{-5}) \frac{kg}{m \cdot s} \\ \mu_{Air} &= 18 \frac{N \cdot \mu m}{m \cdot m^2 \cdot s} \end{aligned}$$

Рис. 5. Метаморфозы единицы вязкости

Французский математик и физик, но, скорее, литератор и философ Блез Паскаль (1623—1662) вязкостью не занимался. Ей посвятил свои исследования великий математик и физик Исаак Ньютон (1642–1727). Есть

даже понятие «ньютоновская жидкость». У физиков есть такая байка: «– В честь кого названа единица вязкости? – В честь Паскаля! – Это тот, кто вязкостью занимался? – Нет, ею занимался Ньютон! – А почему тогда единица вязкости названа в честь Паскаля? – А потому, что так решили разработчики SI». На рис. 5 в единицу вязкости вернули незаслуженно обиженного Ньютона (N), а также единицы длины (m), скорости (m/s) и площади (m²). Такая сложная единица измерения получилась потому, что сила вязкого трения (N), действующая на ньютоновскую жидкость или газ, пропорциональна скорости относительного движения тел (m/s) и площади движущихся плоскостей (m²) и обратно пропорциональна расстоянию между плоскостями (m). В ручных расчетах, конечно, никто не будет использовать такую «трехэтажную» единицу вязкости, но в компьютерных расчетах она будет смотреться вполне естественно. Тем более для образовательных и самообразовательных целей. Но можно просто оставить то, что автоматически возвращает пакет Mathcad – упрощенное до предела выражение kg/m/s. Как говорится – ни нашим, ни вашим. А паскалями пусть измеряют давление. Что, кстати и неудобно – приходится часто использовать множители кило, мега и даже гига или полуправильные единицы – атмосферы физические как в задаче о велосипедном колесе (рис. 2 и 4). В примере на рис. 5 использовалась совсем уж нереальная единица давления микроджоуль как множитель в единице вязкости. Если взять две пластины площадью один квадратный метр каждая, сделать зазор между ними, равным одному микрону, поместить в зазор воздух и перемещать пластины со скоростью один метр в секунду, то нужно будет приложить силу, равную 18 ньютонам.

Кстати, о единицах удельных теплоемкости, внутренней энергии, энтальпии, энтропии. Во всех справочниках там присутствуют килоджоули, деленные на килограммы, которые пакет Mathcad упорно сокращает до квадратных метров, деленных на квадратные секунды (m²/s²). А это, как в случае с вязкостью, напрочь лишает ответ какого-либо физического смысла. Приходится возвращать привычные и «физические» килоджоули, деленные на килограмм kJ/kg. Но и тут приходится удивляться – а почему бы не писать и говорить проще – джоули, деленные на грамм (J/g), сократив балластные кило.

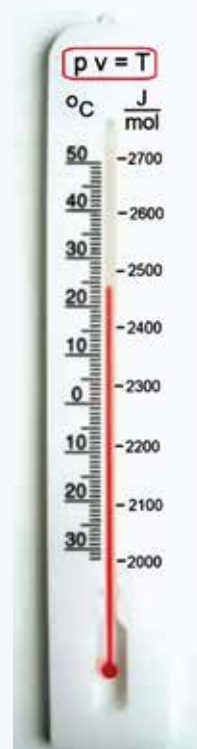


Рис. 6. Уличный термометр с двумя шкалами: с привычной и правильной

⁹ Эти две научные дисциплины объединены под «шапкой» теоретические основы теплотехники. И тут не порядок! Давно уже ведутся споры о том, что термодинамику нужно называть термостатикой, а тепломассообмен – термодинамикой. И хорошо бы по примеру механики выделить из них еще одну дисциплину – *термокинетику*. Бог любит троицу!



Послесловие.

Представьте себе, что вы выглядываете из дому на улицу, и замечаете на наружной стороне окна такой «идеальный» уличный термометр – рис. 6.

В США много подобных термометров с одной (левой) шкалой для «аборигенов», привыкших к шкале Фаренгейта, и с другой (правой) – для приезжих со Старого Света, воспринимающих только градусы

Цельсия. Наш же термометр на Рис. 6 предназначен для неких «температурных ортодоксов», к коим в какой-то мере относят себя и авторы. Они работают только с правильными единицами температуры, но допускают и вспомогательные. Это могут быть или градусы Цельсия (рис. 6) или градусы Фаренгейта для Нового Света. Градусы Кельвина (кельвины) здесь практически никому не нужны.

ЛИТЕРАТУРА

1. Очков В. Ф. *Физические и экономические величины в Mathcad и Maple*. М.: Финансы и статистика. 2002 (http://www.twt.mpei.ac.ru/ochkov/Units/Forword_book.htm)
2. *Теплотехнические расчеты на компьютере* / Александров А. А., Аунг Ту Ра Тун, Горяев А. Б. [и др.] – М.: Издательство МЭИ, 2019. – 447 с.: цв. ил. (<http://twt.mpei.ac.ru/ochkov/Therm-Studies.pdf>)
3. В. Ф. Очков, К. А. Орлов. *Градусы в физических величинах компьютерных вычислений // Мир измерений*. № 3 – 4, 2020 (<http://www.twt.mpei.ac.ru/ochkov/Degrees.pdf>)
4. Александров А. А. *Теплофизические свойства рабочих веществ теплоэнергетики* / А. А. Александров, К. А. Орлов, В. Ф. Очков. – 2-е изд., перераб. и допол. – М.: Издательский дом МЭИ. 2017. – 226 [8] с.: ил. (<http://www.twt.mpei.ru/rbtp>)
5. Очков В. Ф., Орлов К. А., Чжо Ко Ко. «Облачные» функции и шаблоны инженерных расчетов для АЭС // *Теплоэнергетика*. № 10. 2014 г. С. 68–72 (<http://www.twt.mpei.ac.ru/ochkov/Thermal-Eng-10-2014-rus.pdf> и <http://www.twt.mpei.ac.ru/ochkov/Thermal-Eng-10-2014.pdf>)
6. Valery Ochkov, Konstantin Orlov, Volodymyr Voloshchuk. *Thermal Engineering Studies with Excel, Mathcad and Internet*. Springer, 2016 (<https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-319-26674-9>)
7. *Инженерные расчеты*. Книга-билингва: учебное пособие для вузов / В. Ф. Очков, К. А. Орлов, А. И. Тихонов [и др.]. – 2-е изд., стер. – Санкт-Петербург: Лань, 2022

Дата принятия 26.03.2022

ИНФОРМАЦИЯ

БЮЛЛЕТЕНЬ № 2 МОЗМ (OIML BULLETIN, NO. 2, APRIL 2022) ПОСВЯЩЕН ИЗМЕРЕНИЯМ, СВЯЗАННЫМ С ТРАНСПОРТОМ

Продолжение со стр. 33. Начало на стр. 25

Особое внимание при пересмотре документа уделялось проверке всех производных требований для всех новейших технологий. С этой целью организаторы проектной группы общались с рядом производителей, предоставивших информацию о новейших технологиях, применяемых в области обеспечения контроля скорости. Обе части 1 и 2 OIML R 91 были протестированы на таких типах измерителей скорости как: 77 ГГц на основе доплеровской RADAR технологии, самонастраивающиеся измерители средней скорости с возможностью использования их как переносные, измерители для проверки скорости, установленные на движущейся патрульной машине, новые концепции сканирования с помощью LiDAR. Некоторые требования в Рекомендации OIML R 91 были частично обновлены, другие полностью пересмотрены, а от некоторых, по причине отсутствия опыта в этой области, пришлось пока отказаться. Сегодня к основным обсуждаемым вопросам относятся следующие: уровень детализации описания процедуры испытания для тестирования влияющих факторов; симметричная и асимметричная обработка предельно допускаемых погрешностей измерений скорости в стационарном режиме и в режиме движения; доля и пределы погрешности имитационных испытаний; различные взгляды на измерение скорости на движущихся патрульных машинах и их тестирование.

Решению этих ключевых вопросов должно помочь проведение двух опросов, по результатам которых бу-

дут приняты соответствующие требования и решения. К маю 2022 года Проектная группа планировала подготовить четвертую версию рабочего проекта (4 WD), а затем перейти к основной стадии разработки первой версии проекта комитета (1 CD).

В другой статье описывается, как проводилось сличение эталонных приборов для измерения скорости транспортного средства с малой погрешностью, в котором участвовали три национальных метрологических институтов, а в следующей статье сравниваются измерения скорости с использованием эталонного измерителя скорости с пьезоэлементом (METAS) и измерителем с GPS-датчиком скорости, установленном на транспортном средстве.

Помимо превышения скорости другим хорошо известным ключевым фактором риска для безопасности дорожного движения является вождение в нетрезвом виде. Во многих странах имеется законодательство о вождении в нетрезвом виде. И в этой связи исключительно важную роль для эффективной работы правоохранительных органов играют точные анализаторы содержания алкоголя в выдыхаемом воздухе. В одной из статей этого выпуска рассматриваются изменения, внесенные в пересмотренную течение 8 лет и изданную в 2021 году Международную рекомендацию OIML R 126 «Анализаторы выдыхаемого воздуха», а также руководящие указания по ее включению в национальное законодательство.

продолжение на стр. 47

**Л. С. Бабаджанов,
М. Л. Бабаджанова,
Т. А. Корюшкина**

Федеральное государственное
бюджетное учреждение
«Всероссийский Научно-
Исследовательский Институт
Метрологической Службы»
(ФГБУ «ВНИИМС»),

Россия, г. Москва
E-mail: leon@vniims.ru

УДК 006.91

ПОВЕРКА СРЕДСТВ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ

THE VERIFICATION OF NON-DESTRUCTIVE MEASURING GAUGES

В статье рассмотрено состояние поверки средств неразрушающего контроля с применением специального эталонного комплекса ФГБУ «ВНИИМС». Приведены результаты поверки различных средств измерений в 2019–2021 годы.

Ключевые слова: дефект, измерение, поверка.

Using a special VNIIMS reference complex the state of verification of non-destructive measuring gauges is analyzed. The results of the verification of various measuring instruments which underwent verification in 2019 – 2021 are presented.

Keywords: flaw, measurement, verification.

При неразрушающем контроле (НК) материалов и изделий используются разнообразные методы и средства измерений [1, 2]. Для обеспечения точности НК в ФГБУ «ВНИИМС» проводятся работы по поверке и калибровке средств измерений (СИ) в области измерений геометрических размеров методами НК, охватывающими следующие объекты измерений: толщина покрытий, геометрические параметры поверхностных дефектов (ширина, глубина, длина), толщина листовых материалов. Результаты такой деятельности представлены в публикациях [1–5] и др.

С целью оптимизации состава средств поверки в ФГБУ «ВНИИМС» разработан эталонный комплекс (ЭК) [6], включающий в себя СИ, основанные на различных принципах действия (профилографический, оптический, механический). СИ, входящие в состав ЭК, применяются как для поверки мер толщины покрытий (МТП) и мер толщины материалов (МТМ), так и для поверки мер поверхностных дефектов (МПД).

В таблице 1 показаны диапазоны значений воспроизводимых параметров МТП, МТМ, МПД и ЭК. Из таблицы 1 видно, что эталонный комплекс по своим метрологическим характеристикам соответствует характеристикам мер и поэтому допустимо его применение для поверки.

Передача единицы длины средствам НК проводится в соответствии с поверочными схемами для средств измерений толщины покрытий [7], параметров повер-

ностных дефектов (глубины, ширины, длины) [8] и толщины материалов [9].

Для поверки толщиномеров покрытий применяются эталонные МТП следующих типов: МП на МО, МП на НТО, НТП на МО, НТП на НТО, ИТП. Их конструкции и характеристики достаточно полно представлены в [3, 5].

Поверка толщиномеров покрытий проводится путем прямых измерений МТП и сравнения результата измерений с действительным значением толщины МТП [3].

В качестве примера на рис. 1 показаны результаты поверки толщиномера покрытий магнитного VA-TM8042 с применением наборов мер толщины покрытий типа ИТП и НТП на МО (регистрационный № 34825-07).

На рис. 1 красными линиями обозначены установленные в документации пределы допускаемой погрешности толщиномера, а синей линией обозначены действительные погрешности толщиномера. Как видно из рис. 1 действительные погрешности находятся в пределах допускаемой погрешности во всем диапазоне измерений, поэтому толщиномер признан годным.

Таблица 1.

Диапазоны значений и погрешности воспроизводимых параметров МТП, МТМ, МПД и ЭК.

Название параметра	Диапазон параметров, мм	Пределы допускаемой погрешности, мм	
		мер	ЭК
глубина дефекта	от 0,08 до 12,8	от ±0,005 до ±0,50	от ±0,0017 до ±0,17
ширина дефекта	от 0,015 до 1,5	от ±0,001 до ±0,05	от ±0,0003 до ±0,017
длина дефекта	от 0,5 до 50	от ±0,05 до ±5	от ±0,017 до ±1,7
толщина покрытия	от 0,005 до 20	(0,02X + 0,15)	от ±0,0017 до ±0,17
толщина	от 0,05 до 1000	от 0,001	от ±0,0002 до ±0,00012

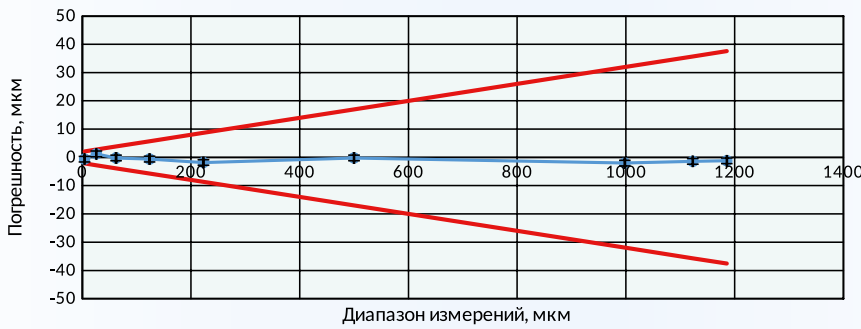


Рис. 1. Результаты поверки толщиномера покрытий VA-TM8042

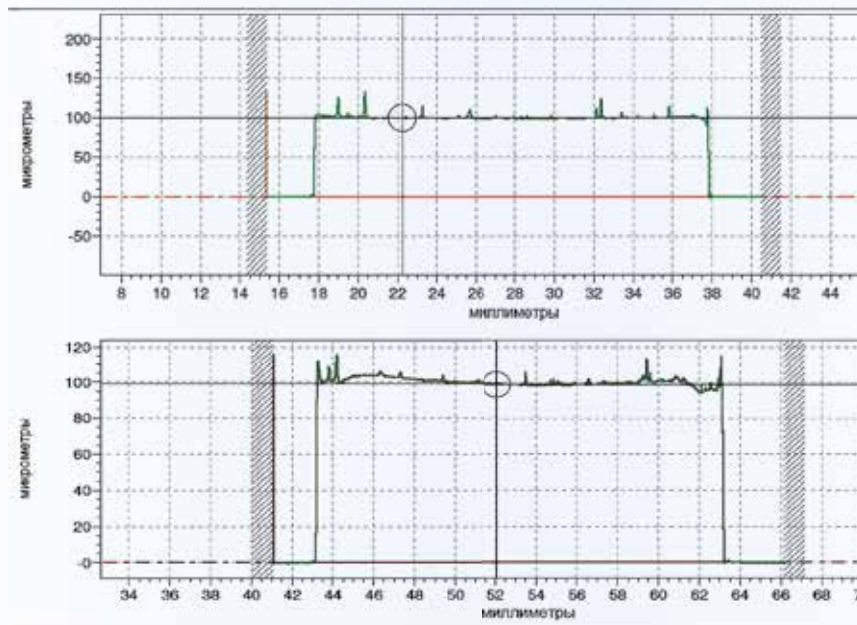


Рис. 2. Измерение МТП в ортогональных сечениях при поверке

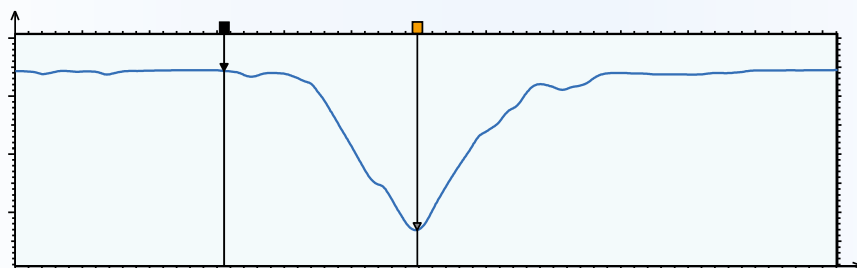


Рис. 3. Измерение глубины и ширины искусственного дефекта на МПД (наружное кольцо подшипника 42726) в мкм прибором Form Talysurf



Рис. 4. Результаты поверки системы измерений толщины ИТ-3А-7К

Поверка МТП проводится профилометрическим методом. На рис. 2 показан пример профилограммы, полученной в результате измерений толщины покрытия на профилометре при поверке МТП. Помимо возможности определения действительного значения толщины покрытия, профилограмма позволяет оценить характер распределение толщины покрытия и качество поверхности покрытия.

Для поверки дефектоскопов и дефектомеров различных принципов действия применяются разнообразные МПД [4]. Они отличаются друг от друга формой искусственного дефекта (прорезь либо отверстие), габаритными размерами, расположением и количеством искусственных дефектов. Наибольшее распространение получили искусственные дефекты в виде прорези, которые воспроизводят такие геометрические параметры как глубина, ширина (раскрытие) и длина (протяженность) дефектов. Для искусственных дефектов типа «несквозное цилиндрическое отверстие» воспроизводимыми параметрами являются диаметр и глубина.

На рис. 3 показан пример измерения профилометрическим методом (прибор Form Talysurf) глубины и ширины искусственного дефекта прорези в микрометрах на МПД. На профилограмме маркерами обозначены точки профиля при измерении глубины искусственного дефекта.

Полученные при поверке профилограммы искусственных дефектов позволяют наглядно оценить качество профиля, определить геометрические размеры и принять объективное решение о годности данного образца.

Для поверки толщиномеров листовых материалов различных принципов действия, включая установки для измерений толщины стального листового проката, применяют наборы мер толщины листовых материалов [10]. Данные меры различаются по габаритам и воспроизводят значения толщины листовых материалов. Поверку

Таблица 2.
Средства неразрушающего контроля, прошедшие поверку в ФГБУ «ВНИИМС» с 2019 г. по 2021 г.

№	Средства неразрушающего контроля	Поверка		
		2019	2020	2021
1	Меры толщины покрытий МТП (набор)	46	35	45
2	Меры толщины (набор)	3	2	-
3	Толщиномеры (в т.ч. установки для измерений толщины стального проката)	69	135	76
4	Меры поверхностных дефектов МПД (набор)	24	27	43
5	Дефектоскопы разные	35	37	63
6	Измерители износа стальных канатов	230	196	248
Итого		407	432	475

мер проводят с помощью контактных механических приборов из состава ЭК методом прямых измерений.

На рис. 4 показаны результаты поверки системы измерений толщины ИТ-ЗА-7К с применением набора мер толщины из стали TRM-Fe.

На рис. 4 красными линиями обозначены пределы допускаемой погрешности, а синей линией обозначены действительные погрешности. Как видно из рисунка действительные погрешности находятся в пределах допускаемой погрешности во всем диапазоне измерений.

В 2019–2021 г. в ФГБУ «ВНИИМС» прошли поверку шесть групп СНК (таблица 2). Из таблицы видно, что поверкой охвачены основные средства измерений, применяемые в системе метрологического обеспечения измерений геометрических размеров методами НК, а общее число прошедших поверку СНК увеличивается из года в год.

Выводы.

1. Средства измерений геометрических размеров методами неразрушающего контроля таких объектов измерений как толщина покрытий, толщина листовых материалов, геометрические параметры поверхностных дефектов (глубина, ширина, длина), обеспечены средствами поверки.
2. Эталонный комплекс для передачи единицы длины в области измерений геометрических параметров поверхностных дефектов позволяет проводить поверку мер поверхностных дефектов, мер толщины покрытий и мер толщины листовых материалов.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. И. Асташенков, Л. С. Бабаджанов, В. С. Иванов, В. В. Клюев, В. М. Лахов, Ф. Р. Соснин. Измерения. Контроль. Качество. Неразрушающий контроль. Справочник технического комитета. ИПК. Издательство стандартов. М., 2002.
2. В. В. Клюев, Л. С. Бабаджанов, Ф. Р. Соснин, В. Н. Филинов и др. Неразрушающий контроль и диагностика. Справочник. Изд. «Машиностроение», М., 2004 г.
3. Л. С. Бабаджанов, М. Л. Бабаджанова. Метрологическое обеспечение измерений толщины покрытий. Теория и практика. – М.:ИПК. Издательство стандартов, 2004.
4. Л. С. Бабаджанов, М. Л. Бабаджанова. Меры и образцы в области неразрушающего контроля. // ФГУП «Стандартинформ». 2007.
5. Сясько В. А., Потапов А. И., Голубев С. С., Гоголинский К. В., Бабаджанов Л. С. Неразрушающий контроль качества покрытий и его метрологическое обеспечение. Том Х11. Стандартизация и метрологическое обеспечение неразрушающего контроля покрытий. СПб.: Политехника принт. 2019.
6. Л. С. Бабаджанов, М. Л. Бабаджанова, Т. А. Корюшкина. Эталонный комплекс для передачи единицы длины в области измерений геометрических параметров поверхностных дефектов. Главный метролог. 2018, № 3.
7. Приказ Росстандарта № 3279 от 23.12.2019 «Об утверждении Государственной поверочной схемы для средств измерений толщины покрытий в диапазоне от 1 до 120000 мкм».
8. Л. С. Бабаджанов, М. Л. Бабаджанова, Т. А. Корюшкина. Обеспечение единства измерений геометрических параметров поверхностных дефектов. Журнал «В мире НК», 2018, т. 21, № 3.
9. Приказ Росстандарта № 2840 от 29.12.2018 «Об утверждении Государственной поверочной схемы для средств измерений длины в диапазоне от 1·10⁻⁹ до 100 м и длин волн в диапазоне от 0,2 до 50 мкм».
10. Л. С. Бабаджанов, М. Л. Бабаджанова, А. В. Жилакова, М. Ю. Прилепко. Наборы мер толщины стального проката. Заводская лаборатория, № 12, 2012 г.

Дата принятия 04.04.2022

ИНФОРМАЦИЯ
**БЮЛЛЕТЕНЬ № 2 МОЗМ (OIML BULLETIN, NO. 2, APRIL 2022)
ПОСВЯЩЕН ИЗМЕРЕНИЯМ, СВЯЗАННЫМ С ТРАНСПОРТОМ**

Продолжение со стр. 44. Начало на стр. 25

Анализаторы содержания алкоголя в выдыхаемом воздухе применяются во всем мире в таких профессиональных областях как правоохранительная, безопасность дорожного движения и охрана труда. Результаты измерений в процессе тестирования имеют серьезное значение для всех заинтересованных сторон.

Почти в каждой стране имеется свой подход применения измерений содержания алкоголя в выдыхаемом воздухе. Различия у разных стран, например,

могут быть следующие: законодательно установленный предел вождения в состоянии алкогольного опьянения сильно различается по всему миру, как и единицы, в которых должна быть выражена концентрация алкоголя в выдыхаемом воздухе; значения содержания алкоголя в выдыхаемом воздухе иногда приходится преобразовывать в значения содержания алкоголя в крови, чтобы соответствовать национальной правовой системе и определению установленных пределов;

продолжение на стр. 56



С. Б. Орлов

К. Т. Н.

Россия, г. Москва

E-mail: orlovsb@mail.ru

УДК 006.91

АППРОКСИМАЦИЯ ХАРАКТЕРИСТИКИ АНАЛОГОВОГО ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ТЕМПЕРАТУРЫ СОСТАВНОЙ ФУНКЦИЕЙ

APPROXIMATION OF ANALOG MEASURING TEMPERATURE TRANSDUCER CHARACTERISTIC BY A COMPOSITE FUNCTION

Представлены примеры аппроксимации градуировочных характеристик температурной лампы и термометра сопротивлением составной функцией на основе параболы и фрагмента синусоиды. Основная идея составной функции – компенсация разницы кривизн характеристики преобразователя и аппроксимирующей ее параболы с помощью отрезка синусоиды.

Ключевые слова: аппроксимация, температурная лампа, термометр сопротивления, градуировочная характеристика.

Examples of approximation of the calibration characteristics of a temperature lamp and a resistance thermometer by a composite function, based on a parabola and a sine wave segment, are presented. The main idea of the composite function is to compensate for the difference in the curvature of the transducer characteristic and the parabola approximating it using a sinusoidal segment.

Keywords: approximation, temperature lamp, resistance thermometer, calibration characteristic.

50 лет назад, в 1971 году я предположил [1], а в 1981 продемонстрировал возможность градуировки образцовых температурных ламп на яркостную температуру дифференциальным методом [2]. Одним из аргументов в пользу такой возможности было сходство градуировочных характеристик ламп одного типа. Сходство исследовалось с применением того, что я назвал составной функцией. Это была случайная находка, которая тогда не получила ни дальнейшего развития, ни объяснения.

Предлагаемый способ аппроксимации характеристики состоит из двух этапов. На первом этапе вычисляется погрешность аппроксимации характеристики простейшей нелинейной кривой – параболой ($Y = AX^2 + BX + C$). Для определения параметров параболы в базе аппроксимации требуются три точки характеристики. На втором этапе в результаты первого этапа вводится поправка, построенная на тригонометрической функции. Согласование размеров поправки с результатами первого этапа обеспечивает коэффициент (обозначен как «К»), для определения параметров которого необходимы еще две точки характеристики.

Вывод формулы тригонометрической составляющей Δ как функции температуры

Основа поправки (обозначена как " Δ ") – тригонометрическая функция, образуемая как разность между отрезком синусоиды и отрезком прямой, концы и середины которых совпадают с опорными точками аппроксимации параболы и характеристики.

В нашем случае она строится на отрезке $\sin(120^\circ)\dots \sin(240^\circ)$.

Очевидно, оба отрезка проходят через точки $(X_H; \sin 120^\circ)$ и $[X_H + 0,5(X_K - X_H); 0]$, где X_H, X, X_K – начальное, текущее, конечное значения температуры в опорных точках.

Уравнение отрезка синусоиды:

$$Y = \sin\left(120^\circ \left(1 + \frac{X - X_H}{X_K - X_H}\right)\right) = \sin(120^\circ (1 + Q)),$$

$$\text{где } Q = \frac{X - X_H}{X_K - X_H}$$

Вывод уравнения отрезка прямой:

$$\frac{X - X_H}{X_H + 0,5(X_K - X_H) - X_H} = \frac{Y - \sin 120^\circ}{0 - \sin 120^\circ}$$

$$\frac{X - X_H}{0,5(X_K - X_H)} = \frac{Y}{-\sin 120^\circ} + 1$$

$$Y = -\sin 120^\circ \left(2 \frac{X - X_H}{X_K - X_H} - 1\right) = \sin 120^\circ (1 - 2Q)$$

Формула тригонометрической составляющей

$$\Delta = \sin R - P \sin 120^\circ, \text{ где } (1)$$

$$R = 120^\circ (1 + Q),$$

$$P = 1 - 2Q$$

Пример 1. Градуировочная характеристика температурной лампы представляет собой ряд пар значений

Таблица 1

яркостной температуры, кратных 100°C, и силы тока, необходимой для воспроизведения этой температуры. Аппроксимирующая парабола проходит через три опорные точки характеристики. Параметры параболы определяются решением системы трех уравнений, на значениях опорных точек характеристики и параболы.

Чтобы обеспечить наибольшую базу для аппроксимации, точки желательно максимально разнести. При нечетном количестве точек градуировки опорными логично выбрать начальную, среднюю и конечную точки.

В табл. 1 приведена характеристика образцовой температурной лампы типа СИ-10-300 № 20, градуированной по яркостной температуре в диапазоне 1000...2000°C. (использована характеристика лампы, градуированной в начале 1970-х годов в поверочной температурной лаборатории ВНИИГК (предшественник ВНИИМС), поверочные лаборатории которого в ноябре 1973 года составили основу МЦСМ, позднее – Ростест-Москва).

Аппроксимация произведена параболой. Расчетное значение силы тока в зависимости от температуры определяется уравнением (1)

$$I_{расч} = AT^2 + BT + C, \text{ где (2)}$$

$$A = 7,60368 \cdot 10^{-6} \text{ A}/(^\circ\text{C})^2$$

$$B = -5,99103 \cdot 10^{-3} \text{ A}/^\circ\text{C}$$

$$C = -0,86265 \text{ A}$$

На рис. 1 изображены графики разностей значений характеристики лампы и параболы со значениями отрезка прямой, проходящей через начальную и конечную точки аппроксимации. Графики пересекаются в средней точке 1500°C. До этой точки кривизна характеристики больше кривизны параболы, после нее характеристика «выпрямляется» быстрее параболы.

В табл. 2 приведены значения отрезков синусоиды, прямой и функции Δ для лампы № 20. Диапазон 10 интервалов, шаг $Q = 0,1$

На рис. 2 представлен график погрешности (обозначена D) первого этапа аппроксимации, т. е. разности значений силы тока лампы и расчетных значений параболы в зависимости от температуры. Точками изображен график функции Δ .

Графики погрешности D и знакопеременной функции Δ очень похожи. Кажется, что для компенсации разности

Сила тока лампы в зависимости от температуры											
T (°C)	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900	2000
I (A)	0,75	1,67	2,76	4,06	5,56	7,26	9,15	11,15	13,21	15,35	17,57

Таблица 2

I	T	Q	синусоида		прямая		Δ
			R	sinR	P	P·sin120°	
A	°C		120° (1+Q)		1-2Q		
0,75	1000	0	120,0	0,86603	1,0	0,86603	0
1,67	1100	0,1	132,0	0,74314	0,8	0,69282	0,05032
2,76	1200	0,2	144,0	0,58779	0,6	0,51962	0,06817
4,06	1300	0,3	156,0	0,40674	0,4	0,34641	0,06033
5,56	1400	0,4	168,0	0,20791	0,2	0,17321	0,03470
7,26	1500	0,5	180,0	0	0	0	0
9,15	1600	0,6	192,0	-0,20791	-0,2	-0,17321	-0,03470
11,15	1700	0,7	204,0	-0,40674	-0,4	-0,34641	-0,06033
13,21	1800	0,8	216,0	-0,58779	-0,6	-0,51962	-0,06817
15,35	1900	0,9	228,0	-0,74314	-0,8	-0,69282	-0,05032
17,57	2000	1,0	240,0	-0,86603	-1,0	-0,86603	0

Таблица 3

t	I	$I_{расч}$	D (погрешность)	Δ	K	K· Δ (поправка)	D - K· Δ (погрешность поправка)
(°C)	(A)	(A)	(A)		(A)	(A)	(A)
1	2	3	4	5	6	7	8
1000	0,75	0,75	0	0	1,746	0	0
1100	1,67	1,748	0,078	0,05032	1,934	0,097	-0,019
1200	2,76	2,897	0,137	0,06817	2,122	0,145	-0,008
1300	4,06	4,199	0,139	0,06033	2,31	0,139	0
1400	5,56	5,653	0,093	0,03470	2,498	0,087	0,006
1500	7,26	7,259	-0,001	0	2,686	0	-0,001
1600	9,15	9,017	-0,133	-0,03470	2,874	-0,1	-0,033
1700	11,15	10,927	-0,223	-0,06033	3,062	-0,185	-0,038
1800	13,21	12,989	-0,221	-0,06817	3,25	-0,221	0
1900	15,35	15,204	-0,146	-0,05032	3,438	-0,173	0,027
2000	17,57	17,57	0	0	3,626	0	0

кривизн характеристики и параболы достаточно подобрать коэффициент к функции Δ , чтобы сформировать поправку, соизмеримую с D . Но максимумы погрешности D в начальной и конечной частях диапазона различны. Значения коэффициентов в точках, близких к серединам зон, составляют

$$K_{1300} = D_{1300}/\Delta_{1300} = 2,31 \text{ A}$$

$$K_{1800} = D_{1800}/\Delta_{1800} = 3,25 \text{ A}$$

Значения K в остальных точках диапазона определяет уравнение прямой, проходящей через точки с координатами (1300°C; 2,31 A) и (1800°C; 3,25 A).

$$K_T = \alpha T + \beta, \text{ где (3)}$$

$$\alpha = 1,88 \cdot 10^{-3} \text{ A}/^\circ\text{C};$$

$$\beta = -0,134 \text{ A}$$

В табл. 3 приведены значения коэффициента K , поправки к результатам первого этапа аппроксимации (про-

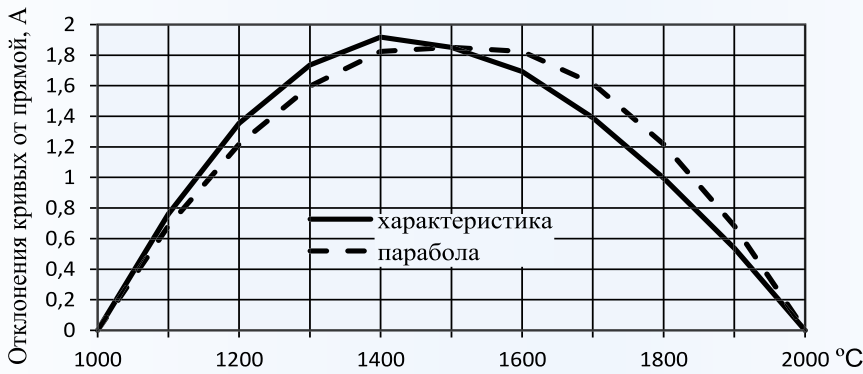


Рис. 1. Графики нелинейности характеристики лампы и аппроксимирующей параболы

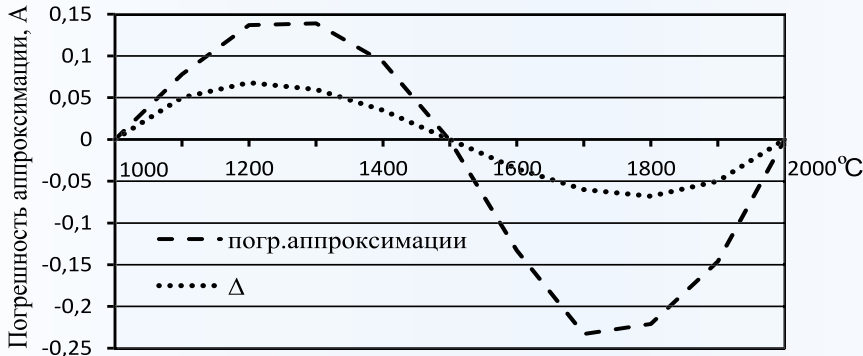


Рис. 2. Графики функции Δ и погрешности D аппроксимации градуировочной характеристики лампы № 20 параболой

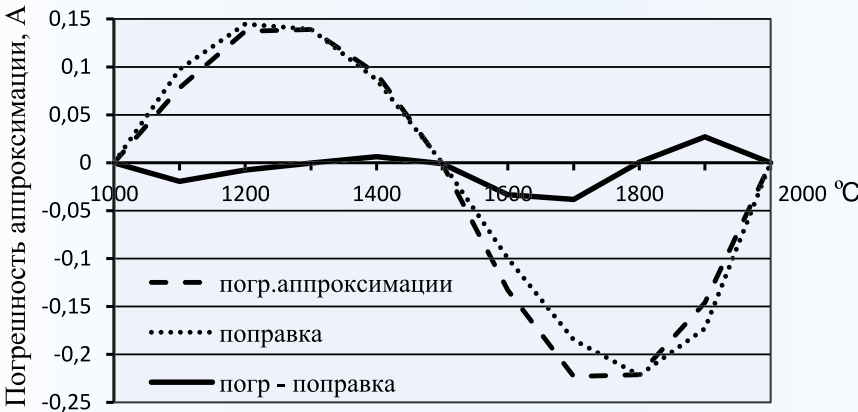


Рис. 3. Графики поправки ($K \cdot \Delta$) и погрешности аппроксимации характеристики лампы № 20 параболой до (D) и после ($D - K \cdot \Delta$) введения поправки

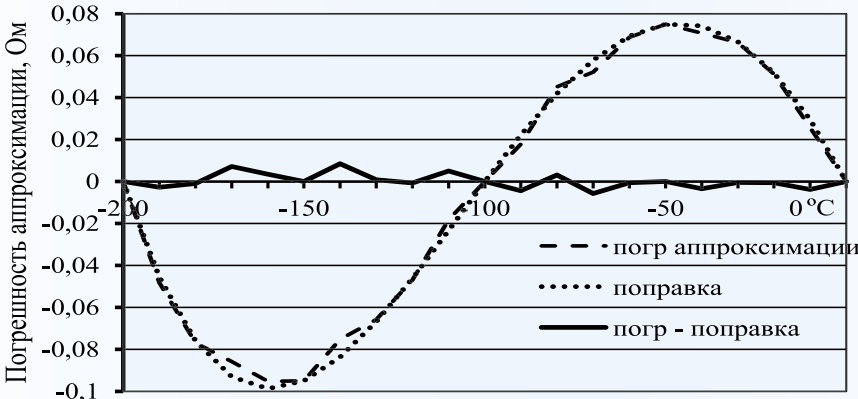


Рис. 4. Графики погрешности аппроксимации характеристики термометра сопротивления параболой (D), поправки ($K \cdot \Delta$) и итоговой погрешности аппроксимации составной функцией после введения поправки ($D - K \cdot \Delta$)

изведение $K\Delta$), и погрешностей аппроксимации после введения поправки ($D - K \cdot \Delta$). Графики этих величин приведены на рис. 3.

Тригонометрическая составляющая позволила сблизить кривизны характеристики лампы и составной функции. Можно спорить, воспринимать ли результаты после введения поправки действительными погрешностями градуировки лампы, но полученные в результате значения в точке максимального значения погрешности (при $T = 1700^\circ\text{C}$) более чем в 5 раз меньше, чем до введения поправки.

Для проверки эффективности предложенного способа аппроксимации в примере 2 аппроксимирована теоретическая кривая, неотягощенная погрешностями измерений.

Пример 2. В табл. 4 приведены номинальная статическая характеристика термометра сопротивления ТСП-100П и результаты ее аппроксимации составной функцией. Характеристика заимствована из [3]. Обработке подлежал диапазон измерений от минус 200°C до 0°C , который в ГОСТ описывается многочленом четвертого порядка:

$$R_T = R_0 [1 + AT + BT^2 + C(T - 100^\circ\text{C})T^3].$$

- столбцы 1 и 2 – характеристика термометра: значения температуры T и соответствующие им сопротивления R_T ;
- столбец 3 – значения сопротивления, рассчитанные по аппроксимирующей параболе $R_{T_{расч}} = AT^2 + BT + C$, где (4)
- столбец 4 – погрешность аппроксимации характеристики параболой ($D_T = R_T - R_{T_{расч}}$);
- столбец 5 – функция Δ , рассчитанная по правилам, приведенным в примере 1;
- столбец 6 – коэффициент K . Значения коэффициента в точках, совпадающих с серединой начальной и конечной зон, составляют

$$A = -1,02 \cdot 10^{-4} \text{ Ом}/(^\circ\text{C})^2$$

$$B = 39,34 \cdot 10^{-2} \text{ Ом}/^\circ\text{C}$$

$$C = 100 \text{ Ом}$$

Таблица 4

T	R	$R_{расч}$	D (погрешность)	Δ	K	$K\Delta$ (поправка)	$D - K\Delta$ (погрешность - поправка)
°С	Ом	Ом	Ом		Ом	Ом	Ом
1	2	3	4	5	6	7	8
-200	17,24	17,2400	0	0	-1,568	0	0
-190	21,62	21,5718	-0,0482	0,029595	-1,538	-0,0455	-0,0027
-180	25,96	25,8832	-0,0768	0,050325	-1,508	-0,0759	-0,0009
-170	30,26	30,1742	-0,0858	0,062913	-1,478	-0,0930	0,0072
-160	34,54	34,4448	-0,0952	0,06817	-1,448	-0,0987	0,0035
-150	38,79	38,6950	-0,095	0,066988	-1,418	-0,0950	0
-140	43,00	42,9248	-0,0752	0,060327	-1,388	-0,0837	0,0085
-130	47,20	47,1342	-0,0658	0,049137	-1,358	-0,0667	0,0009
-120	51,37	51,3232	-0,0468	0,034707	-1,328	-0,0461	-0,0007
-110	55,51	55,4918	-0,0182	0,017926	-1,298	-0,0233	0,0051
-100	59,64	59,6400	0	0	-1,268	0	0
-90	63,75	63,7678	0,0178	-0,017926	-1,239	0,0222	-0,0044
-80	67,83	67,8752	0,0452	-0,034707	-1,209	0,0420	0,0032
-70	71,91	71,9622	0,0522	-0,049137	-1,179	0,0579	-0,0057
-60	75,96	76,0288	0,0688	-0,060327	-1,149	0,0693	-0,0005
-50	80,00	80,0750	0,075	-0,066988	-1,119	0,0750	0
-40	84,03	84,1008	0,0708	-0,06817	-1,089	0,0742	-0,0034
-30	88,04	88,1062	0,0662	-0,062913	-1,059	0,0666	-0,0004
-20	92,04	92,0912	0,0512	-0,050325	-1,029	0,0518	-0,0006
-10	96,03	96,0558	0,0258	-0,029595	-0,999	0,0296	-0,0038
0	100,00	100,00	0	0	-0,969	0	0

$$K_{150} = D_{-150} / \Delta_{-150} = -1,418 \text{ А}$$

$$K_{50} = D_{-50} / \Delta_{-50} = -1,119 \text{ А}$$

Значения коэффициента в остальных точках диапазона определяет уравнение прямой, проходящей через точки с координатами (-150; - 1,418) и (-50; - 1,119).

$$K_T = \alpha T + \beta, \text{ где (5)}$$

$$\alpha = -0,299 \cdot 10^{-2} \text{ Ом/}^\circ\text{С}$$

$$\beta = 0,9695 \text{ Ом}$$

– столбцы 7 и 8 – поправка ($K\Delta$) и результирующие значения погрешности аппроксимации после введения поправки ($D - K\Delta$).

На рис. 4 приведены графики переменных из столбцов 4, 7 и 8 табл. 4. Стандартизованная статистическая характеристика преобразователя по определению не содержит погрешностей измерений. Неровности графика итоговой погрешности можно рассматривать как погрешности округления исходных данных и вычислений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изложенный способ был под-сказан гармонической формой графика погрешностей аппроксимации градуировочной характеристики температурной лампы параболой (см. рис. 2). Была предпринята попытка компенсировать эти погрешности фрагментом синусоиды. Тригонометрическая составляющая позволила сблизить кривизны характеристики лампы и составной функции. В результате в примере 1 удалось уменьшить величины погрешностей аппроксимации реальной градуировочной характеристики как минимум в 5 раз.

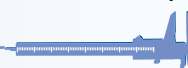
В примере 2 при аппроксимации теоретической кривой, не содержащей погрешностей измерений, погрешности аппроксимации оказались минимальными, не превышающими погрешности округления исходных данных и результатов вычислений. Считаю, что способ аппроксимации характеристики аналогового измерительного преобразователя температуры составной функцией продемонстрировал свою эффективность.

ЛИТЕРАТУРА

1. С. Б. Орлов Дифференциальный метод измерений при поверке аналоговых измерительных преобразователей. Измерительная техника 1971г, №9
2. С. Б. Орлов Разработка и исследование методов и средств поверки образцовых температурных ламп.

3. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. Москва. 1981
3. ГОСТ 8.625-2006 ГСИ. Термометры сопротивления из платины, меди и никеля. Общие технические требования и методы испытаний

Дата принятия 08.04.2022



ИТОГИ КОНФЕРЕНЦИИ МЕТРОЛОГИЯ-2022 В МИНСКЕ



Международная научно-техническая конференция «Метрология-2022», посвященная 30-летию Государственного комитета по стандартизации Республики Беларусь, прошла 5–6 апреля в Минске. Около 130 ученых и практиков, представляющих национальные метрологические институты, предприятия, высшие учебные заведения и др. обсудили актуальные вопросы и проблемы, обменялись опытом и полезными контактами.

В рамках общения с журналистами председатель Госстандарта Республики Беларусь Валентин Татарицкий отметил: «Метрология – наука фундаментальная, необходимая для того, чтобы наша промышленность имела достоверные результаты при изготовлении и поставке продукции в другие страны. Поскольку наша страна экспортно ориентированная, очень важно, чтобы точность измерений соответствовала мировому уровню. Для этого существуют и наши национальные эталоны, и наши подразделения: Национальный метрологический институт (БелГИМ), 15 территориальных центров стандартизации, метрологии и сертификации и БелГИСС, имеющие в своей структуре уполномоченные поверочные и калибровочные лаборатории. Все они оказывают методическую помощь нашим промышленным предприятиям».

В настоящее время среди приоритетных направлений в области развития метрологии – качественное выполнение поставленных правительством задач, поддержка инновационного развития экономики страны, а также новые перспективы деятельности, расширение возможностей государственной метрологической службы в обеспечении метрологической оценки в соответствии с запросами промышленности, расширение эталонной базы республики, развитие работ в об-

ласти сличений результатов измерений, обеспечение единства измерений и расширение сотрудничества в рамках ЕАЭС и СНГ с целью повышения конкурентоспособности национальных экономик.

В своем выступлении на церемонии открытия Валентин Татарицкий отметил роль разработанной и действующей законодательной базы, центральное место в которой занимает закон «Об обеспечении единства измерений». «В 2020 г. вступила в силу новая редакция, которая направлена на совершенствование деятельности и государственного регулирования в области обеспечения единства измерений, – подчеркнул он, – мы, по сути, за 2021 г. реализовали массу мероприятий, направленных на усиление роли метрологии. Мы усилили степень воздействия государственной метрологической службы, определили критерии для уполномоченных на проведение работ по метрологической оценке в сфере законодательной метрологии. Я считаю это одним из важных элементов, которые мы сделали вместе с вами».

Важной темой для обсуждения стала тема внедрения достижений метрологии как в реальный сектор экономики, так и в повседневную жизнь. Вопрос обеспечения важности качества и конкурентоспособности выпускаемой продукции поднял первый заместитель председателя Президиума Национальной Академии Наук (НАН) Беларуси академик Сергей Чижик: «Перед нами стоят задачи по обеспечению импортозамещения, освоению новых видов продукции. Безусловно, мы не должны уступать в вопросе качества. Нам нужно не только разработать и произвести товар, в первую очередь, надо обеспечить качественный, конкурентный продукт, который выйдет на международные рынки».

На пленарном заседании о важности качества в своем докладе говорил и ректор Белорусского национального технического университета (БНТУ) Сергей Харитончик. Он отметил, что сегодня практически каждое государство рассматривает вопросы качества

как приоритетные направления своей экономической политики, поскольку их успешное решение – это гарант конкурентоспособности, инновационного развития и повышения уровня жизни граждан. Также он рассказал, что мировое сообщество пришло к пониманию неизбежности наступления четвертой промышленной революции, которую мы называем «Индустрия 4.0»: «В этой связи можно говорить о ключевой роли промышленной



метрологии, которая требует синхронного развития системы метрологического обеспечения в стране. Важным при этом остается взаимодействие государственной метрологической службы с учреждениями высшего образования. У БНТУ есть видение развития научно-инновационного потенциала в части содействия развитию концепции «Метрология 4.0», определены три точки роста эффективности объединения усилий на взаимовыгодных условиях с Госстандартом».

Директор БелГИМ Валерий Гуревич рассказал о развитии и совершенствовании национальной эталонной базы Беларуси, создании новых национальных эталонов. В настоящее время эталонная база включает в себя 63 национальных эталона, ведутся работы по созданию и совершенствованию эталонной базы в рамках подпрограммы «Эталоны Беларуси» ГНТП «Национальные эталоны и высокотехнологичное исследовательское оборудование». «В рамках подпрограммы планируется разработка 11 эталонов и модернизация 10 национальных эталонов. Планируется, что к 2025 г. национальная эталонная база будет включать 74 национальных эталона», – резюмировал Валерий Гуревич.

Доклад директора института ИПФ НАН Беларуси профессора Михаила Хейфеца был посвящен созданию эталона механического напряжения на основе зондового наноиндентирования и определения дифракцией нейтронов деформированного состояния материала: «В результате экспериментальных исследований были установлены диапазоны, в которых сходимость результатов достаточно высока и на которых можно проводить сравнение с другими эталонными приборами, чтобы передать характеристику напряжений для тех приборов, с помощью которых косвенными методами производится их измерение. Результаты испытаний прототипа эталона механического напряжения на стресс-дифрактометре в НИЦ «Курчатовский институт» (г. Москва), на котором обеспечивается высокая светосила потока нейтронов и большая его фокусировка (сегодня это около 4–2 мм, но, в перспективе, как заявил руководитель НИЦ, будет 2 мм – и это выше мировых достижений), вселяет в нас определенную уверенность, что у нас есть все шансы создать один из лучших в мире эталонов механических напряжений».

С докладом «Вопросы установления требований к точности и оценивание неопределенности измерений в лабораторной медицине» выступила руководитель научно-исследовательской лаборатории теоретической метрологии ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева» Анна Чуновкина. О состоянии реестра стандартных образцов утвержденных типов в Российской Федерации и научно-методических вопросах по определению метрологических характеристик стандартных образцов и утверждению прослеживаемости аттестованных значений рассказал директор УНИИМ – филиала ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева» Егор Собина. Начальник лаборатории ПО ФГБУ ВНИИМС Андрей Паньков выступил с докладом о путях развития цифровизации в едином экономическом пространстве. Заведующий кафедрой «Стандартизация,

метрология и информационные системы» БНТУ Павел Серенков представил метод последовательных трансформаций для оценивания неопределенности измерений. Начальник лаборатории метрологического обеспечения биологических и информационных технологий ФГБУ ВНИИМС Елена Кулябина говорила о роли единства измерений в борьбе против пандемии.

Лейтмотивом через всю конференцию прошла тема 30-летия образования Госстандарта Республики Беларусь. За эти годы выстроена система обеспечения безопасности и качества продукции и услуг, единства измерений, надзора, сохранены производственно-технические и торговые связи на постсоветском пространстве, создана национальная эталонная база, уделено внимание развитию инфраструктуры органов по сертификации и лабораторий, заявлено о себе на международном уровне и др. Новая дата должна придать импульс дальнейшему развитию.

Заместитель Руководителя Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии (РОССТАНДАРТА) Евгений Лазаренко поздравил белорусских коллег с юбилеем, а также зачитал поздравления от Руководителя Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии Антона Шалаева и академика Российской академии наук, Президента Метрологической академии, профессора Владимира Окрепилова. В своих поздравлениях они отметили, что метрологов России и Беларуси связывает многолетнее плодотворное сотрудничество по всем ключевым вопросам метрологического обеспечения, в процессе которого сложились не только прочные научные деловые контакты, но и теплые дружеские отношения. Естественным является и их дальнейшее продолжение и укрепление. Стоит отметить, что в рамках конференции «Метрология-2022» было подписано соглашение о сотрудничестве между БелГИМ и ФГБУ «ВНИИМС», а 19 апреля Госстандарт Беларуси и Росстандарт подписали меморандум о взаимопонимании в области метрологии.

Конференция затронула темы разработки и применения методик (методов) измерений, механизмов передачи единиц величин, а также вопросы поверки и калибровки средств измерений, создания новых средств измерений и др. Более подробное рассмотрение актуальных вопросов прошло в рамках работы двух секций: «Вопросы теоретической и прикладной метрологии» и «Метрологическое обеспечение и эталоны единиц физических величин».

Активное участие в работе конференции приняли специалисты Национальной академии наук, ведущих промышленных предприятий и государственной метрологической службы, высших учебных заведений Беларуси, Узбекского национального института метрологии, Всероссийского НИИ метрологии им. Д. И. Менделеева, Всероссийского научно-исследовательского института физико-технических и радиотехнических измерений, Всероссийского научно-исследовательского института метрологической службы и других предприятий и организаций.

Гречина Л.А. (БелГИМ)
Дата принятия 22.04.2022

УДК 006.91

МЕЖДУНАРОДНАЯ СИСТЕМА ЕДИНИЦ (SI)

ИЗДАНИЕ 9-е 2019 г.

(продолжение)

Издание подготовлено Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии (Росстандарт).

*Над переводом работали: А. Б. Дятлев (ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева»),
Е. П. Зингер (ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева»),
Е. Ю. Корзинин (ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева»),
Е. И. Лунёва (ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева»),*

*Г. В. Битюкова (ФГБУ «ВНИИМС»),
Л. К. Исаев (ФГБУ «ВНИИМС»),
М. И. Калинин (ФГБУ «ВНИИМС»).*

2.3.3 РАЗМЕРНОСТИ ВЕЛИЧИН

Физические величины могут быть организованы в систему размерностей, где используемая система определяется по согласованию. Каждая из семи основных единиц SI рассматривается как имеющая собственную размерность. Обозначения для основных величин и обозначения для их размерностей приведены в Таблице 3.

Таблица 3.

Основные величины и размерности SI

Основная величина	Общепринятое обозначение величины	Обозначение размерности
время	t	T
длина	l, x, r и т.д.	L
масса	m	M
электрический ток	I, i	I
термодинамическая температура	T	Θ
количество вещества	n	N
сила света	I_v	J

Все остальные величины, за исключением счетных, являются производными величинами и могут быть выражены через основные величины в соответствии с уравнениями физики. Размерности производных величин записываются в виде произведений степеней размерностей основных величин с помощью уравнений, которые связывают производные величины с основными. В общем случае размерность любой величины Q записывается в виде размерного произведения:

$$\dim Q = T^{\alpha} L^{\beta} M^{\gamma} \Theta^{\delta} N^{\zeta} J^{\eta}$$

где показатели степени $\alpha, \beta, \gamma, \delta, \zeta$ и η , которые, в основном, являются малыми целыми числами

и могут быть положительными, отрицательными или нулевыми, называются показателями размерности.

Существуют величины Q , для которых в определяющем уравнении все показатели размерности для размерности Q равны нулю. Это верно, в частности, для любой величины, определяемой как отношение двух величин одного и того же рода. Например, показатель преломления – это отношение двух скоростей, а относительная диэлектрическая проницаемость – это отношение диэлектрической проницаемости среды к диэлектрической проницаемости вакуума. Эти величины являются просто числами. Соответствующей единицей является число «один», обозначаемое как 1, но она редко записывается в явной форме (см. 5.4.7).

Существуют также величины, которые не могут быть выражены через семь основных единиц SI, но при этом исчисляются. К таким величинам относятся число молекул, число клеточных или биомолекулярных объектов (например, копии конкретной последовательности нуклеиновой кислоты) или степень вырождения в квантовой механике. Исчисляемые величины также являются величинами с единицей «один».

Единица «один» является нейтральным элементом любой системы единиц – она необходима и входит в состав автоматически. Включать ее формальным образом по общему решению не требуется. Таким образом, формальная прослеживаемость к SI может быть установлена с помощью соответствующих проверенных методик измерения.

Плоские и телесные углы, выраженные в радианах и стерadianах, соответственно, в SI рассматриваются как величины с единицей «один» (см. пункт 5.4.8). Обозначения rad (рад) и sr (ср) записываются при необходимости, чтобы подчеркнуть, что в случае с радианами и стерadianами рассматриваемая величина является

или включает в себя соответственно плоский или телесный угол. Для стерadians, например, это подчеркивает различие между единицами потока и интенсивности в радиометрии и фотометрии. Однако в математике и в других областях науки издавна практикуется отношения $\text{рад} = 1$ и $\text{ср} = 1$. В силу исторических причин радиан и стерadians рассматриваются как производные единицы, как описано в разделе 2.3.4.

Особенно важно иметь четкое описание любой величины с единицей измерения «один» (см. раздел 5.4.7), которая выражается в виде отношения величин одного и того же вида (например, отношения длин или доли количества) или счета (например, количество фотонов или распадов).

2.3.4 Производные единицы

Производные единицы определяются как произведения степеней основных единиц. Если числовой

коэффициент такого произведения равен единице, производные единицы называются когерентными производными единицами. Основные и когерентные производные единицы SI образуют когерентный набор, называемый когерентными единицами SI. В данном случае термин «когерентный» означает, что уравнения связи между числовыми значениями величин принимают такую же форму, как уравнения связи между самими величинами.

Некоторым когерентным производным единицам SI даны специальные названия. В Таблице 4 приведены 22 единицы SI со специальными названиями. Вместе с семью основными единицами (Таблица 2) они образуют основу набора единиц SI. Остальные единицы SI представляют собой комбинации некоторых из этих 29 единиц.

Важно отметить, что любая из семи основных единиц и 22 единиц SI со специальными названиями может быть

Единицы SI со специальными названиями и обозначениями

Таблица 4. 22

Производная единица	Специальное название единицы	Единица в основных единицах ^(a)	Единица, выраженная через другие единицы SI
плоский угол	радиан ^(b)	$\text{рад} = \text{м}/\text{м}$	
телесный угол	стерадиан ^(c)	$\text{ср} = \text{м}^2/\text{м}^2$	
частота	герц ^(d)	$\text{Гц} = \text{с}^{-1}$	
сила	ньютон	$\text{Н} = \text{кг м с}^{-2}$	
давление, напряжение	паскаль	$\text{Па} = \text{кг м}^{-1} \text{с}^{-2}$	
энергия, работа, количество теплоты	джоуль	$\text{Дж} = \text{кг м}^2 \text{с}^{-2}$	Н м
мощность,	ватт	$\text{Вт} = \text{кг м}^2 \text{с}^{-3}$	Дж/с
поток излучения			
электрический заряд	кулон	$\text{Кл} = \text{А с}$	
разность электрических потенциалов ^(e)	вольт*	$\text{В} = \text{кг м}^2 \text{с}^{-3} \text{А}^{-1}$	Вт/А
емкость	фарад	$\text{Ф} = \text{кг}^{-1} \text{м}^{-2} \text{с}^4 \text{А}^2$	Кл/В
электрическое сопротивление	ом	$\text{Ом} = \text{кг м}^2 \text{с}^{-3} \text{А}^{-2}$	В/А
электрическая проводимость	сименс	$\text{См} = \text{кг}^{-1} \text{м}^{-2} \text{с}^3 \text{А}^2$	А/В
магнитный поток	вебер	$\text{Вб} = \text{кг м}^2 \text{с}^{-2} \text{А}^{-1}$	В с
магнитная индукция	тесла	$\text{Тл} = \text{кг с}^{-2} \text{А}^{-1}$	Вб/м ²
индуктивность	генри	$\text{Гн} = \text{кг м}^2 \text{с}^{-2} \text{А}^{-2}$	Вб/А
температура Цельсия	градус Цельсия ^(f)	$^{\circ}\text{C} = \text{К}$	
световой поток	люмен	$\text{лм} = \text{кд ср}^{(g)}$	кд ср
освещенность	люкс	$\text{лк} = \text{кд ср м}^{-2}$	лм/м ²
активность радионуклида ^(d, h)	беккерель	$\text{Бк} = \text{с}^{-1}$	
поглощенная доза, керма	грэй	$\text{Гр} = \text{м}^2 \text{с}^{-2}$	Дж/кг
эквивалентная доза	зиверт ⁽ⁱ⁾	$\text{Зв} = \text{м}^2 \text{с}^{-2}$	Дж/кг
каталитическая активность	катал	$\text{кат} = \text{моль с}^{-1}$	

(a) Порядок обозначений для основных единиц в данной Таблице отличается от порядка в 8-м издании на основании решения 21-го заседания ССУ (2013 г.) вернуться к первоначальному порядку, приведенному в Резолюции 1211-го заседания ГКМВ (1960 г.), в которой ньютон записывался как $\text{кг}\cdot\text{м}\cdot\text{с}^{-2}$, а джоуль как $\text{кг}\cdot\text{м}^2\cdot\text{с}^{-2}$, а Дж·с как $\text{кг}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{с}^{-1}$. Намерение состояло в том, чтобы отразить физику соответствующих уравнений величин, хотя для некоторых более сложных производных единиц это может быть невозможно.

(b) Радиан является когерентной единицей плоского угла. Один радиан – это угол, стягиваемый в центре окружности дугой, длина которой равна ее радиусу. Это также – единица измерения фазового угла. Для периодических явлений фазовый угол увеличивается на 2π рад за один период. Радиан раньше считался дополнительной единицей SI, но эта категория была отменена в 1995 г.



- (c) Стерadian является когерентной единицей телесного угла. Один стерadian – это телесный угол с вершиной в центре сферы, стягиваемый областью сферической поверхности, площадь которой равна квадрату радиуса. Как и радиан, стерadian ранее считался дополнительной единицей SI.
- (d) Герц должен использоваться только для периодических явлений, а беккерель – только для вероятностных процессов, относящихся к активности радионуклида.
- (e) Разность электрических потенциалов во многих странах также называется «voltage» (напряжение), а в некоторых странах – «electric tension, электрическое напряжение» или просто «tension».
- (f) Градус Цельсия используется для выражения температуры Цельсия. Числовое значение разницы температур или температурного интервала, выражаемое в градусах Цельсия или Кельвина, одинаково.
- (g) В фотометрии название «стерadian» и его обозначение «ср» в выражениях для единиц обычно сохраняются.
- (h) Активность радионуклида иногда называют радиоактивностью, что неверно.
- (i) См. Рекомендацию 2 МКМВ об использовании зиверта (PV, 2002, 70, 205).

выведена непосредственно из семи определяющих констант. Фактически, единицы семи определяющих констант включают в себя как основные, так и производные единицы.

ГКМВ приняла ряд приставок для использования при формировании десятичных кратных и дольных когерентных единиц SI (см. Главу 3). Они применимы для выражения значений величин, которые намного больше или намного меньше когерентной единицы. Однако, при использовании приставок с единицами SI, результирующие единицы уже не являются когерентными, так как приставка подразумевает числовой коэффициент, отличный от единицы. Приставки могут

использоваться с любой из 29 единиц SI со специальными названиями, за исключением основной единицы килограмм, о чем подробнее говорится в Главе 3.

Семь основных единиц и 22 единицы со специальными названиями и обозначениями могут использоваться в комбинациях для выражения единиц других производных величин. Поскольку количество величин безгранично, не представляется возможным предоставить полный список производных величин и единиц. Полный набор единиц SI включает в себя как когерентный набор, так и кратные и дольные единицы, сформированные с использованием приставок SI.

Продолжение публикации будет дано в следующих выпусках Журнала.



ИНФОРМАЦИЯ

БЮЛЛЕТЕНЬ № 2 МОЗМ (OIML BULLETIN, NO. 2, APRIL 2022) ПОСВЯЩЕН ИЗМЕРЕНИЯМ, СВЯЗАННЫМ С ТРАНСПОРТОМ

Продолжение со стр. 47. Начало на стр. 25

количество образцов дыхания, необходимых для достоверного результата, различно в отдельных странах, а иногда даже зависит от результата измерения по отношению к национальному законодательному пределу вождения в состоянии опьянения; в зависимости от географического региона приборы должны выдерживать более или менее суровые условия окружающей среды, такие как дождь, соляной туман или пыль; по-разному рассматривается вопрос о том, насколько похожими тестовые газы должны быть на образцы человеческого дыхания. Некоторые страны требуют для всех лабораторных испытаний только так называемые сухие газы (этанол в воздухе), некоторые страны предписывают, чтобы испытательные газы были максимально похожи на дыхание, т.е. были насыщены водяным паром и содержали 5% CO₂, а некоторые страны используют что-то среднее между этими двумя вариантами.

Группа проекта провела не один опрос среди входящих в этот проект 38 стран-членов МОЗМ, обработала и проанализировала полученные данные.

Дорожное движение представляет собой наиболее важный источник загрязнения воздуха, в связи с чем многие страны вносят изменения в свои правила

по вопросам экологии и транспорта. Главный важный поворот этих изменений связан с растущим развитием парка электромобилей. Однако истинный прорыв в использовании электромобилей произойдет только при наличии технической инфраструктуры с зарядными станциями, соответствующими метрологическим требованиям. Потребители привыкли к достоверным измерениям объемов бензина или дизельного топлива при заправке своего традиционного автомобиля, и поэтому они ожидают такого же уровня достоверности от измерения электроэнергии при подзарядке своего электромобиля. Если законодательство для автозаправочных (бензозаправочных) станций на сегодняшний день хорошо прописано, иначе обстоит дело с правилами для оборудования для зарядки электромобилей.

Наряду с переходом на электромобили все большее внимание и значение придается автономному вождению. В Бюллетень включена обзорная статья, посвященная автономному вождению, которая приглашает к дальнейшему обсуждению вопроса о роли законодательной метрологии в области развития новых методов аттестации автономных транспортных средств.

**Г. В. Битюкова (ФГБУ «ВНИИМС»)
(перевод и редактирование)**