А.С. Дойников

ЛЕКЦИИ ПО МЕТРОЛОГИИ

2-е издание,
переработанное и дополненное

А.С. Дойников

ЛЕКЦИИ ПО МЕТРОЛОГИИ

2-е издание,
переработанное и дополненное

ВНИИФТРИ

Менделеево – 2021

УДК 389.001
ББК 30.10

Дойников А.С. Лекции по метрологии. 2-е издание, переработанное и дополненное. – Менделеево: ФГУП «ВНИИФТРИ». – 2021. – Ил. 18. – Табл. 41. – Библ. 77. – 376 с.

Книга предназначена для профессиональной подготовки и повышения квалификации специалистов, занимающихся прикладными вопросами метрологии (калибровкой, поверкой и испытаниями средств измерений, аттестацией СИ, разработкой методик измерений и т.п.).

В ней представлена понятийно-терминологическая система метрологии с учетом прикладного развития теории шкал измерений. Рассмотренные понятия сопровождены пояснениями, показывающими их смысловую взаимосвязь и особенности применения. Классифицированы применяемые шкалы измерений всевозможных количественных свойств (величин) и качественных свойств. На примерах показаны особенности применения стандартизованных метрических и не метрических шкал измерений. Рассмотрены единицы измерений и их системы, включая переопределенную Международную систему единиц (SI). Особое внимание уделено внесистемным и безразмерностным единицам, особенностям представления результатов измерений в шкалах различных типов. Показана возможность и необходимость непротиворечивого использования разных по смыслу понятий «погрешность» и «неопределенность измерений» в метрологической практике.

ISBN 978-5-903232-88-8

© ФГУП «ВНИИФТРИ», 2021

© Дойников А.С., 2021

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие 5

Введение 6

1. Метрология и ее разделы 8

2. Измеряемые свойства, величины 16

3. Основные положения теории измерений. Шкалы измерений 28

4. Единицы измерений и их системы 40

4.1. Международная система единиц 54

5. Измерения, методы, методики и виды измерений 96

6. Результаты измерений, погрешности и неопределенности измерений 105

7. Средства измерительной техники 129

8. Свойства и метрологические характеристики средств измерений 143

9. Эталоны единиц и шкал измерений 153

10. Метрологическая прослеживаемость 164

11. Спецификации шкал измерений 173

12. Организационное и нормативное обеспечение единства измерений 200

13. Взаимосвязь метрологии с техническим регулированием 219

14. Международное сотрудничество в области метрологии 259

Литература 300

Приложение 1. Метрологическая прослеживаемость координатно-временных измерений 304

Приложение 2. Взаимное признание национальных эталонов и сертификатов калибровки и измерений, выдаваемых национальными метрологическими институтами (НМИ) 317

Приложение 3. Дипломатический документ Метрической конференции 333

Приложение 4. Совместная Декларация МБМВ, МОЗМ, ИЛАК и ИСО о метрологической прослеживаемости 9 ноября 2011 г. 343

Приложение 5. Общие принципы использования понятий «погрешность измерения» и «неопределённость измерений» (РМГ 91-2019) 348

ПРЕДИСЛОВИЕ

Измеряй все доступное измерению
и делай доступным все недоступное ему.

Г. Галилей

Эта книга появилась в результате систематических исследований, выполненных отделом общих и теоретических проблем метрологии ФГУП «ВНИИФТРИ», чтения автором лекций по метрологии и проведения занятий с аспирантами. В книге использованы материалы предшествовавших публикаций автора и совместных с Л.Н Брянским, Б.Н. Крупиным, Л.В. Юровым и С.В. Алёхиным. Настоящее 2-е издание переработано в связи с произошедшим переопределением Международной системы единиц (SI) и изменениями законодательных актов.

ВВЕДЕНИЕ

В предлагаемом читателям пособии по общим вопросам метрологии отражены сформировавшиеся к настоящему времени понятийно-терминологические представления в области метрологии, которые претерпели существенные изменения за последние два с лишнем десятилетия. В 1993 г. появился первый в истории России закон об обеспечении единства измерений, по-новому трактовавший практику законодательной и прикладной метрологии. В 2008 г. в новом варианте этого закона об обеспечении единства измерений нашли отражение международные тенденции развития метрологии. Происходит процесс внесения назревших изменений в положения закона, разработки подзаконных актов, установление сфер государственного регулирования в области обеспечения единства измерений и необходимость использования наиболее общей методологии метрологической прослеживаемости, пригодной для получения результатов измерений не только количественных, но и качественных свойств объектов; необходимость применения оценок не только погрешностей, но и неопределенностей измерений.

Наиболее подходящей основой для адекватности трактовки всех перечисленных процессов является теория шкал измерений. Теория шкал измерений является более общей понятийной системой (метасистемой) по отношению к системе метрологических понятий, соответствующих измерениям только пропорциональных и аддитивных величин. Используемые в пособии более общие определения известных терминов не противоречат общепринятым, являются пригодными для применения их к шкалам любого типа. Изложение основ метрологии с позиции этой теории и является основным отличием данной книги от других трудов по общим вопросам метрологии. Написание книги стало возможным после развития теории шкал до прикладного уровня. В то же время автор по возможности старался сохранить традиционные для метрологии положения. Нужно систематизировать накопленные многими поколениями метрологов знания и сделать необходимые расширительные обобщения и дополнения, более глубоко и логически обоснованно осмыслить ее положения, общие теоретические основы и практические приемы, соответствующие новым, нетрадиционным метрологическим задачам.

Книга не претендует на роль универсального справочника по метрологии. Ее задача – скорее ориентировать читателя в современных понятиях метрологии и множестве нормативных документов. В необходимых случаях определения терминов в книге отличаются от общеизвестных большей общностью и сформулированы так, чтобы

соответствующие термины были применимы к шкалам измерений различных типов (метрических и не метрических).

Нужно иметь в виду совершенно общее положение: всякое определение термина, обозначающего какое-либо понятие, обладает неполнотой – неопределенностью смысла. Наиболее полно смысл терминов, и вообще слов, раскрывается через контекст их применения в рассматриваемой предметной области. Это особенно важно для осмысливания метрологических терминов, которые многогранно взаимосвязаны на общем множестве смыслов. Структура книги, порядок представления материала в основном соответствуют межгосударственной рекомендации РМГ 29-2013 «ГСИ. Метрология. Основные термины и определения», к которой в Приложении А приведены некоторые схемы логической взаимосвязи между понятиями.

1. МЕТРОЛОГИЯ И ЕЕ РАЗДЕЛЫ

Метрология – наука об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства и способах достижения требуемой точности [1, 2]. Слово *«метрология»* образовано из двух греческих: *«metron» – мера* и *«logos» – учение* и означает *«учение о мерах»* или *«наука об измерениях»*. Понятийную основу метрологии составляют более трехсот специфических терминов с определениями, принятыми в законодательных, международных и межгосударственных документах [3, 6, 7]. Эти термины представлены в энциклопедических изданиях [8] и словарях, справочниках и многочисленных учебных пособиях, в которых зачастую не отражены произошедшие за последние годы понятийно-терминологические изменения в метрологии. Изучение основ метрологии связано с усвоением смысла и взаимосвязи этих актуализированных терминов.

Предмет метрологии также взаимосвязан со стандартизацией и подтверждением соответствия, в частности – сертификацией.

Стандартизация – деятельность по установлению правил и характеристик в целях их добровольного многократного использования, направленная на достижение упорядоченности в сферах производства и обращения продукции и повышение конкурентоспособности продукции, работ или услуг [41, ст. 2].

Сертификация – форма осуществляемого органом по сертификации подтверждения соответствия объектов требованиям технических регламентов, положениям стандартов или условиям договоров [4, ст. 2].

Историческая справка о метрологии. Развитие метрологии началось с появления материальных мер. Это подтверждается историческими памятниками. Вавилонская (Халдейская) система измерений была системой мер; она опиралась на материализованные меры длины, веса (массы) и объема. Такими же были древнеегипетская и все позднейшие системы мер. Первоначальные требования к измерениям встречаются в Библии – Ветхом Завете (12 век до н.э.). В незапамятные времена меры появились и в Древней Руси [9].

Первоначально предметом изучения метрологии было описание многообразия применявшихся во все времена в разных странах мер длины, площади, объёма, массы, времени и др., а также монет и количественных соотношений между ними. Важным этапом в развитии метрологии стало заключение в 1875 году Метрической конвенции (см. Приложение 3), по которой были учреждены Генеральная конференция мер и весов (ГКМВ), Международный комитет мер и весов (МКМВ) и Международное бюро мер и весов (МБМВ) и созданы международные

метрические эталонные меры (см. главу 14). Затем метрическая концепция была постепенно развита до принятия (1960 г.) основной для практического применения [2, 5] Международной системы единиц (SI, см. главу 4).

Применение метрологии позволяет получать измерительную информацию не только о количественных, но и качественных измеряемых свойствах объектов во всех сферах деятельности. Развитие теорий и их практическое применение немыслимо без первичной измерительной информации, полученной путём измерений в процессе познания. Эффективность любых банков данных, информационных и др. технологий, корректность торговых операций напрямую зависят от качества первичной, исходной измерительной информации. Последующие обработка, хранение и передача измерительной информации не могут устранить дефекты или недостаточность этой информации. На достижения, средства и методы метрологии опираются в своём развитии как фундаментальные, так и прикладные научные направления. Развитие метрологии – непременное условие прогресса науки и техники. В силу общественной значимости метрологию подразделяют на теоретическую, прикладную и законодательную.

Теоретическая метрология – раздел метрологии, предметом которого является разработка фундаментальных основ метрологии. Теоретическая метрология опирается на собственную, детально разработанную систему понятий, терминов и нормативных документов.

Прикладная (практическая) метрология – раздел метрологии, предметом которого являются вопросы практического применения разработок теоретической метрологии и положений законодательной метрологии. Прикладная метрология связана с воспроизведением шкал и единиц измерений, калибровкой, поверкой и применением средств измерений.

Законодательная метрология, *legal metrology* – раздел метрологии, предметом которого является установление обязательных технических и юридических требований, направленных на обеспечение единства измерений (ОЕИ) в интересах общества. Сопоставимость и признание результатов измерений в стране и на международном уровне, взаимозаменяемость деталей и устройств, выпускаемых на разных предприятиях, функционирование сетей связи и т.п. невозможно без унификации единиц и шкал измерений, порядка их использования. Такой деятельностью занимаются международные метрологические организации.

Основными законодательными актами по метрологии являются **Статья 71 Конституции Российской Федерации (РФ) и Федеральный закон «Об обеспечении единства измерений»** [3], устанавливающий основные организационные, экономические и правовые положения по

метрологической деятельности в стране. Следующим уровнем подзаконных актов законодательной метрологии является ряд Постановлений правительства РФ, административных регламентов и установленных порядков выполнения метрологических услуг, нормативных документов Государственной системы обеспечения единства измерений (ГСИ), возглавляемой **ГОСТ Р 8.000. Государственная система обеспечения единства измерений. Основные положения** [10]. По этому национальному стандарту **ГСИ состоит из правовой, технической и организационной подсистем**. ГСИ, таким образом, объединяет деятельность по законодательной, теоретической и прикладной метрологии с целью достижения единства измерений.

Правовой подсистемой ГСИ является комплекс взаимоувязанных законодательных и подзаконных актов, в том числе межотраслевых, нормативных документов, объединенных общей целевой направленностью и устанавливающих согласованные требования ко всем сторонам метрологической деятельности.

Техническую подсистему ГСИ составляют эталоны единиц величин и шкал измерений, стандартные образцы, стандартные справочные данные о физических константах и свойствах веществ и материалов, научно-исследовательские метрологические институты, испытательные, поверочные и калибровочные лаборатории.

Организационную подсистему ГСИ составляют: федеральные органы исполнительной власти, государственные научные метрологические институты, государственные региональные центры метрологии, метрологические службы федеральных органов исполнительной власти и юридических лиц, осуществляющих деятельность по обеспечению единства измерений, Государственная служба времени и частоты и определения параметров вращения Земли (ГСВЧ), Государственная служба стандартных образцов состава и свойств веществ и материалов (ГССО), Государственная служба стандартных справочных данных о физических константах и свойствах веществ и материалов (ГСССД).

Федеральные органы исполнительной власти (Минпромторг, Росстандарт) осуществляют функции по выработке государственной политики и нормативно-правовому регулированию, оказанию государственных услуг, управлению государственным имуществом в области обеспечения единства измерений и федеральному государственному метрологическому надзору.

По Федеральному закону РФ от 26.06.2008 № 102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений» [3, ст. 1] сфера государственного регулирования ОЕИ распространяется на измерения, к которым установлены обязательные требования в областях: здравоохранения; ветеринарной деятельности; охраны окружающей среды; гражданской обороны, защиты

населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, обеспечения пожарной безопасности, безопасности людей на водных объектах; обеспечения безопасных условий и охраны труда; производственного контроля за соблюдением установленных законодательством РФ требований промышленной безопасности к эксплуатации опасного производственного объекта; торговли, выполнения работ по расфасовке товаров; государственных учетных операций и учета количества энергетических ресурсов; оказания услуг почтовой связи, учета объема оказанных услуг электросвязи операторами связи и обеспечения целостности и устойчивости функционирования сети связи общего пользования; обороны и безопасности государства; геодезической и картографической деятельности; гидрометеорологии, мониторинга состояния и загрязнения окружающей среды; банковских, налоговых, таможенных операций и таможенного контроля; работ по оценке соответствия продукции и иных объектов обязательным требованиям в соответствии с законодательством Российской Федерации о техническом регулировании; проведения официальных спортивных соревнований, обеспечения подготовки спортсменов высокого класса; выполнения поручений суда, органов прокуратуры, государственных органов исполнительной власти; осуществления мероприятий государственного контроля (надзора); использования атомной энергии; обеспечения безопасности дорожного движения.

К сфере государственного регулирования ОЕИ относятся также измерения, предусмотренные законодательством РФ о техническом регулировании. Сфера государственного регулирования ОЕИ распространяется также на единицы величин, эталоны единиц величин, стандартные образцы и средства измерений, к которым установлены обязательные требования.

Обязательные требования к измерениям, эталонам единиц величин, стандартным образцам и средствам измерений устанавливаются законодательством РФ об ОЕИ и законодательством РФ о техническом регулировании. Обязательные требования к единицам величин, выполнению работ и (или) оказанию услуг по ОЕИ устанавливаются законодательством РФ об ОЕИ.

Особенности ОЕИ при осуществлении деятельности в области обороны и безопасности государства и в области использования атомной энергии устанавливаются Правительством РФ.

В Федеральном законе РФ [3, ст. 2] применяются следующие основные понятия:

1) ***аттестация методик (методов) измерений*** – исследование и подтверждение соответствия методик (методов) измерений установленным метрологическим требованиям к измерениям;

2) ***ввод в эксплуатацию средства измерений*** – документально оформленная в установленном порядке готовность средства измерений к использованию по назначению;

3) ***федеральный государственный метрологический надзор*** – контрольная деятельность в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений, осуществляемая уполномоченными федеральными органами исполнительной власти и заключающаяся в систематической проверке соблюдения установленных законодательством Российской Федерации об обеспечении единства измерений обязательных требований, а также в применении установленных законодательством Российской Федерации мер за нарушения, выявленные во время надзорных действий;

4) ***государственный первичный эталон единицы величины*** – государственный эталон единицы величины, обеспечивающий воспроизведение, хранение и передачу единицы величины с наивысшей в Российской Федерации точностью, утверждаемый в этом качестве в установленном порядке и применяемый в качестве исходного на территории Российской Федерации;

5) ***государственный эталон единицы величины*** – эталон единицы величины, находящийся в федеральной собственности;

6) ***единица величины*** – фиксированное значение величины, которое принято за единицу данной величины и применяется для количественного выражения однородных с ней величин;

7) ***единство измерений*** – состояние измерений, при котором их результаты выражены в допущенных к применению в Российской Федерации единицах величин, а показатели точности измерений не выходят за установленные границы;

8) ***измерение*** – совокупность операций, выполняемых для определения количественного значения величины;

9) ***испытания стандартных образцов или средств измерений в целях утверждения типа*** – работы по определению метрологических и технических характеристик однотипных стандартных образцов или средств измерений;

10) ***калибровка средств измерений*** – совокупность операций, выполняемых в целях определения действительных значений метрологических характеристик средств измерений;

11) ***методика (метод) измерений*** – совокупность конкретно описанных операций, выполнение которых обеспечивает получение результатов измерений с установленными показателями точности;

12) ***метрологическая служба*** – юридическое лицо, подразделение юридического лица или объединение юридических лиц, либо работник (работники) юридического лица, либо индивидуальный предприниматель,

либо подведомственная организация федерального органа исполнительной власти, его подразделение или должностное лицо, выполняющие работы и (или) оказывающие услуги по обеспечению единства измерений и действующие на основании положения о метрологической службе;

13) ***метрологическая экспертиза*** – анализ и оценка правильности установления и соблюдения метрологических требований применительно к объекту, подвергаемому экспертизе. Метрологическая экспертиза проводится в обязательном (обязательная метрологическая экспертиза) или добровольном порядке;

14) ***метрологические требования*** – требования к влияющим на результат и показатели точности измерений характеристикам (параметрам) измерений, эталонов единиц величин, стандартных образцов, средств измерений, а также к условиям, при которых эти характеристики (параметры) должны быть обеспечены;

15) ***обязательные метрологические требования*** – метрологические требования, установленные нормативными правовыми актами Российской Федерации и обязательные для соблюдения на территории Российской Федерации;

15.1) ***первичная референтная методика (метод) измерений*** – референтная методика (метод) измерений, позволяющая получать результаты измерений без их прослеживаемости. Первичная референтная методика (метод) измерений, находящаяся в федеральной собственности, является государственной первичной референтной методикой (методом) измерений;

16) ***передача единицы величины*** – приведение единицы величины, хранимой эталоном единицы величины или средством измерений, к единице величины, воспроизводимой или хранимой эталоном данной единицы величины или стандартным образцом, имеющим более высокие показатели точности;

17) ***поверка средств измерений*** (далее также – поверка) – совокупность операций, выполняемых в целях подтверждения соответствия средств измерений метрологическим требованиям;

18) ***прослеживаемость*** – свойство эталона единицы величины, средства измерений или результата измерений, заключающееся в документально подтвержденном установлении их связи с государственным первичным эталоном или национальным первичным эталоном иностранного государства соответствующей единицы величины посредством сличения эталонов единиц величин, поверки, калибровки средств измерений;

19) ***прямое измерение*** – измерение, при котором искомое значение величины получают непосредственно от средства измерений;

19.1) ***референтная методика (метод) измерений*** – аттестованная методика (метод) измерений, используемая для оценки правильности

результатов измерений, полученных с использованием других методик (методов) измерений одних и тех же величин;

20) ***сличение эталонов единиц величин*** – совокупность операций, устанавливающих соотношение между единицами величин, воспроизводимых эталонами единиц величин одного уровня точности и в одинаковых условиях;

21) ***средство измерений*** – техническое средство, предназначенное для измерений;

22) ***стандартный образец*** – образец вещества (материала) с установленными по результатам испытаний значениями одной и более величин, характеризующих состав или свойство этого вещества (материала);

23) ***технические системы и устройства с измерительными функциями*** – технические системы и устройства, которые наряду с их основными функциями выполняют измерительные функции;

24) ***технические требования к средствам измерений*** – требования, которые определяют особенности конструкции средств измерений (без ограничения их технического совершенствования) в целях сохранения их метрологических характеристик в процессе эксплуатации средств измерений, достижения достоверности результата измерений, предотвращения несанкционированных настройки и вмешательства, а также требования, обеспечивающие безопасность и электромагнитную совместимость средств измерений;

25) ***тип средств измерений*** – совокупность средств измерений, предназначенных для измерений одних и тех же величин, выраженных в одних и тех же единицах величин, основанных на одном и том же принципе действия, имеющих одинаковую конструкцию и изготовленных по одной и той же технической документации;

26) ***тип стандартных образцов*** – совокупность стандартных образцов одного и того же назначения, изготавливаемых из одного и того же вещества (материала) по одной и той же технической документации;

27) ***утверждение типа стандартных образцов или типа средств измерений*** – документально оформленное в установленном порядке решение о признании соответствия типа стандартных образцов или типа средств измерений метрологическим и техническим требованиям (характеристикам) на основании результатов испытаний стандартных образцов или средств измерений в целях утверждения типа;

28) ***шкала величины (шкала измерений)*** – упорядоченный набор значений величины;

29) ***эталон единицы величины*** – техническое средство, предназначенное для воспроизведения, хранения и передачи единицы величины.

Совокупность представленных здесь терминов и их определений предназначена для законодательного описания традиционной части ГСИ

и не охватывает всю понятийно-терминологическую систему современной метрологии, которая излагается далее. Здесь же приведем обобщенные определения нескольких основных понятий.

Единство измерений – состояние измерений, при котором их результаты выражены в узаконенных единицах измерений (величин) или шкалах измерений и оценены неопределенности или пределы погрешностей результатов измерений.

Средство измерений – объект, предназначенный для выполнения измерений, воспроизводящий и (или) хранящий какую-либо часть (точку) шкалы и имеющий нормированные метрологические характеристики**.**

Эталон – объект, предназначенный и узаконенный для воспроизведения и (или) хранения шкалы, ее части или размера единицы измерений и передачи их средствам измерений.

Метрологическая прослеживаемость – свойство результата измерения, в соответствии с которым результат может быть соотнесен с основой для сравнения через документированную непрерывную цепь калибровок, каждая из которых вносит вклад в неопределённость измерений.

Примечание. В этом определении «основой для сравнения» может быть практическая реализация определения единицы измерений или шкалы измерений в виде эталона или методики (метода) измерений.

При применении этих и других понятий, определенных в статье 2 Федерального закона от 26.06.2008 № 102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений», нужно иметь в виду, что с 20 мая 2019 г. действует новое определение Международной системы единиц (SI), утверждённое на 26-м заседании ГКМВ (Резолюцией 1, см. [50]). В обновлённой SI изменилась роль основных единиц (см. SI Brochure, 9e edition 2029; перевод на русский язык – www.vniim.ru/files/SI-2019,pdf). При этом появилась возможность дополнительных вариантов метрологической прослеживаемости к единицам SI. Поэтому требуется законодательное уточнение смысла принятых ранее определений понятия «прослеживаемость» и других понятий.

2. ИЗМЕРЯЕМЫЕ СВОЙСТВА, ВЕЛИЧИНЫ

Объект измерений, *objet of measurement* – объект деятельности (тело, вещество, явление, процесс), одно или несколько конкретных проявлений количественных или качественных свойств которого подлежат измерению. Объектами измерений являются как физические, так и нефизические объекты, например, информация. Примеры объектов измерений: вал, у которого измеряют диаметр; технологический процесс, во время которого измеряют температуру; Земля, на которой измеряют координаты местоположения.

Измеряемое свойство, *measurable property* – проявление общего для объектов измерений свойства, выделенного для познания и использования. Измеряют количественные и качественные свойства не только физических, но и нефизических объектов (биологических, психологических, информационных, социальных, экономических и др.). Особо выделяются всеобщие измеряемые свойства пространства и времени, не относимые к конкретным объектам; всё происходит во времени и пространстве.

Измеряемым свойствам дают названия, такие как масса, интервал времени, термодинамическая температура, цвет, количество информации, местоположение и т.д. Одни свойства при этом проявляются количественно (длина, масса, температура и т.п.), а другие – качественно. Например, цвет, поскольку не имеет смысла выражение типа «красный цвет больше (меньше) синего», местоположение тоже не имеет признака различия по размеру. Измеряемые количественные свойства называют измеряемыми величинами (величинами). Многообразие (количественное или качественное) проявлений любого свойства образует множество, отображение элементов которого на множество чисел или, в более общем случае, на систему условных знаков представляют собой *шкалу измерений* этого свойства. Такими системами знаков являются, например, множество обозначений (названий) цветов, совокупность классификационных символов или понятий, множество баллов оценки состояний объекта, множество действительных чисел и т.д. Элементы множеств проявления свойств находятся в определенных логических соотношениях между собой. Такими соотношениями могут быть «эквивалентность» (равенство), «отличие», «сходство» (близость) этих элементов, их количественная различимость («больше», «меньше»), реальная выполнимость операций сложения, вычитания, умножения, деления элементов множеств и т.д. Эти особенности свойств определяют типы соответствующих им шкал измерений. Иногда свойство объекта измерения определяется совокупностью нескольких количественных или нескольких качественных, или

даже совокупностью тех и других проявлений свойств объекта измерений. Такие обобщенные свойства называют комбинированными.

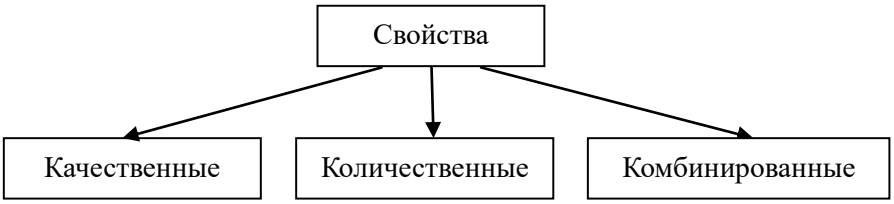


Рис. 2.1. Классификация измеряемых свойств [1, 2]

Качественное свойство, *неразмерное свойство, назывательное свойство, nominal property* – свойство объекта измерений, которое не имеет **размера**. Различные проявления такого свойство не имеют признака различия по размеру (количественного различия) и обозначаются словами, буквенно-цифровыми кодами или другими средствами. Примеры качественных свойств: цвет, относительное расположение, местоположение объектов в пространстве, геометрическая форма линий и поверхностей, последовательность аминокислот в полипептиде, группы крови человека.

Измеряемая величина, величина, *measurable quantity, measurand* – измеряемое свойство, характеризуемое количественными различиями, общее в качественном отношении для многих объектов измерений, но проявления которого различимы количественно. Определение, данное в VIM3 [6], включает также способ количественного выражения **размера величины** как числа и основы для сравнения. Указание основы для сравнения может касаться **единицы измерения**, **методики измерения, стандартного образца** или их комбинации. Определяемая здесь величина является скалярной. Однако вектор или тензор, компоненты которых являются величинами, также рассматриваются как величины.

Понятие «величина» не применимо к качественным (неразмерным) свойствам, описываемым шкалами наименований, поэтому понятие «свойство» является более общим по сравнению с понятием «величина».

Рассматриваемые в метрологии измеряемые величины принципиально отличаются от абстрактных математических величин тем, что являются конкретными количественными измеряемыми свойствами, качественное смысловое отличие которых обозначается их специальными названиями и буквенными символами, такими как масса m, температура T, сила F, электрическое сопротивление R и т.п. При этом пользуются понятием ***род (величины),*** *kind of quantity, kind* – **качественная определенность величины** для взаимного сопоставления величин. Количественно можно сравнивать величины только одного рода. Длина и

диаметр детали – однородные величины. Длина и масса детали – неоднородные величины. Однородные величины имеют одинаковую размерность. Однако величины одинаковой размерности не обязательно будут однородными.

Абстрагированные от конкретного качественного содержания математические величины используются в метрологии для построения шкал измерений. Количественная определенность измеряемой величины называется ***размером величины***, а оценка размера измеряемой величины по соответствующей ей шкале измерений в виде некоторого числа принятых для нее единиц измерения, чисел, баллов или иных количественных знаков называется ***значением величины***.

Размер величины, *size of quantity* – **количественная определенность величины**, присущая конкретному материальному объекту или явлению.

Единица измерений, *unit of measurement* – действительная скалярная величина, определенная и принятая по соглашению, с которой можно сравнить любую другую величину того же рода и выразить их отношение в виде числа. Более общее определение понятия «единица измерений (величины)» и комментарии к нему даны в главе 4.

Значение свойства – выражение положения качественного свойства конкретного объекта измерений на соответствующей шкале наименований.

Значение величины, *quantity value, value of a quantity, value* – выражение **размера величины** в виде некоторого числа принятых единиц, или чисел, баллов по соответствующей **шкале измерений**. В VIM3 [6] значение величины определено как число и основа для сравнения, совместно выражающие размер величины.

Способы выражения значений порядковых и многомерных (двухмерных, векторных, тензорных и др.) измеряемых величин устанавливаются на основе символики, принятой для соответствующих шкал измерений.

Числовое значение (величины), *numerical quantity value, numerical value of a quantity, numerical value* – отвлеченное число, входящее в **значение** (скалярной) **величины**. Чаще всего множество значений измеряемой величины обозначается действительными числами, однако в отличие от математических величин это не означает, что со значениями измеряемых величин всегда можно выполнять все арифметические операции. Правила и стилистика выражения значений величин описаны в разделе 4.1.

Классификация величин

Понятие измеряемой величины не применимо к качественным свойствам. Смысл термина «величина» с развитием науки подвергался ряду обобщений и, в соответствии с современными представлениями, измеряемые величины удобно разбить на три подкласса: порядковые (неархимедовы), скалярные и многомерные измеряемые величины (рис. 2.2).

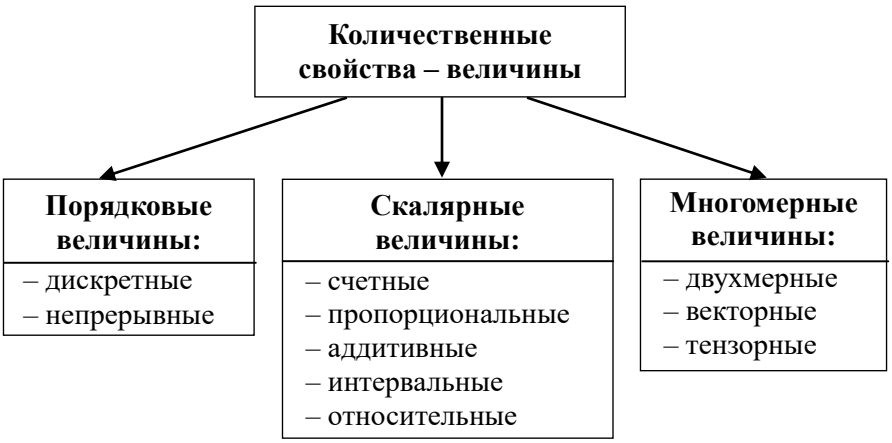


Рис. 2.2. Классификация измеряемых величин [1, 2]

***Порядковая величина**, неархимедова величина, ordinal quantity* – **величина**, определенная в соответствии с принятыми по соглашению **методом измерений** или **методикой измерений**, для которой может быть установлено, в соответствии с ее размером, общее порядковое соотношение с другими величинами того же **рода**, но для которой не применимы алгебраические операции над этими величинами.

П р и м е р ы : твердость по шкале С Роквелла; октановое число легкого топлива; сила землетрясения по шкале Рихтера; субъективный уровень боли по шкале от нуля до пяти.

П р и м е ч а н и е . Порядковые величины могут входить только в эмпирические соотношения и **не имеют ни единиц измерения**, **ни размерностей величин** (см. главу 4, раздел 4.1). Разности и отношения порядковых величин не имеют физического смысла.

Порядковые (неархимедовы) величины описываются логическими соотношениями эквивалентности и порядка по размеру («больше–меньше»), но к ним не применимо понятие пропорциональности, т.е. отсутствует возможность установления равенства интервалов (введения *единиц измерений*) и получения информации о том, во сколько раз одно проявление свойства больше или меньше другого проявления. Причем для порядковых (неархимедовых) величин не обязательно наличие нуля.

В математике это выражают так: для неархимедовых величин не выполняется аксиома Евдокса (или аксиома Архимеда): каковы бы ни были величины *«a»* и *«b»* одного и того же рода, существует такое натуральное число *«n»*, что $a < nb$ при $a > b$.

Отсутствие пропорциональности у порядковых величин невозможно устранить какими-либо усовершенствованиями моделей объектов или **шкал измерений** этих величин. В известных моделях встречаются как непрерывные, так и дискретные неархимедовы величины. Наличие неархимедовых величин многими воспринимается с трудом из-за привычки оперировать только арифметическими и алгебраическими понятиями и смешения их с привычными математическими скалярными величинами. Поэтому поясним особенность неархимедовых величин конкретными примерами.

Дискретными неархимедовыми величинами являются числа твердости по шкале Мооса, баллы силы землетрясений по шкале наблюдаемых разрушений, баллы силы ветра по шкале Бофорта и т.п. Непрерывными неархимедовыми величинами являются числа твердости по шкалам Бринелля, Роквелла, Виккерса и Шора, кислотные, бромные и йодные числа, октановые и цетановые числа, числа светочувствительности фотоматериалов и т.п. Очевидна неаддитивность перечисленных здесь величин – бессмысленность операции сложения этих величин или их интервалов. Также невозможно придумать даже мысленный эксперимент для получения ответа на вопрос: во сколько раз твердость по конкретной шкале у одного образца больше, чем у другого? Можно только определить расположение этих образцов по значениям чисел твердости в данной шкале. Это свидетельствует о принципиальной невозможности установления пропорциональности неархимедовых величин, т.е. невозможности преобразования их в привычные скалярные величины какими-либо модельными усовершенствованиями.

Аддитивная величина – **величина**, разные значения которой могут быть суммированы, умножены на числовой коэффициент, разделены друг на друга. К аддитивным величинам относятся длина (интервал протяженности), масса (покоя), интервалы времени и др.

Неаддитивная величина – величина, для которой суммирование ее значений не имеет смысла. Пример – термодинамическая температура.

Скалярные измеряемые величины являются основным подклассом свойств, используемых для количественного описания моделей объектов. Этот подкласс подразделяется на счетные, пропорциональные, аддитивные, интервальные и относительные величины (рис. 2.2).

Счетные измеряемые величины дискретны и выражаются положительными целыми числами для определения числа объектов в рассматриваемой реализации. Причем объекты могут быть не только

однородными (эквивалентными), например, электроны, нейтроны, яблоки, но и разнородными, например, предметы партии багажа.

Пропорциональные измеряемые величины выражаются непрерывным множеством положительных действительных чисел, начиная с нуля. Для этих величин имеют смысл суждение «во сколько раз больше или меньше», и, следовательно, операции арифметического вычитания, умножения и деления, но не имеет смысла операция сложения. Примером пропорциональной величины является термодинамическая температура, складывать термодинамические температуры объектов нет смысла.

Аддитивные измеряемые величины также выражаются непрерывным множеством положительных действительных чисел. К этим величинам применимы все арифметические операции, включая сложение, например, массы (покоя) объектов даже различной природы можно складывать. Имеются скалярные величины, которые в разных ситуациях обладают признаками пропорциональных или аддитивных величин. Например, электрические сопротивления резисторов при их последовательном соединении складываются арифметически – аддитивная величина, а при параллельном соединении – правило сложения совсем другое, и суммарное сопротивление в этом случае – пропорциональная величина. Понятия о счетных, пропорциональных и аддитивных величинах содержат в себе привычное логическое представление о нуле – нулевом количестве (нулевом значении) – бесконечно малом размере такого свойства.

Интервальные измеряемые величины отличаются тем, что для них невозможно логически обоснованно определить нулевое количество – нуль, однако интервалы таких величин имеют логическую структуру пропорциональных или аддитивных величин и поэтому имеют нуль. Для самих же интервальных величин невозможна операция сложения, но возможно определение условного (принятого по соглашению) нуля, от которого отсчитываются условно положительные и отрицательные значения интервальной величины. Интервальные измеряемые величины выражаются множеством всех положительных и отрицательных действительных чисел. Известным примером интервальной величины является текущее время, счисление которого (календарь) ведется от условного нуля, например, от рождества Христова, в положительную и отрицательную стороны, а интервалы времени, естественно, могут иметь нулевое значение (одновременность событий). Складывать интервалы времени можно, но складывать даты событий бессмысленно. Другой известной интервальной величиной является пространственная протяженность вдоль бесконечной прямой линии, на которой может быть обозначен условный нуль, а интервалы протяженности (расстояния, длины) имеют значения, начинающиеся с естественного нуля.

Естественной ***единицей измерений*** для счетных величин является арифметическая единица. Единицы измерения пропорциональных, аддитивных и интервальных величин устанавливают по соглашению, например, **Международной системой единиц**.

Относительные измеряемые величины в дополнение к признакам пропорциональных или аддитивных величин характеризуются логически предопределенными единицами измерений. Эта особенность обусловлена тем, что относительные величины являются по определению отношениями двух произвольных (не фиксированных) количественных проявлений (размеров) одной и той же счетной, пропорциональной или аддитивной измеряемой величины. Такие отношения выражаются действительными числами, для которых однозначной исходной единицей измерения является арифметическая единица. Относительными измеряемыми величинами являются разнообразные коэффициенты (пропускания, отражения, ослабления, затухания, усиления), глубина модуляции, добротность, коэффициент полезного действия, вероятность, числа Маха, Рейнольдса и др., критерии подобия и, наконец, размеры плоского и телесного углов.

Многомерные величины могут быть двухмерными, трехмерными (векторы), девятимерными (тензоры) и другой различной мерности, свойственной математическим понятиям различных видов. В этом ряду скалярные величины следует назвать одномерными. К многомерным величинам можно отнести и другие «не скалярные величины» (разного рода матрицы, тензоры более высокой мерности и др.). Для многомерных величин логическое соотношение «больше–меньше» в общем случае не имеет смысла; это соотношение имеет смысл для модулей некоторых двухмерных и трехмерных величин. Операции сложения и умножения многомерных величин имеют специфический смысл, например, сумма нескольких ненулевых векторов может быть равна нулю, а произведение векторов может быть скалярным или векторным. Примерами двухмерных измеряемых величин – конкретных свойств – являются: импеданс, характеризуемый совокупностью активной и реактивной составляющих (или модулем и фазой) полного электрического сопротивления; давление крови человека, характеризуемое совокупностью, так называемых, верхнего и нижнего давлений. Трехмерными измеряемыми величинами (векторами) являются скорость и ускорение движения в пространстве, сила, напряженность электрического поля и т.д. В качестве конкретных примеров девятимерных измеряемых величин – свойств можно привести тензоры механических напряжений, диэлектрической проницаемости, показателя преломления электромагнитного излучения (света) для анизотропных сред.

Пространственно-временные свойства [2, 32–35]**.** Только некоторые пространственно-временные свойства являются величинами, а в основном это такие свойства, которые невозможно назвать величинами,

но и считать их рядовыми качественными свойствами нелогично из-за их явного своеобразия. Поэтому будем называть эти свойства пространственными, временными и пространственно-временными. Особо многообразны пространственные свойства. Это обусловлено трехмерностью и беспредельностью реального пространства. Пространственными величинами (скалярными), характеризующими размеры объектов, являются расстояние (длина), площадь и объем, обобщенные определения которых имеются в математике (геометрии) (см., например, Гильберт Д. Основания геометрии. – М., Л.: Гостехиздат, 1948, более раннее издание: Петроград: Книгоиздательство «Сеятель» Е.В. Высоцкого, 1923; Погорелов А.В. Основания геометрии. – М.: Наука, 1968, 1979 – четвёртое стереотипное издание).

Причем эти привычные величины относятся к линиям, поверхностям и пространственным (геометрическим) фигурам произвольной формы. Расстояние между двумя точками в пространстве приходится считать интервалом (отрезком) на беспредельно протяженной, не имеющей нулевой точки, прямой линии, проходящей через эти точки. Может определяться длина произвольной кривой линии между двумя точками на ней, например, расстояние между населенными пунктами по железной дороге или длина отрезка эвольвентной поверхности на зубе шестерни.

Аналогично определяют площадь поверхности, ограниченной замкнутым контуром произвольной формы на плоскости или поверхности произвольной формы, и объем пространства (тела), ограниченного замкнутой поверхностью произвольной формы.

Пространственные свойства взаимоположения, местоположения, направления и ориентации, формы, симметрии, структуры и поляризации не являются величинами, т. к. для них бессмысленно логическое соотношение «больше–меньше».

Свойства взаимоположения относятся к точкам, линиям, поверхностям, фигурам и их комбинациям; точки могут находиться на линии, на поверхности, по одну или разные стороны поверхности (плоскости), внутри или снаружи замкнутой поверхности и т.д.; линии могут разнообразно пересекаться и скрещиваться, быть параллельными, лежать в одной плоскости или находиться на одной поверхности и т.д.; поверхности могут разнообразно располагаться относительно друг друга, касаться, пересекаться, находиться одна внутри другой и т.д. Фигуры также могут разнообразно располагаться в пространстве относительно друг друга (нос к носу, спина к спине, одесную – по правую руку, в колонну, в шеренгу, хаотично), касаться, пересекаться, находиться одна внутри другой (матрешки, рыбки в аквариуме) и т.д.

Свойства направления и ориентации в пространстве проявляются по отношению к другим объектам: множества направлений вертикали

(отвесной линии) и уклонений отвесной линии, горизонтального положения плоскости и азимутов в разных точках на Земле и в атмосфере, направление на Полярную звезду; ориентация оси вращения гироскопа, оси вращения Земли относительно плоскости эклиптики, диполей вдоль силовых линий поля и т.д.

Свойство формы (в пространстве) относится к линиям, поверхностям, объемным фигурам, плоским углам, телесным углам. Линии могут быть прямыми, кривыми, ломаными, лежащими в плоскости или на поверхности, произвольной формы в пространстве, замкнутыми, круговыми, овальными и т.д.

Поверхности могут быть плоскими, сферическими, эллиптическими, параболическими, ребристыми, волнистыми, замкнутыми, односвязными, произвольной формы. Объемные фигуры могут быть шаровыми, эллипсоидальными, яйцеобразными, многогранными, полыми, произвольной формы и т.п.

Термин «плоский угол» (или просто «угол») имеет два смысла: геометрическая фигура в форме двух лучей, исходящих из одной точки; величина, характеризующая размер разворота лучей, образующих эту геометрическую фигуру. Поэтому можно говорить о качественном различии форм углов: острый, тупой и дополнительный к острому, прямой, развернутый и полный угол, соответствующий множеству всех исходящих из точки направлений на плоскости.

Телесные углы могут иметь форму кругового или произвольного конуса, двухгранного угла с вершиной на ребре, трехгранного или многогранного конуса, полного телесного угла, соответствующего множеству всех направлений в пространстве, исходящих из точки. К тому же поверхности и фигуры могут находиться в соотношении подобия, а совокупности точек тоже могут располагаться подобным образом. Фундаментальное для природы свойство пространственной симметрии отражает соразмерность, одинаковость в расположении частей чего-нибудь по противоположным сторонам от точки, прямой и плоскости. Существуют и более сложные по расположению виды симметрии. Логическая структура этого свойства раскрывается через такие классификационные элементы, как центр симметрии, оси симметрии разного порядка N и соответствующие им повороты вокруг осей симметрии на углы $360^{o}/N$, плоскости зеркального и скользящего отражения, правые и левые винтовые оси симметрии различных порядков, одномерная трансляция применительно к полярным и неполярным бордюрам, орнаментам, лентам и другие элементы симметрии. Комбинации элементов симметрии образуют множество одномерных, двухмерных и трехмерных групп симметрии. Пространственные объекты могут быть симметричными или асимметричными (с отсутствующей или

нарушенной симметрией), антисимметричными. Точечные группы симметрии описывают внешнюю форму кристаллов (вид и число граней, ребер и вершин), а пространственные группы симметрии – расположение частиц (атомов, ионов, молекул) в кристаллах. Для кристаллов существует 32 точечные группы и 230 пространственных групп симметрии. Составляющие кристалл частицы могут располагаться в пространстве только в тех местах, которые им разрешены элементами симметрии данной пространственной группы. Для бордюров существует только 7 групп симметрии. Свойство симметрии относится также к физическим явлениям и законам. Например, симметрия кристаллов предопределяет и пространственную симметрию их индикатрис (и соответствующих тензоров) показателя преломления, диэлектрической проницаемости, магнитной восприимчивости, упругих напряжений и деформаций. Электрическое и магнитное поля имеют разную симметрию, поэтому напряженность электрического поля описывается полярным вектором, а напряженность магнитного поля – аксиальным вектором. Разнообразными сложными видами симметрии обладают животные и растительные организмы и их части. При этом для живых форм характерно еще наличие диссимметрии – невозможности совмещения фигуры с ее зеркальным изображением простым наложением. Наглядным примером диссимметричных фигур являются левая и правая кисти рук человека. Свойство пространственной структуры проявляется закономерным или хаотическим чередованием элементов одинаковой или различной формы. Множества с крайне нерегулярной разветвленной или изрезанной структурой называют фракталами различной природы и дробной мерности. Оказывается, что почти все природные образования имеют фрактальную структуру с признаками самоподобия. Различные виды проявления свойства пространственной поляризации относятся к частицам, средам, поперечным колебаниям и др. Например, поляризация атома – смещение электронов оболочки атома относительно его ядра под действием внешнего электрического поля, поляризация диэлектрика – относительное смещение противоположно заряженных частиц, входящих в состав атомов или молекул диэлектрика, под действием электрического поля. Другой пример поляризации частиц – преимущественная ориентация спинов элементарных частиц относительно направления движения их или направления магнитного поля. Плоская поляризация луча света означает то, что колебания электрического вектора во всех точках луча происходят в одной плоскости, проходящей через направление луча. Существуют также круговая и эллиптическая формы поляризации света.

Для описания пространственных свойств, не являющихся величинами, используются различные математические модели и теории: пространственные системы координат, векторное и тензорное

исчисления, аналитическая геометрия, теория групп, теория фракталов, специальные вектора и матрицы (четырехкомпонентный вектор Стокса, матрица 2 на 2 Джонса) для состояния поляризации света и др.

Принятой модели времени свойственны неограниченность в прошлое и будущее, однонаправленность («стрела времени»), неповторимость моментов времени, равномерность течения, возможность определения длительности интервалов времени – скалярной аддитивной величины в инерциальной системе отсчета. Исчисление хронологии событий возможно только от условного (принятого по соглашению) нуля. В пространственно-временной модели теории относительности оперируют единым пространственно-временным континуумом, который обладает особыми свойствами: относительностью в движущихся системах отсчета интервалов пространственной протяженности (длин) и интервалов времени, но и инвариантностью четырехмерных пространственно-временных интервалов, соответствующих двум событиям.

Комбинированные свойства (рис. 2.1) делить на подклассы не имеет смысла, т.к. они могут объединять различного рода качественные, количественные и пространственно-временные свойства для обозначения какого-либо характеризуемого ими общего свойства. Например, потребительское свойство хлебобулочных изделий определяется составом муки и добавок, технологическими параметрами приготовления теста и выпечки, цветом, вкусом, запахом, пространственной формой, твердостью, черствостью, датой выпечки, ценой и др. Состояние погоды характеризуется совокупностью показателей: давление, температура, влажность, скорость и направление ветра, степень и вид облачности, концентрация и вид аэрозолей, количество и вид осадков и др. Состояние здоровья характеризуется температурой тела, давлением крови, показателями зрения, слуха, двигательных и психологических реакций, личным ощущением своего состояния и многим другим. Такого рода многомерные комбинированные свойства не могут быть величинами, поэтому приходится классифицировать их как качественные свойства, даже если в совокупность показателей входят и величины (количественные свойства). Поэтому, в принципе, можно обозначить их подклассом качественных свойств. Комбинированные свойства принципиально невозможно сводить к одномерным величинам без искажения их логической структуры: сведение их к одномерным показателям (шкалам) опасно потерей адекватности оценок.

Уравнение связи (между величинами), *quantity equation* – математическое соотношение между величинами, основанное на законах природы и не зависящее от единиц измерения.

Уравнение связи между числовыми значениями (величин), *numerical value equation, numerical quantity value equation* –

математическое соотношение, связывающее числовые значения величин, которое основано на данном уравнении связи между величинами и определенных единицах измерения.

Пример. В уравнении связи между величинами для кинетической энергии частицы, $T = (1/2)mu^2$, если $m = 2$ кг и $u = 3$ м/с, то $\{T\} = (1/2)\times 2\times 3^2$ – это уравнение связи между числовыми значениями, дающее числовое значение 9 для T в джоулях.

Исчисление величин, *quantity calculus* – набор математических правил и операций, применяемый к **величинам**, которые не являются **порядковыми величинами**.

Примечание. В исчислении величин **уравнение связи между величинами** предпочтительнее, чем **уравнение связи между числовыми значениями**, потому что уравнения связи между величинами не зависят от выбора **единиц измерения**, тогда как уравнения связи между числовыми значениями – зависят.

Безразмерностные величины *(величины с размерностью единица), dimensionless quantity* – скалярные относительные измеряемые величины (отношения произвольных значений одноименных величин) и счетные измеряемые величины, математические константы и отвлеченные числа (о понятии «размерность величины» см. главу 4, раздел 4.1, пункт 2.3.3 Размерности величин). Безразмерностные измеряемые величины выражаются в безразмерностных единицах абсолютных **шкал измерений** (арифметических единицах, процентах, радианах, стерадианах, октавах, битах, байтах, белах и др.). **Размер единицы измерения** (количественная определенность) таких единиц не связан с какими-либо **системами единиц измерений**. Безразмерностными измеряемыми величинами являются: КПД, добротность колебательной системы, коэффициенты преломления, пропускания и усиления, глубина модуляции, критерии подобия (число Маха, число Рейнольдса и др.) и т.п. Логарифмы безразмерностных величин образуют логарифмические шкалы с плавающим нулем, значения в которых выражаются в белах [14]. Часто образуют условно безразмерностные величины путем деления энергетических и силовых величин на некоторые фиксированные (опорные) значения тех же величин. Логарифмы условно безразмерностных величин образуют логарифмические шкалы с фиксированным нулем, соответствующим опорному значению (см. **Логарифмические единицы**). Результаты измерений по таким шкалам даются с указанием опорных значений, например, уровень мощности +20 дБ (отн. 1 мВт).

3. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ТЕОРИИ ИЗМЕРЕНИЙ. ШКАЛЫ ИЗМЕРЕНИЙ [11]

Шкала (измерений), *measurement scale* – отображение множества различных проявлений количественного или качественного свойства на принятое по соглашению упорядоченное множество чисел или другую систему логически связанных знаков (обозначений) (рис. 3.1).

Рис. 3.1. Логика построения шкал измерений

Примечания:

1. Понятие «шкала измерений» (шкала) не следует отождествлять с отсчетным устройством (шкалой) средства измерений.

2. В соответствии с логической структурой проявления свойств различают пять основных типов шкал: наименований, порядка, разностей (интервалов), отношений и абсолютные.

3. Примерами систем знаков, образующих шкалы измерений, являются множество баллов оценки свойств объектов, множество обозначений (названий) цвета, множество названий состояния объекта, совокупность классификационных символов или понятий, множество точек в модельной системе координат.

4. Шкалы разностей и отношений объединяют термином «метрические шкалы».

5. Различают одномерные и многомерные шкалы измерений.

Принятая опорная шкала, *conventional reference scale* – **шкала значений свойства (величины)**, установленная официальным соглашением. Практическая реализация различных шкал измерений (опор для сравнения) возможна в виде: первичных референтных методик измерений (первичных методов измерений) (см. главу 5); эталонов единиц и шкал измерений (см. главу 9).

Спецификация шкалы измерений, *specification for scale of measurements* – принятый по соглашению документ, содержащий определение шкалы и (или) описание правил и процедур воспроизведения данной шкалы (или единицы шкалы, если она существует).

Примечания:

1. Некоторые метрические шкалы, например, шкалы массы и длины, достаточно полно специфицируются стандартизованными определениями единиц измерений.

2. Спецификации многих, даже метрических шкал, кроме определения единиц измерений, содержат дополнительные положения. Например, международная температурная шкала МТШ-90 содержит указания о воспроизведении реперных точек; спецификация шкалы световых измерений содержит не только определение единицы измерений силы света – канделы, но и табулированную функцию относительной спектральной световой эффективности монохроматического излучения для дневного зрения.

Шкала величины, *scale of a quantity* – шкала измерений количественного свойства (величины); упорядоченная совокупность значений величины, служащая исходной основой для измерений данной величины.

Примеры:

1. Температурные шкалы Цельсия, Фаренгейта, Реомюра.

2. Международная температурная шкала, состоящая из ряда реперных точек, значения которых приняты по соглашению между странами Метрической конвенции и установлены на основании точных измерений, предназначена служить исходной основой для измерений температуры.

3. Шкалы времени.

4. Шкалы твердости Бринелля, Роквелла, Виккерса, Шора.

Аналогичный термин ***шкала значений величины***, *quantity-value scale* – упорядоченная совокупность **значений величины**, служащая исходной основой для **измерений** данной **величины**; упорядоченное множество значений величины данного рода, используемое для ранжирования в соответствии с размером величин этого рода.

Пример. Международная температурная шкала, состоящая из ряда реперных точек, значения которых приняты ГКМВ по соглашению между странами Метрической Конвенции и установлены на основании

точных измерений, предназначена служить исходной основой для измерений температуры.

***Тип шкалы**, type of a scale* – классификационный признак данной шкалы измерений, характеризующий совокупность присущих ей логических соотношений между различными проявлениями измеряемого свойства.

Различают пять основных типов шкал: наименований, порядка, разностей (интервалов), отношений и абсолютные (табл. 3.1).

Таблица 3.1

Основные признаки и особенности шкал различных типов

Признак типа шкалы измерений	Тип шкалы измерений					
	Наименований	Порядка	Разностей (интервалов)	Отношений		Абсолютные
				1-го рода	2-го рода	
Допустимые логические и математические соотношения между проявлениями свойств	Эквивалентность, сходство, различие свойств	Эквивалентность, различие, порядок	Эквивалентность, порядок, суммирование интервалов	Эквивалентность, порядок, пропорциональность	Эквивалентность, порядок, суммирование	Эквивалентность, порядок, пропорциональность, иногда суммирование
Наличие нуля	Не имеет смысла	Необязательно	По соглашению	Имеется естественное определение нуля		
Наличие единицы измерений	Не имеет смысла		Размер единицы по соглашению			Размер единицы по естественному критерию
Допустимые преобразования	Изоморфное отображение	Монотонные преобразования	Линейные преобразования	Умножение на число		Отсутствуют

***Шкала наименований,** scale of denominations* – шкала измерений качественного (номинативного, неразмерного) свойства, характеризующаяся только соотношениями эквивалентности, сходства или отличиями проявлений этого свойства.

Примечания:

1. Множество проявлений (реализаций) качественного свойства может быть упорядочено по признаку близости (сходства) качественных различий и (или) по признаку возможных количественных различий в некоторых подмножествах проявлений свойства. Например, шкалы измерений цвета опираются на трехкоординатную модель цветового

пространства, упорядоченную по цветовым различиям (качественный признак) и яркости (количественный признак).

2. Отличительные признаки шкал наименований: неприменимость в них понятий нуля, единицы измерений, размерности; допустимость только изоморфных или гомоморфных преобразований; недопустимость изменения спецификаций, описывающих конкретные шкалы. Чаще всего шкалы наименований устанавливаются рядом «классов эквивалентности».

Шкалы наименований отражают качественные (неразмерные) свойства. Их элементы характеризуются только соотношениями эквивалентности (равенства), отличия и сходства конкретных качественных проявлений свойств. В шкалах наименований нельзя ввести понятия единицы измерений, а, следовательно, и размерности, в них отсутствует также нулевой элемент. Однако возможны некоторые статистические операции при обработке результатов измерений в этих шкалах, например, можно найти модальный или наиболее многочисленный по результатам измерений класс эквивалентности.

Примеры шкал наименований:

– шкалы измерений цвета – колориметрические системы, стандартизованные Международной комиссией по освещению (МКО). В наиболее распространенной стандартной колориметрической системе МКО 1931 г. цвет определяется тремя координатами цвета *X, Y, Z* в модельном трехмерном неэвклидовом пространстве с использованием спектральных характеристик источников оптического излучения, отражающих и пропускающих свет объектов, и эмпирических стандартизованных функций сложения цветов (Публикация МКО № 15);

– геодезические шкалы для обозначения местоположения на Земле в установленных системах координат (геодезические координаты, астрономические координаты, геоцентрические координаты, плоские прямоугольные геодезические координаты и др.);

– шкалы пространственной симметрии (шкала групп симметрии кристаллов и т.п.);

– шкалы запахов;

– шкала групп крови человека с учетом резус-фактора и т.п.

Шкала порядка, *scale of an order****, шкала (значений) порядковой величины,*** *ordinal quantity-value scale, ordinal value scale* – **шкала измерений** количественного свойства (величины), характеризующаяся соотношениями эквивалентности и порядка по возрастанию (убыванию) различных проявлений свойства. Шкала значений величины для порядковой величины.

Примечания:

1. Шкала (значений) порядковой величины может устанавливаться путем **измерений** в соответствии с **методикой измерений**.

2. Отличительные признаки шкал порядка: неприменимость в них понятий «единица измерений» и «размерность»; необязательность наличия нуля; допустимость монотонных преобразований; недопустимость изменения спецификаций, описывающих конкретные шкалы.

Примеры:

1. Шкала чисел твердости по Роквеллу С.

2. Шкала октановых чисел моторного топлива.

Шкалы порядка описывают свойства, для которых имеют смысл не только соотношения эквивалентности, но и соотношения порядка по возрастанию или убыванию количественного проявления свойства. Узкоспециализированные шкалы порядка широко применяют в методах испытаний различной продукции.

В этих шкалах также нельзя ввести единицы измерений из-за того, что они принципиально нелинейны: логически невозможно установить равенство интервалов на различных участках шкалы. Результаты измерений в таких шкалах выражают в числах, баллах, степенях, уровнях, а не в единицах измерений. Хотя результаты измерений в таких шкалах часто обозначают непрерывными множествами действительных арифметических чисел, невозможно подразумевать пропорциональность этих значений (логически невозможно определить, во сколько раз один объект больше или меньше другого). Результаты измерений в баллах, степенях, уровнях выражают дискретными рядами натуральных чисел. Шкалы порядка допускают монотонные преобразования, в них может присутствовать или отсутствовать нуль шкалы.

Примеры шкал порядка:

– шкалы твердости материалов: металлов (международные шкалы Бринелля, Роквелла, Виккерса, Шора), минералов, резины, пластмасс и др.;

– шкалы интенсивности и балльности землетрясений:

– шкалы силы ветра и состояния поверхности моря (шкала Бофорта и др.);

– шкалы белизны различных объектов (материалов, продуктов, изделий), например, бумаги, древесины, муки и др.;

– шкалы чисел светочувствительности фотоматериалов;

– шкалы громкости, уровней громкости;

– шкалы интенсивности запаха и вкуса воды;

– шкалы октановых и цетановых чисел топлив для двигателей;

– шкала чисел падения для зерна и муки;

– шкала оценки событий на атомных электростанциях;

– шкалы кислотных, йодных, бромных, перманганатных, медных, хлорных, бентонитовых, формольных, перекисных, карбонильных, эфирных и др. чисел для различных материалов и продуктов.

***Шкала разностей (интервалов)**, scale of differences (intervals)* – шкала измерений количественного свойства (величины), характеризующаяся соотношениями эквивалентности, порядка, суммирования интервалов различных проявлений свойства.

Примечание. Отличительные признаки шкал разностей: наличие устанавливаемых по соглашению нуля и единицы измерений, применимость понятия «размерность»; допустимость линейных преобразований; допустимость изменения спецификаций, описывающих конкретные шкалы.

Шкалы разностей (интервалов) отличаются от шкал порядка тем, что для описываемых ими свойств имеют смысл не только соотношения эквивалентности и порядка, но и равенства и суммирования интервалов (разностей) между различными количественными проявлениями свойств. Характерный пример – шкала интервалов времени. Интервалы времени (например, длительности работы, учебы) можно складывать и вычитать, но складывать даты каких-либо событий бессмысленно. Другой пример: шкалу длин (расстояний) – пространственных интервалов определяют путем совмещения нуля линейки с одной точкой, а отсчет выполняют у другой точки. К шкалам этого типа относятся и практические шкалы температур с условным нулем. Шкалы разностей имеют условные (принятые по соглашению) единицы измерений и условные нули, основанные на каких-либо реперах. В этих шкалах допустимы линейные преобразования, в них применимы процедуры для оценивания математического ожидания, стандартного отклонения и др.

Примеры шкал разностей:

– Международная шкала равномерного атомного времени ТА, в которой размер единицы соответствует определению секунды в Международной системе единиц (СИ). Шкала ТА была совмещена со шкалой UT2 в 12 ч всемирного времени 1 января 1964 г.;

– шкала всемирного времени UT0, длительность секунды в которой равна средней солнечной секунде;

– шкала всемирного времени UT1, отличающаяся от UT0 поправкой на перемещения полюсов Земли;

– шкала всемирного времени UT2, отличающаяся от UT1 поправкой на сезонную неравномерность вращения Земли;

– шкала координированного времени UTC, в которой размер секунды такой же, как в ТА, но начало счета может меняться ровно на 1 с, чтобы расхождения между UTC и UT2 не превышали 0,9 с;

– календари (григорианский, юлианский, мусульманский, лунный и др.);

– шкала температуры по Цельсию, в которой единица измерений – градус Цельсия – равна кельвину и за условный нуль принята термодинамическая температура 273,15 К;

– шкала окислительных потенциалов водных растворов.

Шкала отношений, *scale of ratios* – шкала измерений количественного свойства (величины), характеризующаяся соотношениями эквивалентности, порядка, пропорциональности (допускающими в ряде случаев операцию суммирования) различных проявлений свойства.

Примечания:

1. Отличительные признаки шкал отношений: наличие естественного нуля и устанавливаемой по соглашению единицы измерений; применимость понятия «размерность»; допустимость масштабных преобразований, допустимость изменения спецификаций, описывающих конкретные шкалы.

2. Шкалы отношений, в которых не имеет смысла операция суммирования, называют «пропорциональными шкалами отношений» (1-го рода), а шкалы, в которых эта операция имеет смысл, называют «аддитивными шкалами отношений» (2-го рода). Например, шкала термодинамических температур – пропорциональная, шкала масс – аддитивная.

В шкалах отношений существуют условные (принятые по соглашению) единицы и естественные нули. Шкалы отношений широко используют в физике и технике, в них допустимы все арифметические операции, кроме суммирования в шкалах 1-го рода.

Примеры шкал отношений:

– шкала массы покоя (аддитивная);

– шкала термодинамической температуры (пропорциональная);

– шкала частот, в которой размер единицы соответствует определению герца в СИ;

– шкала термодинамической температуры, в которой размер единицы соответствует определению кельвина в СИ (максимально приближена к этой шкале международная температурная шкала МТШ-90, опирающаяся на ряд реперных точек);

– шкала яркости оптического излучения, в которой размер единицы соответствует определению канделы в СИ с использованием для различных по спектру излучений стандартизованной Международной комиссией по освещению (МКО) эмпирической функции относительной спектральной световой эффективности монохроматического излучения для дневного зрения. Эта шкала является исходной для шкал всех световых величин;

– шкалы уровня звука A, B, C и D, стандартизованные на международном уровне. Уровень звукового давления в этих шкалах

принято выражать в логарифмических единицах (в децибелах относительно опорного значения $2 \cdot 10^{-5}$ Па);

– шкалы измерений раздражающего действия шума (шумности и уровней воспринимаемого шума), стандартизованные на международном уровне;

– аудиометрические шкалы (для измерения остроты и степени потери слуха);

– псофометрические шкалы (для измерения мешающего действия шумов в линиях связи);

– шкалы доз (поглощенной, эквивалентной) и мощности доз ионизирующих излучений;

– шкала практической солености морской воды (ШПС-78);

– Международная сахарная шкала, установленная рекомендацией МР14 Международной организации законодательной метрологии (МОЗМ);

– шкалы жесткости воды.

Абсолютная шкала, *absolute scale* – шкала отношений (пропорциональная или аддитивная) относительной величины.

Примечания:

1. Отличительные признаки абсолютных шкал: наличие естественных (не зависящих от принятой системы единиц) нуля и арифметической единицы измерений; допустимость только тождественных преобразований, допустимость изменения спецификаций, описывающих конкретные шкалы.

2. Результаты измерений в абсолютных шкалах могут быть выражены не только в арифметических единицах, но и в процентах, промилле, битах, децибелах (см. логарифмические шкалы).

3. Единицы абсолютных шкал могут быть применены в сочетании с единицами размерностных величин. Например, плотность записи информации в битах на сантиметр.

4. Разновидностью абсолютных шкал являются дискретные (целочисленные, счетные, квантованные) шкалы, в которых результат измерения выражается числом частиц, квантов или других единичных объектов, эквивалентных по количественному проявлению измеряемого свойства. Например, значение электрического заряда выражается числом электронов, значение энергии монохроматического электромагнитного излучения – числом квантов (фотонов). Иногда за единицу измерений в таких шкалах принимают какое-то определенное число частиц (квантов), например, один моль, т.е. число частиц, равное числу Авогадро, со специальным названием.

Абсолютные шкалы обладают всеми признаками шкал отношений, но дополнительно в них существуют естественные однозначные, принятые по определениям, единицы измерений. Такие шкалы используют для

измерений относительных величин (отношений одноименных величин: коэффициентов усиления, ослабления, КПД, коэффициентов отражений и поглощений, амплитудной модуляции и т.д.).

Примеры абсолютных шкал:

– шкала плоских углов с единицей измерений по СИ – радиан;

– шкала телесных углов с единицей измерений по СИ – стерадиан;

– шкалы коэффициентов: амплитудной модуляции, нелинейных искажений, усиления, ослабления, отражения;

– шкала добротности колебательных систем;

– шкала относительной диэлектрической проницаемости;

– шкалы блеска;

– шкалы частотных интервалов, используемые в акустических измерениях;

– шкала относительной влажности.

Абсолютная ограниченная шкала, *absolute limited scale* – абсолютная шкала, диапазон значений которой находится в пределах от нуля до единицы (или некоторого предельного значения по спецификации шкалы).

Одномерная шкала, *one-dimensional scale* – шкала измерений свойства объекта, которая характеризуется одним параметром и результаты измерений, в которой выражаются одним числом или знаком (обозначением).

Многомерная шкала, *multidimensional scale* – шкала измерений свойства объекта, которая характеризуется двумя или более параметрами и результаты измерений в которой выражаются двумя или более числами или знаками (обозначениями).

Примечания:

1. Некоторые свойства, в принципе, невозможно описать одним параметром. Например, импеданс и комплексный коэффициент отражения описываются двумя параметрами, образующими двухмерные шкалы; цвет описывается тремя координатами в моделях цветовых пространств, образующих трехмерные шкалы.

2. Многомерные шкалы могут быть образованы сочетанием шкал различных типов.

3. Часто в многомерных шкалах устанавливается пространственная или абстрактная система специальных координат, например, для измерения векторов скоростей, ускорений, для геодезических координат.

Большинство свойств описывают одномерными шкалами, однако существуют свойства, описываемые многомерными шкалами, – трехмерные шкалы цвета в колориметрии, двухмерные шкалы электрических импедансов, многомерная шкала параметров вращения Земли, в которой определяют положение оси вращения в теле Земли,

направление оси вращения в космическом пространстве и изменения угловой скорости вращения Земли и др.

***Логарифмическая шкала**, logarithmic scale* – шкала измерений, построенная на основе систем логарифмов.

Примечание. Для построения логарифмических шкал обычно используются системы десятичных или натуральных логарифмов, а также система логарифмов с основанием два.

Шкалы разностей (интервалов), отношений и абсолютные шкалы допускают логарифмическое преобразование, часто применяемое на практике, что приводит к изменению типа шкал. Такие шкалы называют логарифмическими**.** Практическое распространение получили логарифмические шкалы на основе применения систем десятичных и натуральных логарифмов, а также логарифмов с основанием два [14].

Операция логарифмирования может быть применена только к безразмерностным величинам. Поэтому перед логарифмированием размерностную величину преобразуют в безразмерностную путем ее деления на принятое по соглашению произвольное или опорное значение той же величины. Затем вычисляют логарифм полученной безразмерностной величины.

Примеры таких шкал:

– шкала водородного показателя pH водных растворов (десятичного логарифма активности ионов водорода в грамм-молях на литр, взятого с обратным знаком), реализуемая с использованием ряда реперных растворов;

– шкалы ионометрических показателей (десятичных логарифмов концентраций ионов химических элементов в растворе, взятых с обратным знаком).

В зависимости от типа шкалы, подвергнутой логарифмическому преобразованию, логарифмические шкалы могут быть двух видов. При логарифмическом преобразовании абсолютных шкал получают абсолютные логарифмические шкалы, называемые иногда логарифмическими шкалами с плавающим нулем, поскольку в них не зафиксировано опорное значение. При логарифмическом преобразовании шкал отношений и интервалов получают логарифмическую шкалу интервалов с фиксированным нулем, соответствующим принятому опорному значению преобразуемой шкалы.

***Логарифмическая абсолютная шкала,** logarithmic absolute scale* – логарифмическая шкала, получаемая логарифмическим преобразованием $L = \log X$ безразмерностной величины X, описываемой абсолютной шкалой.

Примечание. Другое наименование этой разновидности шкалы – *логарифмическая шкала с плавающим нулем*.

Примерами таких шкал являются шкалы усиления (ослабления) сигнала в децибелах. Для значений величин в абсолютных логарифмических шкалах допустимы операции сложения и вычитания.

Логарифмическая шкала разностей, *logarithmic scale of differences* – логарифмическая шкала, получаемая при логарифмическом преобразовании величины, описываемой шкалой отношений или интервалов в шкале разностей, т.е. шкала, определяемая зависимостью $L = \log (X/X_0)$, где X – текущее, а X_0 – принятое по соглашению опорное значение преобразуемой величины. Выбор опорного значения X_0 определяет нулевую точку логарифмической шкалы разностей.

В радиотехнике в качестве опорного чаще всего принимают значения 1 мВт, 1 В, 1 мкВ; в акустике – 20 мкПа и др. К этим шкалам в общем случае нельзя прямо применять ни одно арифметическое действие; сложение и вычитание величин, выраженных в значениях таких шкал, должны быть проведены путем нахождения их антилогарифмов, выполнения необходимых арифметических операций и повторного логарифмирования результата.

Биофизическая шкала, *biophysical scale* – шкала измерений свойства физического фактора (стимула), модифицированная таким образом, чтобы по результатам измерений этого свойства можно было прогнозировать уровень или характер реакции биологического объекта на воздействие этого фактора.

В метрологической практике существует ряд шкал, которыми описываются реакции биологических объектов, прежде всего человека, на воздействующие на них физические факторы. К ним относятся шкалы световых и цветовых измерений, шкалы восприятия звуков, шкалы эквивалентных доз ионизирующих излучений и др. Такие шкалы любого типа принято называть биофизическими шкалами. Они строятся по моделям, так модифицирующим (трансформирующим) результаты измерений свойства стимула, чтобы было соответствие между результатами измерений и характеристикой биологической реакции (гомоморфное отображение множества стимулов на множество реакций). При этом некоторому подклассу множества стимулов могут соответствовать эквивалентные реакции. Такая модифицированная шкала стимулов по логической структуре приближается к структуре шкалы реакций и приобретает некоторую прогностическую ценность. Однако, как правило, биофизическая шкала стимулов и шкала соответствующих реакций являются шкалами разных типов, поэтому на прогностические суждения о реакциях, вызываемых стимулами, нельзя прямо переносить логические соотношения шкалы стимулов. Так, например, шкала яркостей с точки зрения стимулов является неограниченной аддитивной шкалой

отношений, а с точки зрения восприятия человеком – шкалой порядка в ограниченном снизу и сверху диапазоне значений стимулов.

***Нуль шкалы**, zero of a scale* – начальная точка шкал порядка (некоторых), интервалов, отношений и абсолютных.

Примечание. Различают естественный и условный нули шкал.

***Естественный нуль шкалы,** natural zero of a scale* – нуль шкалы, соответствующий бесконечно малому количественному проявлению измеряемого свойства.

***Условный нуль шкалы,** conventional zero of a scale* – нуль шкалы разностей (интервалов) или шкалы порядка, которому по соглашению присвоено нулевое значение измеряемого свойства (величины).

Примечание. Шкала может быть установлена по обе стороны условного нуля. Например, в наиболее распространенной календарной шкале за условный нуль принято событие – Рождество Христово. Поэтому общепринято обозначение «... лет от или до Рождества Христова».

***Точка шкалы,** point of a scale* – одно из значений шкалы измерений.

***Класс эквивалентности**, class of equivalence* – подмножество проявлений измеряемого свойства, принятых условно неразличимыми в шкале измерений этого свойства.

***Диапазон шкалы измерений,** range of measurements scale* – пределы изменений значений измеряемого свойства, охватываемые данной конкретной реализацией шкалы.

4. ЕДИНИЦЫ ИЗМЕРЕНИЙ И ИХ СИСТЕМЫ

Единица измерений (величины), *measurement unit (of quantity), unit of measurement, unit* – **величина** фиксированного **размера,** которой присвоено **числовое значение,** равное 1 в соответствующей шкале измерений, определяемая и принимаемая по соглашению для количественного выражения однородных с ней величин.

Примечания:

1. На практике широко применяется понятие *узаконенные единицы,* которое раскрывается как система единиц и (или) отдельные единицы, установленные для применения в стране в соответствии с законодательными актами.

2. Термин «единица величины» является эквивалентным термину «единица измерений».

3. Термин «единица физической величины», обозначающий более узкое понятие, применять не рекомендуется, так как невозможно определить границы его применения.

4. Понятие «единица измерений» не имеет смысла для свойств, описываемых шкалами наименований и порядка.

5. Размер единиц измерений величин, описываемых абсолютными шкалами, однозначно определяется характером измеряемых величин.

Размер единицы измерений устанавливается путем смыслового описательного определения. Не следует смешивать абстрактное понятие «единица измерений» с «**мерой** величины» – разновидностью **средства измерений**. Единицы измерений объединяют в **системы единиц измерений**, в которых различают основные и производные единицы, кратные и дольные единицы. Единицам, входящим в конкретную систему единиц измерений, приписывают символическую **размерность**, отражающую их связь с основными единицами этой системы. ***Размерность единицы измерений (величины),*** *размерность, unit dimension, dimension of a unit, dimension* (см. раздел 4.1) совпадает с размерностью соответствующей величины, так как по определению единица измерений является той же величиной фиксированного размера.

Применяют также **внесистемные единицы** и единицы **безразмерностных величин (**величин с размерностью единица).

Единицы измерений имеют присвоенные им по соглашению наименования и обозначения.

Сокращенный термин «единица» часто сочетают с наименованием величины, например, «единица массы». Единицы измерений величин одинаковой размерности могут иметь одинаковые наименования и обозначения, даже когда величины не являются однородными. Например,

джоуль на кельвин и Дж/К будут соответственно наименованием и обозначением как для единицы измерения теплоемкости, так и для единицы измерения энтропии, которые не рассматриваются как однородные величины. Однако в некоторых случаях наименования определенных единиц измерения ограничены использованием только с величинами определенного рода. Например, единица измерения «секунда в минус первой степени» (1/с) называется герцем (Гц), когда ее используют для частоты, или беккерелем (Бк), когда ее используют для активности радионуклидов.

Размер единицы измерений величины, *размер единицы* – количественная определенность единицы измеряемой величины, установленная принятым для нее определением. Размеры единиц **Международной системы единиц (SI, СИ)** установлены резолюциями **ГКМВ.**

Система единиц измерений (величин), *система единиц измерения, система единиц, system of units (of measurement)* – совокупность **основных единиц** и **производных единиц** вместе с их **кратными** и **дольными** единицами, определенными в соответствии с установленными правилами для данной системы единиц**.**

Число основных единиц в системе единиц выбирается из соображений удобства ее применения. В теоретической физике находят применение так называемые **естественные системы единиц**.

Естественные системы единиц – системы, в которых за размеры основных единиц приняты фундаментальные физические константы, такие, например, как гравитационная постоянная G, скорость света в вакууме c, постоянная Планка h, постоянная Больцмана k, число Авогадро N_a, заряд электрона e, масса покоя электрона m_e. Размеры основных единиц в таких системах определяется явлениями природы; этим естественные системы принципиально отличаются от других систем единиц, в которых выбор единиц обусловлен требованиями практики измерений. По идее немецкого физика М. Планка, впервые (1906 г.) предложившего естественную систему единиц с основными единицами, равными h, c, G, k, она была бы независима от земных условий и пригодна для любых времен и мест Вселенной. Предложен целый ряд других естественных систем единиц (Льюиса, Хартри, Дирака и др.). Для них характерны чрезвычайно малые размеры единиц длины, массы и времени (например, в системе Планка соответственно $4{,}03\times10^{-35}$ м, $5{,}42\times10^{-8}$ кг и $1{,}34\times10^{-43}$ с) и, наоборот, большие размеры единиц температуры ($3{,}63\times10^{32}$ К). Кроме того, основные и производные единицы в этих системах не имеют своих наименований и обозначений, подобных установленным в *Международной системе единиц.* Поэтому естественные системы единиц неудобны для большинства практических измерений: для градуировки средств измерений и представления измерительной

информации. Однако в теоретической и атомной физике применение естественных систем единиц даёт ряд преимуществ. Например, система единиц Хартри (1928 г.) [Hartree D.R. Proc. Cambridge Philos. Soc. 1928. Vol. 24. P. 89–95], представляющая собой различные комбинации заряда e и массы m_e электрона и приведенной постоянной Планка $h/2\pi$, позволяет существенно упростить и унифицировать запись волновых уравнений квантовой механики и квантовой электродинамики.

Уравнение связи между единицами, *unit equation* – математическое соотношение, связывающее **основные единицы**, **когерентные производные единицы** или другие **единицы измерения.**

П р и м е р ы : Дж = кг·м^2/с^2, где Дж, кг, м, с – обозначения джоуля, килограмма, метра и секунды соответственно; 1 км/ч = (1/3,6) м/с.

Переводной коэффициент между единицами, *conversion factor between units* **–** отношение двух единиц измерения для величин одного рода. Единицы измерения могут принадлежать различным системам единиц.

П р и м е р ы : км/м = 1000, таким образом 1 км = 1000 м; ч/с = 3 600, таким образом 1 ч = 3 600 с; (км/ч)/(м/с) = (1/3,6), таким образом 1 км/ч = (1/3,6) м/с.

Основная единица (измерений), *base unit (of measurement)* – единица измерений, принятая по соглашению за основную в данной системе единиц для образованная производных единиц в соответствии с уравнениями, связывающими их с основными единицами.

П р и м е ч а н и я :

1. **В любой когерентной системе единиц** существует только одна основная единица конкретной величины.

П р и м е р . Основные единицы Международной системы единиц (SI, СИ): метр (м), килограмм (кг), секунда (с), ампер (А), кельвин (К), моль (моль) и кандела (кд).

2. Для количества объектов число один, обозначение 1, можно рассматривать как основную единицу в любой **системе единиц**.

Производная единица (системы единиц величин), *derived unit (of measurement)* – единица данной системы единиц, образованная в соответствии с уравнением, связывающим ее с основными единицами или с основными и уже определенными производными.

П р и м е р ы :

1. 1 м/с – единица модуля скорости, образованная из основных единиц СИ – метра и секунды.

2. 1 Н – единица модуля силы, образованная из основных единиц СИ – килограмма, метра и секунды.

Когерентная (производная) единица (величины), *coherent derived unit* – производная единица величины, которая **для выбранного набора**

основных единиц **представляет собой произведение основных единиц,** возведенных в степень с коэффициентом пропорциональности равным 1.

Примечание. Основные единицы и когерентные производные единицы СИ формируют когерентный набор, называемый *набор когерентных единиц СИ*.

***Когерентная система единиц (величин)**, coherent system of units (of measurement)* – система единиц величин, состоящая из основных единиц и когерентных производных единиц. Кратные и дольные единицы от системных единиц не входят в когерентную систему.

***Системная единица измерений**, системная единица, system unit* – **единица измерения**, входящая в принятую **систему единиц**.

Примечание. **Основные, производные, кратные** и **дольные единицы СИ** являются системными. Например, 1 м; 1 м/с; 1 км; 1 нм.

***Внесистемная единица измерений,** внесистемная единица, off-system measurement unit, off-system unit* – единица измерения, не входящая в принятую **систему единиц**.

***Кратная единица измерений (величины)**, multiple of a unit (of measurement)* – единица величины, в целое число раз большая системной или внесистемной единицы (получаемая путем умножения данной единицы измерения на целое число больше 1).

Примеры:

1. Единица длины километр является десятичной кратной единицей от метра: 1 км = 10^3 м; единица частоты мегагерц является кратной герцу: 1 МГц = 10^6 Гц; единица активности радионуклидов мегабеккерель является кратной беккерелю: 1 МБк = 10^6 Бк.

2. Час является недесятичной кратной единицей от секунды: 1 ч = 3600 с.

***Дольная единица измерений (величины)**, sub-multiple of a unit (of measurement)* **–** единица величины, в целое число раз меньшая системной или внесистемной единицы (получаемая путем деления данной единицы измерения на целое число больше 1).

Примеры:

1. Единицы длины миллиметр и нанометр являются десятичными дольными единицами от метра: 1 мм = $1\cdot10^{-3}$ м, 1 нм = $1\cdot10^{-9}$ м; единица времени микросекунда является дольной от секунды: 1 мкс = $1\cdot10^{-6}$ с.

2. Единица плоского угла секунда является недесятичной дольной единицей от угловой минуты: $1'' = (1/60)'$.

***Международная система единиц (СИ),** International System of Units, SI (Le Système international d´unités)* (см. раздел 4.1) – система единиц вместе с наименованиями и обозначениями, а также набором приставок и их наименованиями и обозначениями вместе с правилами их применения. SI принята в 1960 г. 11-й Генеральной конференцией по

мерам и весам (ГКМВ). Сокращённое обозначение системы – SI (в русской транскрипции – СИ). СИ является когерентной системой единиц измерений.

С предложением о разработке единой СИ выступил в 1948 г. Международный союз чистой и прикладной физики. СИ разработана с целью практического применения вместо сложной совокупности систем единиц измерений и отдельных **внесистемных единиц**, сложившейся на основе *метрической системы мер*, и упрощения пользования **единицами измерений**. СИ развивалась соответственно растущим мировым требованиям к измерениям всех уровней точности и во всех областях науки, технологий и деятельности. При этом пересматривались определения основных единиц в связи с развитием науки и совершенствованием методов реализации (воспроизведения) шкал измерений с опорой на *фундаментальные физические константы*.

СИ была построена по общепринятым для систем единиц принципам, впервые примененным в 1832 г. К. Гауссом. В системе устанавливают определения размеров нескольких основных единиц (по возможности, независимых друг от друга). Размеры производных единиц определяют на основании определяющих уравнений, связывающих их с основными и другими производными единицами. Выбор основных единиц и их число нельзя обосновать теоретически. Критерием является целесообразность практического использования данной системы. Исторически сложилось так, что основными единицами в СИ стали 7 единиц измерения величин: длина – метр (м), массы – килограмм (кг), время – секунда (с), сила электрического тока – ампер (А), термодинамическая температура – кельвин (К), количество вещества – моль (моль), сила света – кандела (кд) (см. табл. 4.1).

Таблица 4.1

Основные единицы СИ и определения их, действовавшие до 20 мая 2019 г.

Величина		Единица		
Наименование	Наименование	Обозначение		Определение
		международное	русское	
Длина	метр	m	м	Метр есть длина пути, проходимого светом в вакууме за интервал времени 1/299 792 458 с [XVII ГКМВ (1983 г.), Резолюция 1]

Масса	кило-грамм	kg	кг	Килограмм есть единица массы, равная массе международного прототипа килограмма [I ГКМВ (1889 г.) и III ГКМВ (1901 г.)]
Время	секунда	s	с	Секунда есть время, равное 9 192 631 770 периодам излучения, соответствующего переходу между двумя сверхтонкими уровнями основного состояния атома цезия-133 [XIII ГКМВ (1967 г.), Резолюция 1]
Электрический ток (сила электрического тока)	ампер	A	А	Ампер есть сила неизменяющегося тока, который при прохождении по двум параллельным прямолинейным проводникам бесконечной длины и ничтожно малой площади кругового поперечного сечения, расположенным в вакууме на расстоянии 1 м один от другого, вызвал бы на каждом участке проводника длиной 1 м силу взаимодействия, равную $2 \cdot 10^{-7}$ Н [МКМВ (1946 г.), Резолюция 2, одобренная IX ГКМВ (1948 г.)]
Термодинамическая температура	кельвин	K	К	Кельвин есть единица термодинамической температуры, равная 1/273,16 части термодинамической температуры тройной точки воды [XIII ГКМВ (1967 г.), Резолюция 4]
Количество вещества	моль	mol	моль	Моль есть количество вещества системы, содержащей столько же структурных элементов, сколько содержится атомов в углероде-12 массой 0,012 кг. При применении моля структурные элементы должны быть специфицированы и могут быть атомами, молекулами, ионами, электронами и другими частицами или специфицированными группами частиц [XIV ГКМВ (1971 г.), Резолюция 3]
Сила света	кандела	cd	кд	Кандела есть сила света в заданном направлении источника, испускающего монохроматическое излучение частотой $540 \cdot 10^{12}$ Гц, энергетическая сила света которого в этом направлении составляет 1/683 Вт/ср [XVI ГКМВ (1979 г.), Резолюция 3]

Достоинствами СИ являются её универсальность (охватывает все отрасли науки и техники) и когерентность, то есть согласованность производных единиц, которые образуются по уравнениям, не содержащим коэффициент пропорциональности. Благодаря этому при расчётах, если выражать значения всех величин в единицах СИ, в формулы не требуется вводить коэффициенты, зависящие от выбора единиц.

Последние, принципиально важные изменения SI (СИ) были приняты ГКМВ в ноябре 2018 г. и вступили в силу 20 мая 2019 г. Описание переопределённой **SI представлено в следующем отдельном разделе 4.1.**

Некоторые (дополнительные к описанию СИ в разделе 4.1) сведения о практически применяемых единицах измерений представлены здесь для напоминания соотношения их с единицами СИ.

Таблица 4.2

Внесистемные единицы,
применяемые в некоторых областях деятельности

Наименование величины	Единица				Область применения
	Наименование	Обозначение		Соотношение с единицей СИ	
		международное	русское		
Время	неделя, месяц, год, век, тысячелетие			По календарю	Исчисление времени
Длина	морская миля	mile	миля	1852 м (точно)	Морская навигация
Масса	карат	—	кар	$2 \cdot 10^{-4}$ кг (точно)	Добыча и производство драгоценных камней и жемчуга
Линейная плотность	текс	tex	текс	$1 \cdot 10^{-6}$ кг/м (точно)	Текстильная промышленность
Скорость	узел	kn	уз	0,514(4) м/с	Морская навигация

Ускорение	гал	Gal	Гал	0,01 м/с^2	Гравиметрия
Частота вращения	оборот в секунду, оборот в минуту	r/s r/min	об/с об/мин	1 с$^{-1}$ 1/60 с$^{-1}$ = 0,016(6) с$^{-1}$	Электротехника
Давление	бар	bar	бар	$1\cdot10^5$ Па	Физика

Таблица 4.3

Единицы относительных величин (относительные единицы)

Величина	Единица			
	Наименование	Обозначение		Определение
		русское	международное	
Относительные величины	единица процент промилле миллионная доля	– % ‰ млн$^{-1}$	– % ‰ ppm	1 10^{-2} 10^{-3} 10^{-6}
Логарифмические величины	бел децибел (0,1 бела)	Б дБ	B dB	1 Б = lg (P_2/P_1) при P_2 = 10 P_1 (P_1 и P_2 – одноименные энергетические величины: мощность, энергия и т.п.) 1 Б = 2 lg (F_2/F_1) при $F_2 = \sqrt{10}\ F_1$ (F_1 и F_2 – одноименные силовые величины: напряжение, сила тока, давление и т.п.)
Частотный интервал	октава декада	окт дек	okt dec	1 окт = $\log_2$ (f_2 / f_1) при f_2 / f_1 = 2 1 дек = lg (f_2 / f_1) при f_2 / f_1 = 10

В устройствах цифровой обработки и передачи информации на основе двоичной системы счисления, например, в цифровой вычислительной технике (компьютерах) для записи объема запоминающих устройств, количества (объема) памяти и т.д. применяются двоичные единицы измерения количества информации (табл. 4.4).

Таблица 4.4

Единицы количества информации

Наименование величины	Единица				Примечание
	Наименование	Обозначение		Значение	
		международное	русское		
Количество информации	бит байт	bit B(byte)	бит Б (байт)	1 1 Б = 8 бит	Единица информации в двоичной системе счисления (двоичная единица информации)

Приставки СИ приписываются только по степеням числа 10 и не должны использоваться в двоичной системе счисления для степеней числа 2. Приставки, установленные стандартом МЭК (IEC 80000-13) [13] для кратных двоичных единиц количества информации *бит* и *байт*, приведены в табл. 4.5.

Таблица 4.5

Приставки для кратных двоичных единиц количества информации

Двоичный множитель	Наименование приставки		Обозначение приставки	
	русское	международное	русское	международное
2^{10}	киби	kibi	Ки	Ki
2^{20}	меби	mebi	Ми	Mi
2^{30}	гиби	gibi	Ги	Gi
2^{40}	теби	tebi	Ти	Ti
2^{50}	пеби	pebi	Пи	Pi
2^{60}	эксби	exbi	Эи	Ei
2^{70}	зеби	zebi	Зи	Zi
2^{80}	иоби	yobi	Ии	Yi

Например: 1 килобит – это 1 кбит = 10^3 бит = 1000 бит, но 1 кибибит – это 1 Кибит = 2^{10} бит = 1024 бит; 1 мегабайт – это 1 МБ = 10^6 Б = 1 000 000 Б, но 1 мебибайт – это 1 МиБ = 2^{20} Б = 1 048 576 Б.

***Логарифмические единицы измерений**, logarithmic unit of measurement.* Единицам измерений логарифмических величин в зависимости от использованной системы логарифмирования, характера логарифмируемой величины присвоены различные наименования [14].

Единицы измерений логарифмических уровней

Бел *(Б, B)* – единица измерения уровней логарифмических величин (табл. 4.7) – логарифмов отношений энергетических P и силовых F величин при основании логарифма равном 10. Названа в честь А. Белла (A. Bell). 1 Б = lg (P_2/P_1) при $P_2 = 10P_1$ и 1 Б = 2 lg (F_2/F_1) при $F_1 = \sqrt{10}\,F_2$.

Децибел *(дБ, dB)* – дольная единица бела 1 дБ = 0,1 Б. Международный союз электросвязи – МСЭ (*International Telecommunication Union, ITU*) с 1968 г. рекомендовал использовать только единицу децибел.

Непер *(Нп, Np)* – единица измерения уровней логарифмических относительных величин при основании логарифма равном e = 2,718281828. 1 Нп = ln (F_2/F_1) при $F_2/F_1 = e$. Соотношение единиц: 1 Нп = 0,8685 889 Б = 8,685 889 дБ, 1 дБ = 0,115 129 Нп.

Примечания (в соответствии с международным стандартом МЭК 60027-3:2002 «Буквенные обозначения, используемые в электротехнике») [14]:

1. Для логарифмических величин уровней L при необходимости добавления информации о природе данной величины она должна указываться подстрочным индексом к обозначению величины (например: L_I – уровень тока, L_P – уровень мощности, L_E – уровень напряженности электрического поля и т.д.) При полной форме записи численное значение и обозначение единицы исходной величины помещается в скобках за обозначением уровня логарифмической величины или в виде нижнего подстрочного индекса, например:

L_I (исх. 1 А) = –10 Нп или $L_{I/1\text{А}}$ = –10 Нп,

L_P (исх. 1 мВт) = 20 дБ или $L_{P/1\ \text{мВт}}$ = 20 дБ,

L_E (исх. 1 мкВ/м) = 15 дБ или $L_{E/1\text{мкВ/м}}$ = 15 дБ,

L_p (исх. 20 мкПа) = 40 дБ или $L_{p/20\ \text{мкПа}}$ = 40 дБ.

При краткой форме записи численное значение и обозначение единицы исходной величины указывают в скобках за значением уровня, например: –10 Нп (1А), 20 дБ (1 мВт), 15 дБ (1 мкВ/м), 40 дБ (20 мкПа).

2. В акустических измерениях для значений уровней звука, определенным по взвешенным шкалам A, B, C, D, используют аналогичную полную форму записи, например, для уровня звука по взвешенной шкале А L_A (исх. 20 мкПа) = 60 дБ или L_A = 60 дБ, а при краткой форме в скобках за единицей дБ записывают обозначение взвешивающей шкалы, например, «60 дБ (А)».

3. На графиках, в столбцах таблиц и на отсчетных шкалах измерительных приборов обозначение численного значения исходной

величины и единицы измерений рекомендуется записывается в виде дроби, н а п р и м е р :

$$\frac{L_{\text{A}}\,(\text{исх. 20 мкПА})}{\text{дБ}}.$$

4. Единицы непер (Нп) и Бел (Б), децибел (дБ) не должны использоваться, когда соотношение между рассматриваемыми величинами и силовыми или энергетическими величинами не существует.

Фон *(фон, phon)* – единица измерения уровня громкости звука. 1 фон равен уровню звука, для которого уровень звукового давления, равного с ним по уровню громкости звука частотой 1000 Гц, равен 1 дБ.

Необходимо отличать применение единицы бел (Б, B) к относительным (безразмерностным) и размерностным величинам. Для относительной величины *x: A* = lg *x, A* = 1 Б при *x* = 10, т.е. 1 Б = lg 10 = 1. Увеличение на 1 дБ = 0,1 Б = 0,1 lg 10 = lg $10^{0,1}$ ≈ lg 1,26, т.е. в 1,26 раза (на 26 %).

Для энергетических *P* и силовых *F* размерностных величин, преобразуемых в условно безразмерностные, определения бела отличаются с учетом их физической взаимосвязи. Уровень L энергетической величины P_2 (мощность, интенсивность) относительно опорного значения P_1 одноименной величины: L = lg P_2/P_1, L = 1 Б, если P_2 = 10 P_1. Уровень L силовой величины F_2 (звуковое давление, механическое ускорение, электрическое напряжение) относительно опорного значения F_1 определяется выражением L = 2 lg F_2/F_1. Опорные значения P_1 и F_1 выбираются соответственно условиям конкретной области измерений, например, по международному соглашению $P_1 = 10^{-12}$ Вт для мощности звука, $F_1 = 2\cdot10^{-5}$ Па для звукового давления. Таким образом, оказывается возможным выражать значения размерностных величин в логарифмических единицах с дополнительной информацией. В соответствии со стандартом МЭК 60027-3-2016 [14] и ГОСТ 8.417-2002 [12] при записи значений в дБ следует помещать опорные значения в скобках после обозначения логарифмической величины. Например, L (20 μPa) = 20 dB или L (1 mW) = 57 dB, а при краткой записи 20 dB (re 20 μPa) и, соответственно, 57 dB (re 1 mW). Здесь «re» – начальные буквы слова «*reference*», т.е. исходный (опорный). В русской транскрипции в таких записях вместо «re» пишут «отн.» – начальные буквы слова «*относительно*». К уровням нельзя в общем случае применять ни одно из арифметических действий. Эта особенность обусловлена свойствами логарифмической системы счисления. Сложение или вычитание величин, выраженных в логарифмических единицах, когда это имеет физический смысл, математически сводится к задаче определения логарифма суммы или логарифма разности двух величин, логарифмы которых известны.

Суммарный уровень интенсивности L_{1+2} не равен сумме L_1 и L_2. Если энергетическая величина P_2 увеличивается в 2 раза, то ее уровень не удваивается, а возрастает только примерно на 3 дБ. Несколько парадоксальным выглядит сложение двух уровней, каждый из которых равен нулю дБ, суммарный уровень будет в этом случае равен 3 дБ для энергетических и 6 дБ для силовых величин. Однако для относительных величин сложение равных 0 дБ значений дает суммарное нулевое значение.

Единицы измерений логарифмических величин отношений частотных интервалов

Октава *(окт, okt)* – единица измерений величин частотных интервалов. *1* окт = $\log_2 (f_2/f_1) = lb\ (f_2/f_1)$ при $f_2/f_1=2$, где f_1 и f_2 – частоты.

Декада *(дек, dec)* **–** единица измерений величин частотных интервалов. *1* дек = $\log_{10} (f_2/f_1) = \lg (f_2/f_1)$ при $f_2/f_1 = 10$, где f_1 и f_2 – частоты.

Савар – дольная единица декады, 1 савар равен 0,001 дек.

Логарифмические единицы, используемые в теории информации (табл. 4.6)

В теории информации используются логарифмические шкалы на основе применения систем десятичных и натуральных логарифмов, а также логарифмов с основанием два, с ниже следующими логарифмическими единицами измерений.

Хартри *(Hart)* – логарифмическая единица количества информации *x,* определяемая выражением: 1 Hart = $\log_{10} x = \lg x$ при $x=10$.

Натуральная единица информации *(нат, nat)* – логарифмическая единица количества информации *x,* определяемая выражением: 1 нат = $\log_e x = \ln x$ при $x = e = 2{,}718281828$.

Шеннон *(Sh)* – логарифмическая единица количества информации *x,* определяемая выражением: 1 Sh = $\log_2 x = \text{lb}\ x$ при $x = 2$.

П р и м е р . Для результата измерения с вероятностью $p = 1/3$, объем информации I, в различных логарифмических единицах измерения в теории информации равен: I = (lb 3) ≈ 1,585 Sh; I = (ln 3) ≈ 1,098 nat; I = (lg 3) ≈ 0,477 Hart.

Таблица 4.6

Соотношение между логарифмическими единицами информации

	Sh	нат	Hart
Sh	–	0,693 147	0,301 030
нат	1,442 695	–	0,434 294
Hart	3,321 928	2,302 583	–

Применение единиц измерений в Российской Федерации относится к сфере государственного регулирования (см. главу 12). В Российской Федерации допускаются к применению: [5, 12] основные и производные единицы СИ, отдельные внесистемные единицы, кратные и дольные единицы от основных и производных единиц СИ и отдельных внесистемных единиц, образованных с помощью десятичных множителей и приставок.

В правовых актах Российской Федерации при установлении обязательных требований к величинам, измерениям и показателям соблюдения точности применяется обозначение единиц величин с использованием букв русского алфавита.

В технической документации, в методической, научно-технической и иной документации на продукцию различных видов, а также в научно-технических печатных изданиях (включая учебники и учебные пособия) применяется международное (с использованием букв латинского или греческого алфавита) или русское обозначение единиц величин.

Одновременное применение русских и международных обозначений единиц не допускается, за исключением случаев, связанных с разъяснением применения таких единиц. При указании единиц величин на технических средствах, устройствах и средствах измерений допускается наряду с русским обозначением единиц применять международное обозначение единиц.

Написание обозначений и названий единиц и выражение значений величин должны соответствовать положениям, установленным в **международной системе единиц (SI, СИ)** (см. раздел 4.1).

Общероссийский классификатор единиц измерений (ОКЕИ)

Действующий ОКЕИ – Классификатор ОК 015-94 (МК 002-97) с изменением № 15 от 1 июля 2020 г. (приказ Росстандарта от 23.06.2020 г. № 296-ст).

ОКЕИ разработан на основе международной классификации единиц измерения Европейской экономической комиссии Организации Объединенных Наций (ЕЭК ООН) «Коды для единиц измерения, используемых в международной торговле» (Рекомендация № 20 Рабочей группы по упрощению процедур международной торговли (РГ 4) ЕЭК ООН), Товарной номенклатуры внешнеэкономической деятельности (ТН ВЭД) в части используемых единиц измерения и с учетом требований международных стандартов ИСО 31/0-92 «Величины и единицы измерения. Часть 0. Общие принципы» и ИСО 1000-92 «Единицы СИ и рекомендации по применению кратных единиц и некоторых других единиц».

ОКЕИ является документом в области национальной системы стандартизации Российской Федерации. ОКЕИ взаимосвязан с ГОСТ 8.417-2002 «ГСИ. Единицы величин» и разработан на основе Межгосударственного классификатора единиц измерения и счета МК 002-97.

Единицы измерения в ОКЕИ разбиты на восемь групп: Единицы длины; Единицы площади; Единицы объема; Единицы массы; Технические единицы; Единицы времени; Экономические единицы; Дозировки лекарственных препаратов. Для некоторых групп введены кратные и дольные единицы.

4.1. МЕЖДУНАРОДНАЯ СИСТЕМА ЕДИНИЦ

Брошюра «Международная система единиц (SI)» – Le Système international d'unités (SI), English version **– The International System of Units (SI), 9e édition 2019,** Édité par le BIPM, Pavillon de Breteuil, F-92312 Sèvres Cedex France, www.bipm.org > Publications > SI Brochure. Перевод этой Брошюры на русский язык – см. www.vniim.ru/files/SI-2019, pdf.

Международная система единиц (SI) была принята Резолюцией 11-го заседания ГКМВ в 1960 г. и совершенствовалась в соответствии с резолюциями последующих заседаний ГКМВ. Брошюра SI 9-го издания 2019 г. содержит новые определения основных единиц и рекомендации по их реализации, соответствующие Резолюции 1 последнего 26-го заседания ГКМВ, Версаль, 13–16 ноября 2018 г. Новые определения основных единиц SI, опирающиеся на принятые значения семи фундаментальных физических констант, вступили в силу 20 мая 2019 г. Отдельная Резолюция 2 26-го заседания ГКМВ посвящена определениям шкал времени (ее содержание отражено в Appendix 2 SI Brochure 9e édition 2019). Перевод резолюций на русский язык опубликован на сайте КООМЕТ: http://coomet.org/DB/isapi/cmt_docs/2019/01/26th-CGPM-Resolutions%202018.pdf (см. также Приложение 2 учебного пособия [50]).

Особое значение имеют также содержащиеся в Брошюре SI резолюции:

• **Резолюция 11** (22-я ГКМВ, 2003 г.) о том, что **калибровка не является процедурой подтверждения соответствия средств измерений**;

• **Резолюция 9** (24-й ГКМВ, 2011 г.), по которой **Международная земная система координат ITRS**, определенная Международным союзом геодезии и геофизики IUGG и реализуемая Международной службой вращения Земли и систем координат IERS, **принята как единственная международная система координат для земных систем отсчета (координатных основ) во всех метрологических приложениях.**

Актуальна также, сопутствующая тексту раздела 3 Брошюры SI о кратных и дольных приставках единиц, рекомендация об особых названиях и обозначениях кратных **приставок двоичных единиц**, например, бита (см. ГОСТ Р МЭК 80000-13-2016).

В изложенном ниже описании ныне действующей Международной системы единиц (SI-2019) использован текст указанного выше перевода (www.vniim.ru/files/SI-2019, pdf) с некоторыми уточнениями.

Международная система единиц, SI-2019

Содержание

Предисловие к 9-му изданию 56
1 Введение 59
1.1 SI и определяющие константы 59
1.2 Целесообразность использования определяющих констант для определения SI 59
1.3 Реализация SI 60
2 Международная система единиц 61
2.1 Определение единицы величины 61
2.2 Определение SI 62
2.2.1 Природа семи определяющих констант 63
2.3 Определения единиц SI 65
2.3.1 Основные единицы 65
2.3.2 Практическая реализация единиц SI 72
2.3.3 Размерности величин 72
2.3.4 Производные единицы 74
2.3.5 Единицы величин, описывающих биологические и физиологические явления 80
2.3.6 Единицы SI в рамках общей теории относительности 81
3 Десятичные кратные и дольные единицы SI 82
4 Внесистемные единицы, допустимые к применению с SI 84
5 Написание обозначений и названий единиц и выражение значений величин 86
5.1 Использование обозначений и названий единиц 86
5.2 Обозначения единиц 86
5.3 Названия единиц 87
5.4 Правила и стилистика выражения значений величин 88
5.4.1 Значение и числовое значение величины; операции над величинами 88
5.4.2 Обозначение величин и обозначение единиц 89
5.4.3 Способы записи значения величины 90

5.4.4 Способы записи чисел и десятичного разделителя 90
5.4.5 Выражение неопределенности измерения значения величины 91
5.4.6 Обозначения умножения или деления величин, значений величин или чисел 91
5.4.7 Написание значений величин, являющихся числами 92
5.4.8 Плоский угол, телесный угол и фазовый угол 93
Приложение 1. Решения ГКМВ и МВМВ 94
Приложение 2. Практическая реализация определений некоторых важных единиц 95
Приложение 3. Единицы фотохимических и фотобиологических величин 95
Приложение 4. Исторические заметки о развитии Международной системы единиц и её основных единиц 95

Предисловие к 9-му изданию

Международная система единиц, SI, предпочтительно используется во всем мире как основной язык в области науки, техники, промышленности и торговли с момента своего создания в 1960 г. Резолюцией 11-го заседания ГКМВ (Conférence Générale des Poids et Mesures, CGPM).

Данная Брошюра публикуется МБМВ с целью распространения и разъяснения SI. В ней перечислены наиболее важные резолюции ГКМВ и решения МКМВ, касающиеся метрической системы, уходящие корнями к первому заседанию ГКМВ в 1889 году.

SI всегда оставалась практичной и динамичной системой, постоянно развивавшейся на основе новейших научно-технических достижений. В частности, огромный прогресс в области атомной физики и квантовой метрологии за последние 50 лет позволил дать определения секунды и метра, а также выработать практические представления электрических единиц с использованием преимуществ атомных и квантовых явлений для реализации соответствующих единиц при уровне точности, ограниченном только нашими техническими возможностями, а не самими определениями. Эти научные достижения, наряду с разработками в области измерительной техники, позволили внести изменения в SI, которые описаны в предыдущих изданиях данной Брошюры. Данное 9-е издание Брошюры SI подготовлено после принятия на 26-м заседании

ГКМВ далеко идущих изменений. На этом заседании был представлен новый подход к формулированию определений единиц в целом, а также семи основных единиц, в частности, через фиксирование числовых значений для семи «определяющих» констант. Среди них природные фундаментальные константы, такие как постоянная Планка и скорость света, поэтому определения основаны на нашем современном понимании законов физики и отражают это понимание. Впервые стал доступен полный набор определений, которые не используют в качестве основы для сравнения каких-либо эталонов в виде артефактов, материальных свойств или описания измерений. Эти изменения позволили реализовать все единицы с точностью, ограниченной практически только квантовой структурой природы и нашими техническими возможностями, но не самими определениями. Любое действительное уравнение физики, связывающее определяющие константы с единицами, может быть использовано для реализации единицы, создавая, таким образом, возможности для инноваций и повсеместной реализации с возрастающей точностью по мере развития технологий. Это означает, что недавнее переопределение единиц представляет собой исторический и значимый шаг вперед.

Изменения были одобрены ГКМВ в ноябре 2018 г. и вступили в силу 20 мая 2019 г. Эта дата была выбрана потому, что в этот день отмечается Всемирный день метрологии, знаменующий подписание Метрической конвенции в 1875 г. Несмотря на то, что изменения имеют большие перспективы, большое внимание было уделено согласованию новых определений с определениями, действующими на момент внесения изменений.

Мы обращаем внимание на то, что с момента своего создания в 1960 г. Международную систему единиц обозначают аббревиатурой «SI». Этот принцип сохранялся в восьми предыдущих изданиях Брошюры и был подтвержден в принятой на 26-м заседании ГКМВ Резолюции 1, которая также подтвердила название данной брошюры: «Международная система единиц» (International System of Units). Эта последовательность в обозначении SI отражает усилия ГКМВ и МКМВ по обеспечению согласованности значений результатов измерений, выраженных в единицах SI, после каждого произведенного изменения.

Текст данной Брошюры был подготовлен с целью предоставления полноценного описания SI с некоторыми историческими справками. Она также имеет четыре приложения:

Приложение 1 в хронологическом порядке воспроизводит все решения (резолюции, рекомендации, декларации), принятые ГКМВ и МКМВ с 1889 года по единицам измерений и Международной системе единиц.

Приложение 2 доступно только в электронной версии (***www.bipm.org***). Оно описывает практическую реализацию семи основных единиц и других важных единиц в каждой области измерений. Данное Приложение регулярно обновляется, чтобы оперативно отражать улучшения в экспериментальных методах, доступных для реализации единиц.

Приложение 3 доступно только в электронной версии (***www.bipm.org***). В нем обсуждаются единицы фотохимических и фотобиологических величин.

В Приложении 4 приведены некоторые заметки по истории развития SI.

В заключение мы выражаем нашу благодарность членам Консультативного комитета по единицам, ККЕ (Comité Consultatif des Unités, CCU) МКМВ, ответственным за составление данной Брошюры. Окончательный текст был одобрен как ККЕ, так и МКМВ.

Март 2019 г.

Б. Инглис
Президент, МКМВ

Й. Ульрих
Президент, ККЕ

М.Дж.Т. Милтон
Директор, МБМВ

Примечание к английскому тексту Брошюры.

В 2003 г. во исполнение решения МКМВ 1997 г. 22-е заседание ГКМВ постановило, что «символом десятичного разделителя должна быть либо точка, либо запятая». В соответствии с этим решением и учитывая практику двух языков (английского и французского), в данном издании точка используется в английской версии, а запятая – во французской. Это не имеет никакого влияния на перевод на другие языки. Имеют место небольшие изменения в написании на языках разных англоязычных стран (например, «metre» и «meter», «litre» и «liter»). В связи с этим представленный здесь английский текст соответствует серии ISO/IEC 80000 «*Quantities and Units,* Величины и единицы». Тем не менее, символы для единиц SI, используемые в данной Брошюре, одинаковы на всех языках.

Читателю следует обратить внимание на то, что официальные протоколы заседаний ГКМВ и сессий МКМВ приведены на французском языке. В данной Брошюре приводится перевод на английский, но при необходимости получить авторитетную справочную информацию или при наличии сомнений в интерпретации текста следует пользоваться версией текста на французском языке.

1 Введение

1.1 SI и определяющие константы

В этой Брошюре представлена информация об определении и использовании Международной системы единиц, известной во всем мире как SI (от французского Système International d'Unités), за которую несет ответственность ГКМВ. В 1960 г. 11-я ГКМВ официально сформировала и определила SI и с тех пор периодически пересматривает ее в соответствии с потребностями пользователей и достижениями науки и техники. Последний и, возможно, наиболее существенный пересмотр SI с момента ее создания был сделан на 26-й ГКМВ (2018 г.) и описывается в данном 9-м издании Брошюры SI. Метрическая конвенция и ее органы – ГКМВ, МКМВ, МБМВ и Консультативные комитеты описаны в тексте «МБМВ и Метрическая конвенция».

SI представляет собой согласованную систему единиц, предназначенную для использования во всех сферах жизни, включая международную торговлю, производство, безопасность, охрану труда, защиту окружающей среды и фундаментальную науку, которая лежит в их основе. Система величин, на которой основана SI, и связывающие их уравнения, опираются на современные представления о природе, знакомые всем ученым, технологам и инженерам.

Определение единиц SI основано на наборе из семи определяющих констант. Вся система единиц может быть получена из фиксированных значений этих определяющих констант, выраженных в единицах SI. Эти семь определяющих констант – фундаментальная особенность определения всей системы единиц. Набор данных констант был признан оптимальным, принимая во внимание предыдущее определение SI, основанное на семи основных единицах, и прогресс в науке.

Для реализации определений могут быть использованы различные экспериментальные методы, описанные Консультативными комитетами МКМВ. Описание способов реализаций называют также «mises en pratique» («практические реализации»). Методы реализации могут пересматриваться в связи с проведением новых экспериментов, поэтому рекомендации по реализации определений не включены в данную Брошюру, но доступны для ознакомления на сайте МБМВ.

1.2 Целесообразность использования определяющих констант для определения SI

Исторически единицы SI выражались через основные единицы (с недавнего времени через семь основных единиц). Все остальные единицы, называемые производными единицами, выводились как произведение основных единиц в различных степенях.

Использовались различные типы определений основных единиц: особые свойства артефактов, такие как масса международного прототипа (IPK) для единицы килограмма, особые физические состояния вещества, такие как тройная точка воды для единицы кельвина, описание идеального эксперимента, как в случае ампера и канделы, или физические (естественные) константы, такие как скорость света для определения единицы длины – метра.

Для практического использования единицы должны быть не только определены, но и физически реализованы с целью дальнейшей их передачи. В случае с артефактами определение и способ реализации одинаковы – этим путем шли древние развитые цивилизации. Несмотря на простоту и ясность таких определений, использование артефактов связано с риском утраты, повреждения или изменения их свойств. Другие способы определения единиц являются гораздо более абстрактными или идеализированными. При этом реализация оказывается концептуально отделенной от определения, благодаря чему единицы, в принципе, могут быть воспроизведены независимо в любом месте и в любое время. Кроме того, по мере развития науки и технологий, могут быть внедрены новые и более совершенные методы реализации без необходимости переопределения единиц. Эти преимущества – наиболее очевидные в контексте истории определения метра начиная с артефакта и до трансформации в фиксированное числовое значение скорости света – способствовали принятию решения об определении всех единиц с помощью определяющих констант.

Выбранный набор основных единиц связан не с их уникальностью, а обусловлен исторически сложившейся практикой, и поэтому известен всем пользователям SI. В новом определении SI сохранено описание с точки зрения основных и производных единиц, но оно переформулировано в связи с принятием значений определяющих констант.

1.3 Реализация SI

В соответствии с решением ГКМВ определения единиц SI представляют собой наивысший референтный уровень прослеживаемости измерений к SI.

Метрологические институты всего мира осуществляют практические реализации определений, обеспечивая тем самым прослеживаемость измерений к SI. Консультативные комитеты предоставляют основу для установления эквивалентности реализаций с целью обеспечения единства измерений во всем мире.

При необходимости органы по стандартизации могут указывать дополнительную информацию о величинах, единицах и правилах их

применения. Всякий раз, когда задействованы единицы SI, такие стандарты должны ссылаться на определения, установленные ГКМВ. Многие подобные уточнения перечислены, например, в стандартах, разработанных Международной организацией по стандартизации и Международной электротехнической комиссией (серия международных стандартов ISO/IEC 80000).

Отдельные страны установили правила, касающиеся использования единиц в сфере национального законодательства, как для общего пользования, так и для конкретных областей, таких как торговля, здравоохранение, общественная безопасность и образование. Практически во всех странах это законодательство основано на SI. За международную гармонизацию технических спецификаций таких законодательств отвечает Международная организация законодательной метрологии (МОЗМ).

2 Международная система единиц

2.1 Определение единицы величины

Значение величины обычно выражается как произведение числа на единицу. Единица представляет собой конкретную величину рассматриваемого рода и используется как основа для сравнения, а число выражает отношение значения величины к значению единицы. Для конкретной величины могут использоваться разные единицы. Например, значение скорости v может быть выражено как v = 25 м/с или v = 90 км/ч, где метр в секунду и километр в час являются альтернативными единицами для одной и той же величины – скорости.

Прежде чем представить результат измерения, важно адекватно описать измеряемую величину. Описание может быть простым, как в случае длины конкретного стального прута, но может существенно усложниться, когда требуется более высокая точность и необходимо указать дополнительные параметры, такие как температура.

При представлении результата измерения необходимы ***оценочное значение*** измеряемой величины и связанная с этим значением ***неопределенность***. Оба эти параметра выражаются в одних и тех же единицах.

Примечание. Например, скорость света в вакууме является физической постоянной и обозначается буквой c. Ее значение в единицах SI определяется соотношением c = 299 792 458 м/с, где 299 792 458 – числовое значение, а м/с – единица.

2.2 Определение SI

Как и для любой величины значение фундаментальной константы может быть выражено в виде произведения числа на единицу.

Приведенные ниже определения дают точное числовое значение каждой из констант, выраженное в соответствующих единицах SI. Фиксация точного числового значения константы определяет единицу, поскольку произведение числового значения на единицу должно быть равно значению константы, которое полагается постоянным.

Семь констант выбраны таким образом, что любая единица SI может быть представлена либо через саму определяющую константу, либо через произведения или отношения определяющих констант.

Международная система единиц SI – это такая система единиц, в которой:

- **частота перехода сверхтонкого расщепления невозмущенного основного состояния атома цезия-133 $\Delta\nu_{Cs}$ равна 9 192 631 770 Гц,**
- **скорость света в вакууме *c* равна 299 792 458 м/с,**
- **постоянная Планка *h* равна $6{,}62607015\times10^{-34}$ Дж с,**
- **элементарный заряд *e* равен $1{,}602176634\times10^{-19}$ Кл,**
- **постоянная Больцмана *k* равна $1{,}380649\times10^{-23}$ Дж/К,**
- **постоянная Авогадро N_A равна $6{,}02214076\times10^{23}$ моль$^{-1}$,**
- **световая эффективность монохроматического излучения частотой 540×10^{12} Гц, $K_{кд}$ равна 683 лм/Вт,**

где герц, джоуль, кулон, люмен и ватт, обозначаемые как Гц, Дж, Кл, лм и Вт, соответственно, связаны с единицами секунда, метр, килограмм, ампер, кельвин, моль и кандела, обозначаемыми как с, м, кг, А, К, моль и кд, соответственно, следующими соотношениями: Гц = с$^{-1}$; Дж = кг м^2 с$^{-2}$; Кл = А с; лм = кд м^2 м$^{-2}$ = кд ср и Вт = кг м^2 с$^{-3}$.

Числовые значения семи определяющих констант не имеют неопределенности.

Примечание. Отношения единиц SI могут быть выражены либо с использованием дробной черты (/), либо с использованием отрицательного показателя степени (–). Например, м/с = м с$^{-1}$, моль/моль = моль моль$^{-1}$.

Таблица 1

Семь определяющих констант SI и семь определяемых ими единиц

Определяющая константа	Обозначение	Числовое значение	Единица
частота перехода сверхтонкого расщепления Cs	$\Delta\nu_{Cs}$	9 192 631 770	Hz (Гц)
скорость света в вакууме	c	299 792 458	m s^{-1} (м $с^{-1}$)
постоянная Планка	h	$6{,}62607015\times10^{-34}$	J s (Дж с)
элементарный заряд	e	$1{,}602176634\times10^{-19}$	C (Кл)
постоянная Больцмана	k	$1{,}380649\times10^{-23}$	J $К^{-1}$ (Дж $К^{-1}$)
постоянная Авогадро	N_A	$6{,}02214076\times10^{23}$	mol^{-1} (м)
световая эффективность	$K_{кд}$	683	lm W^{-1} (лм $Вт^{-1}$)

Сохранение преемственности, насколько это возможно, всегда было неотъемлемой частью любых изменений в Международной системе единиц. Числовые значения определяющих констант были выбраны таким образом, чтобы соответствовать предыдущим определениями настолько, насколько позволяют современные достижения в науке и накопленные знания.

2.2.1 Природа семи определяющих констант

Определяющими константами могут быть как природные фундаментальные константы, так и технические константы.

Использование константы для определения единицы отделяет ее определение от реализации. Благодаря этому появляется возможность разрабатывать, по мере развития технологий, совершенно иные, новые и более совершенные методы воспроизведения без необходимости менять определение.

Технические константы, такие как $K_{кд}$, световая эффективность монохроматического излучения частотой 540×10^{12} Гц, имеют конкретное назначение. В принципе, эти константы могут выбираться свободно, например, так чтобы включать в себя общепринятые физиологические или другие весовые факторы. Напротив, использование природных

фундаментальных констант, как правило, не допускает такого выбора, поскольку они связаны с другими константами через уравнения, описывающие законы физики.

Набор из семи определяющих констант был выбран так, чтобы обеспечить фундаментальные, стабильные и универсальные основы для сравнения (references), которые в то же время позволят осуществлять практические реализации с наименьшими неопределенностями. В технических условных обозначениях и спецификациях учитываются также аспекты их исторического развития.

Постоянная Планка h и скорость света в вакууме c должным образом описаны как фундаментальные. Они определяют квантовые эффекты и пространственно-временные свойства, соответственно, и совершенно одинаково влияют на все объекты (частицы и поля).

Элементарный заряд e соответствует константе взаимодействия электромагнитной силы через постоянную тонкой структуры $\alpha = e^2/(2c\varepsilon_0 h)$, где ε_0 – электрическая проницаемость вакуума или электрическая постоянная. Некоторые теории предсказывают изменение α во времени. Однако эксперименты накладывают столь сильные ограничения на максимально возможные изменения α, что любое влияние на предполагаемые практические измерения может быть исключено.

Постоянная Больцмана k является коэффициентом пропорциональности между единицами температуры (кельвин) и энергии (джоуль), поэтому ее числовое значение связано с исторически сложившимися характеристиками температурной шкалы. Температура системы зависит от тепловой энергии, но не обязательно от внутренней энергии системы. В статистической физике постоянная Больцмана связывает энтропию S с числом Ω квантово-механически доступных состояний, $S = k \ln \Omega$.

Частота излучения цезия $\Delta\nu_{Cs}$, частота перехода сверхтонкого расщепления невозмущенного основного состояния атома цезия-133, является характерным атомным параметром, на который могут влиять внешние факторы, такие как электромагнитные поля. Несмотря на это, лежащий в основе переход хорошо понятен, стабилен и является оптимальным выбором в качестве опорного с практической точки зрения. При выборе атомного параметра, такого как $\Delta\nu_{Cs}$, определение не отделяется от реализации, как это происходит в случае с h, c, e или k, но предоставляет основу для сравнения (reference).

Постоянная Авогадро N_A является коэффициентом пропорциональности между количеством вещества (с единицей моль) и числом структурных элементов (с единицей один, обозначение 1). Таким образом, она выступает как коэффициент пропорциональности аналогично постоянной Больцмана k.

Световая эффективность монохроматического излучения частотой 540×10^{12} Гц, $K_{кд}$, является технической константой, которая дает точное числовое соотношение между исключительно физическими характеристиками мощности излучения, воздействующего на человеческий глаз (W), и его фотобиологическим восприятием, определяемым через световой поток, обусловленным спектральной восприимчивостью стандартного наблюдателя (лм) на частоте 540×10^{12} герц.

2.3 Определения единиц SI

До определений, принятых в 2018 году, SI определялась через семь *основных единиц*, а *производные единицы* вычислялись как произведения степеней *основных единиц*.

Определение SI путем фиксирования числовых значения семи определяющих констант приводит к тому, что это различие, в принципе, больше не требуется, поскольку все единицы, как *основные*, так и *производные,* могут быть выведены непосредственно из определяющих констант. Тем не менее, концепция основных и производных единиц сохраняется, так как она полезна и исторически хорошо обоснована, учитывая, что стандарты серии ISO/IEC 80000 определяют основные и производные величины, которые, безусловно, соответствуют основным и производным единицам SI, определяемым в данной Брошюре.

2.3.1 Основные единицы

Основные единицы SI приведены в табл. 2.

Таблица 2

Основные единицы SI

Основная величина		Основная единица	
Название	Принятое обозначение	Название	Обозначение
время	t	секунда	s (с)
длина	l, x, r и т.д.	метр	m (м)
масса	m	килограмм	kg (кг)
электрический ток	I, i	ампер	A (А)
термодинамическая температура	T	кельвин	K (К)
количество вещества	n	моль	mol (моль)
сила света	I_v	кандела	cd (кд)

Примечание. Величины, как правило, обозначаются буквами латинского или греческого алфавита, напечатанными курсивом, и носят *рекомендательный характер*. Обозначения для единиц печатаются прямым шрифтом (roman) и носят *обязательный характер*, см. главу 5.

На основе определения SI через фиксированные числовые значения определяющих констант определения каждой из семи основных единиц выводятся при помощи одной или нескольких определяющих констант, что дает следующий набор определений.

Секунда, обозначение с (s), есть единица времени в SI. Определяется путем принятия фиксированного числового значения частоты перехода сверхтонкого расщепления невозмущенного основного состояния атома цезия-133 $\Delta\nu_{Cs}$, равного 9 192 631 770 при выражении в единице Гц, что соответствует $с^{-1}$.

Это определение означает точное соотношение $\Delta\nu_{Cs}$ = 9 192 631 770 Гц. Обратное отношение дает точное выражение для единицы секунда через определяющую константу $\Delta\nu_{Cs}$:

$$1\ \text{Hz} = \frac{\Delta\nu_{Cs}}{9192\,631\,770} \quad \text{или} \quad 1\ \text{с} = \frac{9192\,631\,770}{\Delta\nu_{Cs}}.$$

Следствием из этого определения является то, что секунда равна продолжительности 9 192 631 770 периодов излучения, соответствующего переходу между двумя сверхтонкими уровнями невозмущенного основного состояния атома цезия-133.

Ссылка на невозмущенное состояние атома дана для разъяснения того, что определение секунды в SI основывается на изолированном атоме цезия, то есть невозмущённым каким-либо внешним полем, таким, как, например, фоновое излучение черного тела.

Определённая таким образом секунда – это единица собственного времени в рамках общей теории относительности. Для обеспечения скоординированной временной шкалы сигналы от разных первичных часов из разных местоположений объединяются, что требует корректировки с учетом релятивистских сдвигов частоты цезия (см. раздел 2.3.6).

МКМВ принял различные вторичные представления секунды, основанные на отобранных спектральных линиях атомов, ионов или молекул. Невозмущенные частоты этих линий могут быть определены с относительной неопределенностью не хуже, чем при реализации секунды, основанной на частоте сверхтонкого перехода цезия-133, но некоторые из них могут быть воспроизведены с большей стабильностью.

Метр, обозначение м (m), есть единица длины в SI. Определяется путем принятия фиксированного числового значения скорости света в вакууме *c*, равного 299 792 458 при выражении в единице м $с^{-1}$, где секунда определяется через частоту перехода в цезии $\Delta\nu_{Cs}$.

Это определение подразумевает точное соотношение c = 299 792 458 м $с^{-1}$. Обратное соотношение дает точное выражение для единицы метр через определяющие константы c и $\Delta\nu_{Cs}$:

$$1\ \text{м} = \left(\frac{c}{299\,792\,458}\right)c = \frac{9\,192\,631\,770}{299\,792\,458}\frac{c}{\Delta\nu_{Cs}} \approx 30,633319\frac{c}{\Delta\nu_{Cs}}.$$

Из этого определения следует, что один метр – это длина пути, пройденного светом в вакууме за интервал времени, равный 1/ 299 792 458 секунды.

Килограмм, обозначение кг (kg), есть единица массы в SI. Определяется путем принятия фиксированного числового значения постоянной Планка *h*, равного $6{,}62607015\times10^{-34}$ при выражении в единице Дж/с, что соответствует кг $м^2$ $с^{-1}$, где метр и секунда определяются через с и $\Delta\nu_{Cs}$.

Это определение подразумевает точное соотношение h = $6{,}62607015\times10^{-34}$ кг $м^2$ $с^{-1}$. Обратное соотношение дает точное выражение для единицы килограмм через определяющие константы h, c и $\Delta\nu_{Cs}$:

$$1\ \text{кг} = \left(\frac{h}{6,62607015\times10^{-34}}\right)\text{м}^{-2}\text{с},$$

что равнозначно

$$1\ \text{кг} = \frac{\left(299\,792\,458\right)^2}{\left(6,62607015\times10^{-34}\right)\left(9\,192\,631\,770\right)}\frac{h\Delta\nu_{Cs}}{c^2} \approx 1,4755214\times10^{40}\,\frac{h\Delta\nu_{Cs}}{c^2}.$$

Эффект этого определения состоит в определении единицы: кг $м^2$ $с^{-1}$ (единицы как величины «действие», так и величины «момент импульса»). Вместе с определениями секунды и метра это приводит к определению единицы массы, выраженной через постоянную Планка h.

Предыдущее определение килограмма фиксировало значение массы международного прототипа килограмма *m(K)*, равного точно одному килограмму, а значение постоянной Планка h определялось экспериментально. Данное определение точно фиксирует числовое значение h, и теперь экспериментально должна определяться масса прототипа.

В данном определении числовое значение постоянной Планка таково, что на момент его принятия килограмм был равен массе международного

прототипа, $m(K)$ = 1 кг, с относительной стандартной неопределенностью 1×10^{-8}, которая являлась стандартной неопределенностью совокупности наилучших оценок значения постоянной Планка на тот момент.

Обратите внимание, что с помощью данного определения, в принципе, могут быть реализованы первичные эталоны в любой шкале масс.

Ампер, обозначение А (A), есть единица электрического тока в SI. Определяется путем принятия фиксированного числового значения элементарного заряда *e*, равного $1{,}602176634\times10^{-19}$ при выражении в единице Кл, что соответствует А с, где секунда определяется через $\Delta\nu_{Cs}$.

Это определение подразумевает точное соотношение $e = 1{,}602176634\times10^{-19}$ А с. Обратное соотношение дает точное выражение для единицы ампер через определяющие константы e и $\Delta\nu_{Cs}$:

$$1\ \text{А} = \left(\frac{e}{1{,}602176634\times10^{-19}}\right)\text{с}^{-1},$$

что равнозначно

$$1\ \text{А} = \frac{1}{\left(9\ 192\ 631\ 770\right)\left(1{,}602176634\times10^{-19}\right)}\Delta\nu_{Cs}e \approx 6{,}789687\times10^{8}\,\Delta\nu_{Cs}e.$$

Из этого определения следует, что один ампер – это сила электрического тока, соответствующая потоку $1/(1{,}602176634\times10^{-19})$ элементарных зарядов в секунду.

Предыдущее определение ампера было основано на силе взаимодействия двух проводников с током и соответствовало фиксации значения магнитной проницаемости вакуума μ_0 (также известной как магнитная постоянная) равного точно $4\pi\times10^{-7}$ Гн м$^{-1}$ = $4\pi\times10^{-7}$ Н А$^{-2}$, где Гн и Н обозначают когерентные производные единицы генри и ньютон соответственно. Новое определение ампера фиксирует значение e вместо μ_0. В результате, μ_0 должно определяться экспериментально.

Из этого также следует, что поскольку диэлектрическая проницаемость вакуума ε_0 (также известная как электрическая постоянная), волновое сопротивление вакуума Z_0 и адмитанс (полная проводимость) вакуума Y_0, равные $1/\mu_0c^2$, μ_0c и $1/\mu_0c$ соответственно, также должны определяться экспериментально и иметь ту же относительную стандартную неопределенность, как и μ_0, поскольку c известна точно. Произведение $\varepsilon_0\mu_0 = 1/c^2$ и отношение $Z_0/\varepsilon_0 = c$ остаются точными. На момент принятия настоящего определения ампера μ_0 равна $4\pi\times10^{-7}$ Гн/м с относительной стандартной неопределенностью $2{,}3\times10^{-10}$.

Кельвин, обозначение К (K), есть единица термодинамической температуры в SI. Определяется путем принятия фиксированного числового значения постоянной Больцмана *k*, равного 1,380649×10^{-23} при выражении в единице Дж К$^{-1}$, что соответствует кг м^2 с$^{-2}$ К$^{-1}$, где килограмм, метр и секунда определяются через *h*, *c* и $\Delta\nu_{Cs}$.

Это определение подразумевает точное соотношение k = 1,380649×10^{-23} кг м^2 с$^{-2}$ К$^{-1}$. Обратное соотношение дает точное выражение для единицы кельвин через определяющие константы k, h и $\Delta\nu_{Cs}$:

$$1\ \text{К} = \left(\frac{1{,}380649}{k}\right)\times 10^{-23}\ \text{кг м}^2\text{с}^{-2},$$

что равнозначно

$$1\ \text{К} = \frac{1{,}380649\times 10^{-23}}{\left(6{,}62607015\times 10^{-34}\right)\left(9\ 192\ 631\ 770\right)}\frac{\Delta\nu_{Cs}h}{k} \approx 2{,}2666653\frac{\Delta\nu_{Cs}h}{k}.$$

Из этого определения следует, что один кельвин равен такому изменению термодинамической температуры, при котором изменение тепловой энергии kT равно 1,380649×10^{-23} Дж.

Предыдущее определение кельвина устанавливало температуру тройной точки воды $T_{\text{ТТВ}}$, равной 273,16 К. Поскольку новое определение фиксирует числовое значение k, $T_{\text{ТТВ}}$ теперь должна определяться экспериментально. На момент принятия этого определения $T_{\text{ТТВ}}$ была равна 273,16 К с относительной неопределенностью 3,7×10^{-7}, полученной на основе измерений k, предшествующих переопределению.

С учетом истории развития температурных шкал в установившейся практике до сих пор принято выражать термодинамическую температуру T с точки зрения ее отличия от опорной температуры T_0 = 273,15 К, близкой к точке замерзания воды. Эта разность называется температурой Цельсия t и определяется уравнением

$$t = T - T_0.$$

Единицей температуры Цельсия является градус Цельсия, обозначаемый °C, который по определению равен по размеру кельвину. Разность или интервал температур могут быть выражены в кельвинах или в градусах Цельсия, причем числовое значение для разности температур в обоих случаях будет одинаковым. Однако числовое значение температуры Цельсия, выраженное в градусах Цельсия, связано с числовым значением термодинамической температуры, выраженным в градусах Кельвина, соотношением

$$t\ /(°\text{C}) = T\ /K - 273{,}15$$

(см. раздел 5.4.1 для объяснения используемых здесь обозначений).

Кельвин и градус Цельсия являются единицами Международной температурной шкалы 1990 года (МТШ-90), принятой МКМВ в 1989 г. в Рекомендации 5 (CI-1989, PV, 57, 115). Обратите внимание, что МТШ-90 определяет две величины, T_{90} и t_{90}, которые являются близкими приближениями к соответствующим термодинамическим температурам T и t.

Также отметим, что при таком определении первичная реализация кельвина может быть осуществлена, в принципе, в любой точке температурной шкалы.

Моль, обозначение моль (mol), есть единица количества вещества в SI. Один моль содержит точно $6{,}02214076\times10^{23}$ структурных элементов. Это число есть фиксированное числовое значение постоянной Авогадро N_A, выраженное в единице моль$^{-1}$ и называемое числом Авогадро.

Количество вещества в системе, обозначение n, является мерой количества конкретных структурных элементов. Структурными элементами могут быть атомы, молекулы, ионы, электроны и любые другие частицы или определенные группы частиц.

Это определение подразумевает точное соотношение $N_A = 6{,}02214076\times10^{23}$ моль$^{-1}$. Обратное соотношение дает точное выражение для моля через определяющую константу N_A:

$$1 \text{ моль} = \left(\frac{6{,}02214076\times10^{23}}{N_A} \right).$$

Из этого определения следует, что моль – это количество вещества системы, содержащее $6{,}02214076\times10^{23}$ определенных структурных элементов.

Предыдущее определение моля фиксировало значение молярной массы углерода-12, $M(^{12}C)$, равное точно 0,012 кг/моль. Согласно новому определению $M(^{12}C)$ больше не известна точно и должна определяться экспериментально. Значение, выбранное для N_A, таково, что на момент принятия настоящего определения моля, $M(^{12}C)$ равна 0,012 кг/моль с относительной стандартной неопределенностью $4{,}5\times10^{-10}$.

Молярная масса любого атома или молекулы X по-прежнему может быть получена из относительной атомной массы из уравнения

$$M(X) = A_r(X)[M(^{12}C)/12] = A_r(X)M_u,$$

кроме того, молярная масса любого атома или молекулы X также связана с массой структурного элемента $m(X)$ через зависимость

$$M(X) = N_A m(X) = N_A A_r(X) m_u.$$

В этих уравнениях M_u – молярная массовая постоянная, равная $M(^{12}\text{C})/12$, а m_u – атомная единица массы, равная $m(^{12}\text{C})/12$. Они связаны с постоянной Авогадро соотношением

$$M_u = N_\text{A} m_u.$$

В названии «количество вещества» слово «вещество» обычно заменяется словами, характеризующими рассматриваемое вещество, например, «количество хлористого водорода, HCl» или «количество бензола, C_6H_6». Важно дать точное описание структурных элементов (что подчеркнуто в определении моля); предпочтительно указать молекулярную химическую формулу вещества. Хотя слово «количество» имеет более общее словарное определение, для краткости можно сокращать полное наименование «количество вещества» до просто «количество». Это также относится и к производным величинам, таким как «концентрация количества вещества», которую можно назвать просто «молярной концентрацией». В области клинической химии название «концентрация количества вещества» обычно сокращается до «концентрация вещества».

Кандела, обозначение кд (cd), в SI есть единица силы света в заданном направлении. Определяется путем принятия фиксированного числового значения световой эффективности монохроматического излучения частотой 540×10^{12} Гц, $K_\text{кд}$, равного 683 в единице лм Вт^{-1} или кд ср кг^{-1} м^{-1} с^3, где килограмм, метр и секунда определяются через h, c и $\Delta\nu_{Cs}$.

Это определение подразумевает точное соотношение $K_\text{кд} = 683$ кд ср кг^{-1} м^{-2} с^3 для монохроматического излучения частотой 540×10^{12} Гц. Обратное соотношение дает точное выражение для канделы через определяющие константы $K_\text{кд}$, h и $\Delta\nu_{Cs}$:

$$1\ \text{кд} = \left(\frac{K_\text{кд}}{683}\right)\text{кг}\,\text{м}^2\,\text{с}^{-3}\text{ср}^{-1},$$

что равнозначно

$$1\ \text{кд} = \frac{1}{\left(6,62607015\times10^{-34}\right)\left(9\ 192\ 631\ 770\right)^2\,683}\left(\Delta\nu_{Cs}\right)^2 hK_\text{кд} \approx$$

$$\approx 2,614830\times10^{10}\left(\Delta\nu_{Cs}\right)^2 hK_\text{кд}.$$

Из этого определения следует, что одна кандела равна силе света в заданном направлении от источника, который излучает монохроматическое излучение с частотой 540×10^{12} Гц, энергетическая сила света которого в этом направлении составляет 1/683 Вт/ср. Определение стерадиана приведено ниже в табл. 4.

2.3.2 Практическая реализация единиц SI

Наиболее точные экспериментальные методы реализации единиц с использованием уравнений физики известны как первичные методы. Важным свойством первичных методов является возможность измерять величину в заданных единицах, используя при измерении только величины, не содержащие данную единицу. В настоящей формулировке SI основа определений отличается от использовавшейся ранее, поэтому для практической реализации единиц SI могут использоваться новые методы.

Раньше каждое определение подразумевало конкретные условия или физические состояния, что устанавливает фундаментальный предел точности реализации, но теперь пользователь может выбирать любое удобное уравнение физики, связывающее определяющие константы с измеряемой величиной. Это гораздо более общий способ определения основных единиц измерения, и он не ограничен современным состоянием науки или технологии. Будущий прогресс может привести к другим способам реализации единиц с более высокой точностью. Такой способ определения, в принципе, не ограничивает точность реализации. Исключением остается определение секунды, в котором, на данный момент, сохраняется указание на конкретный микроволновый переход в цезии. Для более полного объяснения реализации единиц SI см. Приложение 2.

2.3.3 Размерности величин

Величины, охваченные системой единиц, могут быть трансформированы 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 табл. 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 счётных, 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:

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

где показатели степени α, β, γ, δ, ε, ζ 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 (относительной величины). Например, показатель преломления – это отношение двух скоростей, а относительная диэлектрическая проницаемость – это отношение диэлектрической проницаемости среды к диалектической 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 счётным величинам относятся число молекул, число клеточных или биомолекулярных объектов (например, копии конкретной последовательности нуклеиновой кислоты) или степень вырождения в квантовой механике. Счётные величины также являются величинами с единицей «один».

Единица «один» является нейтральным элементом любой системы единиц – она необходима и входит в состав системы 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 стерадианах, 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 стерадианами рассматриваемая величина является или включает в себя соответственно плоский или телесный угол. Для стерадианов, например, это подчеркивает различие между единицами потока и интенсивности в радиометрии и фотометрии. Однако в математике и в других областях науки издавна практикуется отношения рад = 1 и ср = 1. В силу

исторических причин радиан и стерадиан 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 рода (например, отношения длин или доли количества) или счета (например, количество фотонов или распадов).

Примечания автора:

1. Из теории шкал измерений (см. главу 3) следует, что размерностями обладают лишь величины, описываемые метрическими шкалами разностей и отношений. Величины, описываемые абсолютными шкалами, безразмерностны в принципе.

2. К качественным свойствам, описываемым шкалами наименований, и порядковым величинам понятие «**размерность**» не применимо.

3. **Единицы измерения** и **значения** величин с размерностью единица есть числа, но они выражают больше информации, чем просто число: отражают качественную сторону конкретного измеряемого свойства.

4. Некоторые величины с размерностью единица (безразмерностные величины – см. главу 2) определяются как отношение двух величин одного **рода**, например, плоский угол, телесный угол, коэффициент преломления, относительная магнитная проницаемость, массовая доля, коэффициент трения, число Маха.

5. Количество объектов является величиной с размерностью единица. Например, количество витков в катушке, количество молекул в данном образце, количество вырожденых энергетических уровней в квантовой системе.

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 табл. 4 приведены 22 единицы SI со специальными названиями. Вместе с семью основными единицами (табл. 2) они образуют основу набора единиц SI. Остальные единицы SI представляют собой комбинации некоторых из этих 29 единиц.

Таблица 4

22 единицы SI со специальными названиями и обозначениями

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

* В вольтах измеряется также электродвижущая сила (ЭДС) – electromotive force, EMF (Прим. ред.).

(*a*) Порядок обозначений для основных единиц в данной таблице отличается от порядка в 8-м издании, на основании решения 21-го заседания CCU (2013 г.) следует вернуться к первоначальному порядку, приведенному в Резолюции 12 11-го заседания ГКМВ (1960 г.), в которой ньютон записывался как кг м $с^{-2}$, а джоуль как кг $м^2$ $с^{-2}$, а Дж с как кг $м^{-2}$ $с^{-1}$. 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 её 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*) Стерадиан является когерентной единицей телесного угла. Один стерадиан – это телесный угол с вершиной в центре сферы, стягиваемый областью сферической поверхности, площадь которой равна квадрату радиуса. Как и радиан, стерадиан 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 «стерадиан» 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).

Важно отметить, что любая из семи основных единиц и 22 единиц SI со специальными названиями может быть 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. В табл. 5 приведены некоторые примеры производных величин и соответствующих когерентных производных единиц, выраженных через основные единицы. Кроме этого, в табл. 6 даны примеры когерентных производных единиц, названия и обозначения которых включают в себя производные единицы. Полный набор единиц SI включает в себя как когерентный набор, так и кратные и дольные единицы, сформированные с использованием приставок SI.

Таблица 5

Примеры когерентных производных единиц SI, выраженных через основные единицы

Производная величина	Типичное обозначение величины	Производная единица в основных единицах SI
площадь	A	$м^2$
объем	V	$м^3$
скорость	v	$м\ с^{-1}$
ускорение	a	$м\ с^{-2}$
волновое число	σ	$м^{-1}$
плотность, массовая плотность	ρ	$кг\ м^{-3}$
поверхностная плотность	ρ_A	$кг\ м^{-2}$
удельный объем	v	$м^3\ кг^{-1}$
плотность электрического тока	j	$А\ м^{-2}$
напряженность магнитного поля	H	$А\ м^{-1}$
концентрация количества вещества	c	$моль\ м^{-3}$
массовая концентрация	ρ, γ	$кг\ м^{-3}$
освещенность	L_V	$кд\ м^{-2}$

Таблица 6

Примеры когерентных производных единиц SI, названия и обозначения которых включают в себя производные единицы со специальными названиями и обозначениями

Величина	Название когерентной производной единицы	Обозначение	Производная единица в основных единицах SI
динамическая вязкость	паскаль-секунда	Па с	кг $м^{-1}$ $с^{-1}$
момент силы	ньютон-метр	Н м	кг $м^2$ $с^{-2}$
поверхностное натяжение	ньютон на метр	Н $м^{-1}$	кг $с^{-2}$
угловая скорость	радиан в секунду	рад $с^{-1}$	$с^{-1}$
угловое ускорение	радиан в секунду в квадрате	рад/$с^2$	$с^{-2}$
поверхностная плотность теплового потока	ватт на метр в квадрате	Вт/$м^2$	кг $с^{-3}$
теплоемкость, энтропия	джоуль на кельвин	Дж $К^{-1}$	кг $м^2$ $с^{-2}$ $К^{-1}$
удельная теплоемкость, удельная энтропия	джоуль на килограмм-кельвин	Дж $К^{-1}$ $кг^{-1}$	$м^2$ $с^{-2}$ $К^{-1}$
удельная энергия	джоуль на килограмм	Дж $кг^{-1}$	$м^2$ $с^{-2}$
теплопроводность	ватт на метр-кельвин	Вт $м^{-1}$ $К^{-1}$	кг м $с^{-3}$ $К^{-1}$
плотность энергии	джоуль на метр кубический	Дж $м^{-3}$	кг $м^{-1}$ $с^{-2}$
напряженность электрического поля	вольт на метр	В $м^{-1}$	кг м $с^{-3}$ $А^{-1}$
плотность электрического заряда	кулон на метр кубический	Кл $м^{-3}$	А с $м^{-3}$
поверхностная плотность заряда	кулон на метр в квадрате	Кл $м^{-2}$	А с $м^{-2}$
плотность потока электрического заряда, электрическое смещение	кулон на метр в квадрате	Кл $м^{-2}$	А с $м^{-2}$
диэлектрическая проницаемость	фарад на метр	Ф $м^{-1}$	$кг^{-1}$ $м^{-3}$ $с^4$ $А^2$

магнитная проницаемость	генри на метр	Гн $м^{-1}$	кг м $с^{-2}$ $А^{-2}$
молярная энергия	джоуль на моль	Дж $моль^{-1}$	кг $м^2$ $с^{-2}$ $моль^{-1}$
молярная энтропия, молярная теплоемкость	джоуль на моль-кельвин	Дж $К^{-1}$ $моль^{-1}$	кг $м^2$ $с^{-2}$ $моль^{-1}$ $К^{-1}$
экспозиционная доза (рентгеновского и гамма-излучения)	кулон на килограмм	Кл $кг^{-1}$	А с $кг^{-1}$
мощность поглощенной дозы	грей в секунду	Гр $с^{-1}$	$м^2$ $с^{-3}$
сила излучения	ватт на стерадиан	Вт $ср^{-1}$	кг $м^2$ $с^{-3}$
энергетическая яркость	ватт на стерадиан-метр в квадрате	Вт $ср^{-1}$ $м^{-2}$	кг $с^{-3}$
концентрация каталитической активности	катал на метр кубический	кат $м^{-3}$	моль $с^{-1}$ $м^{-3}$

Важно подчеркнуть, что каждая физическая величина имеет только одну когерентную единицу SI, даже если эта единица может быть выражена в различном виде с помощью нескольких специальных названий и обозначений.

Обратное, однако, неверно, так как в целом несколько разных величин могут иметь одну и ту же единицу SI. Например, для величин теплоемкости и энтропии используется единица SI джоуль на кельвин. Аналогично, для основной величины электрического тока, так же как и для производной величины магнитодвижущей силы, единицей SI является ампер. Поэтому важно не использовать только единицу для описания величины. Это относится не только к техническим текстам, но и, например, к средствам измерения (т.е. показания прибора должны указывать как единицу, так и измеряемую величину).

На практике в случае некоторых величин предпочтение отдается использованию определенных специальных названий единиц, чтобы обеспечить различие между разными величинами с одной и той же размерностью. Пользуясь этим допущением, можно вспомнить процесс определения такой величины. Например, величина крутящего момента представляет собой векторное произведение радиус-вектора положения и вектора силы. Единица SI при этом – ньютон-метр. Несмотря на то, что крутящий момент имеет ту же размерность, что и энергия (единица SI – джоуль), джоуль никогда не используется для выражения крутящего момента.

Примечание. Международная электротехническая комиссия (IEC) ввела специальное название для единицы реактивной мощности – вар (var). С точки зрения когерентных единиц SI, вар идентичен вольт-амперу.

Единица SI для частоты – это герц, единица SI для угловой скорости и угловой частоты – это радиан в секунду, а единица SI для активности – это беккерель, то есть отсчет в секунду. И хотя формально правильно записывать все три как обратную секунду, использование разных названий подчеркивает различную природу этих величин. Особенно важно проводить четкое различие между частотами и угловыми частотами, поскольку их числовые значения по определению отличаются в 2π раз (см. ISO 80000-3). Пренебрежение этим фактом может привести к погрешности в 2π раз. Обратите внимание, что в некоторых странах значения частоты принято выражать в «цикл/с» или «cps» вместо единицы измерения Гц, а «цикл» и «cps» не являются единицами измерения SI. Также отметим, что принято использовать термин «частота» для величин, выраженных в рад/с, хотя это и не рекомендуется. Напротив, рекомендуется, чтобы величины, называемые «частота», «угловая частота» и «угловая скорость», всегда задавались в единицах Гц или рад/с, а не $с^{-1}$.

В области измерений ионизирующих излучений вместо обратной секунды используется единица SI беккерель. Для поглощенной дозы и эквивалентной дозы вместо джоуля и килограмма применяются единицы SI грэй и зиверт. Названия «беккерель», «грэй» и «зиверт» были введены специально из-за опасности для здоровья человека, которая может возникнуть при использовании обратной секунды и джоуля на килограмм при неверном выборе этих единиц для трактовки различных привлеченных величин.

Особую осторожность следует проявлять при выражении температур или разности температур. Разность температур в 1 К равна разнице температур в 1 °С, но в случае абсолютных температур необходимо учитывать разницу в 273,15 К. Единица градус Цельсия когерентна только при выражении разности температур.

2.3.5 Единицы величин, описывающих биологические и физиологические явления

Четыре единицы SI в табл. 2 и 4 содержат физиологические весовые коэффициенты: кандела, люмен, люкс и зиверт.

Люмен и люкс выводятся из основной единицы канделы. Как и кандела, они несут в себе информацию о человеческом зрении. Кандела была принята в качестве основной единицы в 1954 г. как признание

важности света в повседневной жизни. Более подробную информацию о единицах и условных обозначениях, используемых для определения фотохимических и фотобиологических величин, можно найти в Приложении 3.

Ионизирующее излучение передает энергию облучаемому веществу. Отношение переданной энергии к массе называется поглощенной дозой *D*. По решению МКМВ в 2002 г. величина эквивалентная доза $H = Q\,D$ представляет собой произведение поглощенной дозы *D* и числового коэффициента *Q*, который учитывает биологическую эффективность излучения и зависит от энергии и типа излучения.

Существуют единицы величин, не относящиеся к SI, которые описывают биологические явления и включают в себя весовые коэффициенты. Здесь приведены два примера.

Звук вызывает колебания давления в воздухе, накладываемые на нормальное атмосферное давление, которые воспринимаются человеческим ухом. Чувствительность уха зависит от частоты звука, но это не простая функция изменения давления или частоты. Поэтому в акустике используются частотно-взвешенные величины для приближения к воспринимаемому звуку. Например, они используются для измерений в области защиты органов слуха. Воздействие ультразвуковых акустических волн ставит аналогичные задачи в медицинской диагностике и терапии.

Для количественной оценки биологической активности определенных веществ в медицинской диагностике и терапии также используется класс единиц, которые пока еще не могут быть выражены в единицах SI. Это объясняется тем, что механизм специфического биологического действия этих веществ еще недостаточно хорошо изучен, чтобы его можно было количественно определить в терминах физико-химических параметров.

Ввиду их важности для охраны здоровья и безопасности Всемирная организация здравоохранения – ВОЗ (WHO) взяла на себя ответственность по определению Международных единиц ВОЗ – WHO IU – для биологической активности таких веществ.

2.3.6 Единицы SI в рамках общей теории относительности

Практическая реализация единицы и процесс сличения требует наличия системы уравнений в рамках теоретического описания. В некоторых случаях эти уравнения учитывают релятивистские эффекты.

Для эталонов частоты возможно проводить сличения на расстоянии с помощью электромагнитных сигналов. Для интерпретации результатов требуется привлекать общую теорию относительности, так как она

учитывает среди прочего относительное смещение частоты между эталонами, составляющее примерно 1×10^{-16} на метр разности высот на поверхности Земли. При сличении лучших эталонов частоты влияние такого размера должно быть учтено.

При сравнениях практических реализаций локально, то есть в небольшой области пространства-времени, влияниями искривления пространства-времени, описанными с помощью общей теорией относительности, можно пренебречь. Если реализации имеют одни и те же пространственно-временные координаты (например, движение и ускорение или гравитационное поле), релятивистскими эффектами можно пренебречь полностью.

3 Десятичные кратные и дольные единицы SI

Для использования с единицами SI установлены приставки десятичных кратных и дольных единиц в диапазоне от 10^{24} до 10^{-24}. В табл. 7 представлены названия и обозначения для этих кратных и дольных приставок.

Обозначения приставок печатаются прямым шрифтом, как и обозначения единиц, вне зависимости от шрифта, используемого в остальном тексте, без пробела между ними и символом единицы. Все кратные приставки пишутся с большой буквы, а дольные – с маленькой, за исключением da (дека), h (гекто) и k (кило). Названия всех приставок печатаются строчными буква, кроме тех, что стоят в начале предложения.

Таблица 7

Приставки SI

Степень	Название	Обозначение		Степень	Название	Обозначение	
		междунар.	русское			междунар.	русское
10^{1}	дека	da	да	10^{-1}	деци	d	д
10^{2}	гекто	h	г	10^{-2}	санти	c	с
10^{3}	кило	k	к	10^{-3}	милли	m	м
10^{6}	мега	M	М	10^{-6}	микро	μ	мк
10^{9}	гига	G	Г	10^{-9}	нано	n	н
10^{12}	тера	T	Т	10^{-12}	пико	p	п
10^{15}	пета	P	П	10^{-15}	фемто	f	ф
10^{18}	экса	E	Э	10^{-18}	атто	a	а
10^{21}	зетта	Z	З	10^{-21}	зепто	z	з
10^{24}	иотта	Y	И	10^{-24}	окто	y	и

Примечание. Приставки SI относятся только к степеням 10. Их нельзя использовать для обозначения ситепеней 2 (например, один килобит представляет собой 1000 бит, а не 1024). Для степеней 2 рекомендуются к использованию следующие названия и обозначения приставок:

киби	Ki (Ки)	2^{10}
меби	Mi (Ми)	2^{20}
гиби	Gi (Ги)	2^{30}
теби	Ti (Ти)	2^{40}
пеби	Pi (Пи)	2^{50}
эксби	Ei (Эи)	2^{60}
зеби	Zi (Зи)	2^{70}
йоби	Yi (Йи)	2^{80}

Совокупность символов, образованная приставкой и обозначением единицы, представляет собой новое неделимое обозначение единицы (кратная или дольная единица), которое может быть возведено в положительную или отрицательную степень или объединено с другими обозначениями единиц, чтобы сформировать составные обозначения единиц.

Примеры:

пм (пикометр), ммоль (миллимоль), ГОм (гигаом), ТГц (терагерц);

$2{,}3\ см^3 = 2{,}3\ (см)^3 = 2{,}3\ (10^{-2}\ м)^3 = 2{,}3\times10^{-6}\ м^3$;

$1\ см^{-1} = 1\ (см)^{-1} = 1(10^{-2}\ м)^{-1} = 10^2\ м^{-1} = 100\ м^{-1}$.

Таким же образом, названия приставок неотделимы от названий единиц, к которым они прикреплены. Так, например, миллиметр, микропаскаль и меганьютон – это все отдельные слова.

Составные обозначения для приставок, то есть образованные наложением двух или более обозначений для приставок, не допускаются. Это правило также применяется к двум или нескольким составным названиям приставок.

Обозначения для приставок не могут ни записываться отдельно, ни присоединяться к цифре 1, обозначению единицы «один». Точно так же названия приставок не могут присоединяться к названию единицы один, то есть к слову «один».

Килограмм – это единственная когерентная единица SI, чье название и обозначение по историческим причинам включает в себя приставку. Названия и обозначения для кратных и дольных единиц массы образуются путем присоединения названия и обозначения приставки к названию единицы «грамм» и обозначению единицы «г» соответственно. Например, 10^{-6} кг записывается как миллиграмм, мг, а не микрокилограмм, мккг.

4 Внесистемные единицы, допустимые к применению с SI

SI представляет собой согласованную на международном уровне референтную систему, в терминах которой выражаются все другие единицы. Важным преимуществом когерентных единиц SI является то, что при подстановке конкретных величин в уравнения для величин, переводные множители для единиц не требуются.

Тем не менее, общепризнанным остается тот факт, что некоторые единицы, не входящие в SI, до сих пор широко используются и будут использоваться на протяжении многих лет. Вследствие этого МКМВ утвердил некоторые внесистемные единицы SI – они перечислены в табл. 8. Следует понимать, что при использовании этих единиц некоторые преимущества SI утрачиваются. С некоторыми из внесистемных единиц можно использовать приставки SI, но, например, не с внесистемными единицами времени.

Таблица 8

Внесистемные единицы SI, допустимые к применению с единицами SI

Величина	Название единицы	Обозначение	Значение в единицах SI
время	минута час день	мин ч д	1 мин = 60 с 1 ч = 60 мин = 3600 с 1 д = 24 ч = 86400 с
длина	астрономическая единица[(a)]	а.е.	1 а.е. = 149 597 870 700 м
плоский и фазовый угол	градус минута секунда[(b)]	…° …' …"	1° = (π/180) рад 1' = (1/60)° = (π/108000) рад 1″ = (1/60)′ = (π/ 648 000) рад
площадь	гектар[(c)]	га	1 га = 1 гм^2 = 10^4 м^2
объем	литр[(d)]	л, Л	1 л = 1 Л = 1 дм^3 = 10^3 см^3 = = 10^{-3} м^3
масса	тонна[(e)] дальтон[(f)]	т Да	1 т = 10^3 кг 1 Да = 1,660539040 (20) ×10^{-27} кг
энергия	электрон-вольт[(g)]	эВ	1 эВ = 1,602176634×10^{-19} Дж
логарифмические отношения величин	непер[(h)] бел[(h)] децибел[(h)]	Нп Б дБ	см. по тексту

(*a*) По решению XXVIII Генеральной ассамблеи Международного астрономического союза (Резолюция B2, 2012 г.).

(*b*) Для некоторых применений, например, в астрономии, малые углы измеряются в угловых секундах (т.е. в секундах плоского угла), обозначаемых как ″, миллиарксекундах, микроарксекундах и пикоарксекундах, обозначаемых, соответственно, как mas, μas и pas, где угловая секунда (arcsecond) является альтернативным названием для секунды плоского угла.

(*c*) Единица «гектар» и ее обозначение, га, были приняты МКМВ в 1879 г. (PV, 1879, 41). Гектар используется для выражения площади земельного участка.

(*d*) Литр и его обозначение, строчная «л», были приняты МКМВ в 1879 г. (PV, 1879, 41). Альтернативное обозначение, заглавная «Л», было принято на 16-м заседании ГКМВ (1979, Резолюция 6; CR, 101 и журнал *Metrologia*, 1980, **16**, 56-57), чтобы избежать путаницы между латинской буквой «l» и цифрой 1.

(*e*) Тонна и ее обозначение, т, были приняты МКМВ в 1879 г. (PV, 1879, 41). В некоторых англоязычных странах эту единицу иногда называют «метрическая тонна».

(*f*) Дальтон (Да, Da) и атомная единица массы (u) являются альтернативными названиями (и обозначениями) для одной и той же единицы, равной 1/12 массы свободного атома углерода-12 в покое и в его основном состоянии. Это значение дальтона рекомендовано в поправке в CODATA 2014. Оно будет обновлено в новом согласовании данных CODATA 2018 г., чтобы учесть значение постоянной Планка 2017 г. *h*, ныне зафиксированное как точное. Это на порядок уменьшит неопределенность 2014 г.

(*g*) Электрон-вольт – это кинетическая энергия, полученная электроном при прохождении через разницу потенциалов в 1 вольт в вакууме. Электро-вольт часто сочетают с приставками SI.

(*h*) При использовании этих единиц важно указывать характер величины и указывать любое используемое опорное значение.

Примечание. Гал (обозначается Гал, Gal) – это единица ускорения, не принадлежащая SI, используемая в геодезии и геофизике для выражения ускорения под действием силы тяжести. Гал = 1 см $с^{-2}$ = 10^{-2} м $с^{-2}$.

В табл. 8 также представлены единицы логарифмических отношений величин – непер, бел и децибел. Они используются для передачи информации о характере логарифмического отношения рассматриваемой величины. Непер, Нп, используется для выражения

значений величин, чьи числовые значения основаны на использовании неперианского (натурального) логарифма ln = $\log_e$. Бел и децибел, Б и дБ, где 1 дБ = (1/10) Б, используются для выражения значений логарифмического отношения величин, числовые значения которых основаны на десятичном логарифме, lg = $\log_{10}$. Выражение $L_X = m$ дБ = (m/10) Б (где m – это число) толкуется как означающее $m = 10 \lg(X/X_0)$. Единицы непер, бел и децибел были приняты МКМВ для использования совместно с Международной системой единиц, но сами единицами SI не являются.

Существует еще много единиц, не относящихся к SI, которые либо представляют исторический интерес, либо до сих пор используются в определенных областях измерения (например, баррель нефти) или в определенных странах (дюйм, фут и ярд). МКМВ не видит причин для продолжения использования этих единиц в современной научно-технической деятельности. Тем не менее очевидно, что важно иметь возможность помнить отношение этих единиц к соответствующим единицам SI, и это будет иметь место на протяжении еще многих лет.

5 Написание обозначений и названий единиц и выражение значений величин

5.1 Использование обозначений и названий единиц

Основные принципы написания обозначений единиц и чисел были разработаны 9-й ГКМВ (1948 г., Резолюция 7). Впоследствии они дорабатывались ИСО, МЭК (ISO, IEC) и другими международными организациями, поэтому в настоящее время существуют общие правила для написания и использования названий и обозначений единиц, названий и обозначений приставок, а также обозначений величин. Также имеются правила для выражения значений величин. Соблюдение этих правил и стилистики, наиболее важные из которых представлены в данной главе, повышает удобочитаемость научных и технических текстов.

5.2 Обозначения единиц

Обозначения единиц печатаются прямым шрифтом, вне зависимости от шрифта, используемого в остальном тесте. Они печатаются строчными буквами, за исключением обозначений единиц, полученных из имен собственных, которые печатаются с заглавной буквы.

Как исключение, принятое 16-й ГКМВ (1979 г., Резолюция 6), в международных документах литр может обозначаться как строчной буквой l (л), так и заглавной буквой L во избежание возможной путаницы с числом 1 (один).

При использовании кратных и дольных приставок они являются частью единицы и записываются с ней слитно. Приставка никогда не используется отдельно, а составные приставки не используется вообще.

Обозначения единиц представляют собой математические объекты, а не аббревиатуры. Следовательно, точка после них не ставится, кроме случаев, когда обозначение стоит в конце предложения. У обозначений нет множественного числа, и нельзя использовать обозначения единиц и названия единиц в одном выражении, так как названия единиц не являются математическими объектами.

При перемножении и делении символов единиц к ним применяются обычные правила алгебраического умножения и деления. Умножение обозначается либо пробелом, либо интерпунктом (точка по центру высоты строки), поскольку в противном случае некоторые приставки могут быть приняты за обозначения единиц. Деление обозначается горизонтальной линией, косой чертой (/) или отрицательной степенью. При использовании нескольких обозначений единиц, во избежание двусмысленности, следует соблюдать осторожность и использовать, например, скобки и отрицательные степени. В выражениях без скобок косую черту нельзя использовать более одного раза.

Недопустимо использовать сокращения для обозначений и названий единиц, такие как сек (как для «с», так и для «секунда»), кв. мм (как для $мм^2$, так и для «миллиметр в квадрате»), куб. см (как для $см^3$, так и для «кубический сантиметр») или mps (как для м/с, так и для «метр в секунду»). Использование правильных обозначений для единиц SI обязательно в частности, и для всех единиц в целом, как было указано в предыдущих главах этой Брошюры. Таким образом, можно будет избежать двусмысленности и путаницы в значениях величин.

5.3 Названия единиц

Названия единиц обычно печатаются прямым шрифтом и рассматриваются как обычные существительные. В английском языке (и русском, *прим. переводчика*) названия единиц начинаются со строчной буквы (даже если обозначение единицы пишется с заглавной), кроме названий единиц, стоящих в начале предложения, или, когда используются только заглавные буквы, например, в заголовках. Согласно этому правилу, название единицы, обозначаемой °C, записывается как «градус Цельсия» (единица «градус» начинается со строчной буквы, а модификатор «Цельсий» начинается с заглавной, так как это имя собственное).

Несмотря на то, что значения величин обычно выражаются с помощью обозначений чисел и единиц, если по какой-либо причине вместо обозначения единицы удобнее использовать ее название, то название единицы можно привести целиком.

Если название единицы используется вместе с кратной или дольной приставкой, то между названием приставки и названием единицы ни пробел, ни дефис не ставится. Название приставки и название единицы пишутся слитно (см. главу 3).

При образовании названия производной единицы с помощью совмещения названий отдельных единиц, для разделения имен отдельных единиц используется пробел или дефис.

5.4 Правила и стилистика выражения значений величин

5.4.1 Значение и числовое значение величины; операции над величинами

Величины обычно обозначаются одной буквой, напечатанной курсивом, а дополнительная информация указывается верхним или нижним индексом или в скобках. Например, C – рекомендованное обозначение для теплоемкости, C_{m} – для молярной теплоемкости, $C_{\mathrm{m},\,p}$ – для молярной теплоемкости при постоянном давлении, и $C_{\mathrm{m},V}$ – для молярной теплоемкости при постоянном объеме.

Рекомендованные названия и обозначения для величин перечислены во многих справочных материалах, таких как стандарты серии ISO/IEC 80000 «Величины и единицы» (*Quantities and units*), Красная книга IUPAP SUNAMCO «Обозначения, единицы и номенклатура в физике» (IUPAP SUNAMCO Red Book *Symbols, Units and Nomenclature in Physics*) и Зеленая книга IUPAC «Величины, единицы и обозначения в физико-химии» (IUPAC Green Book *Quantities, Units and Symbols in Physical Chemistry*).

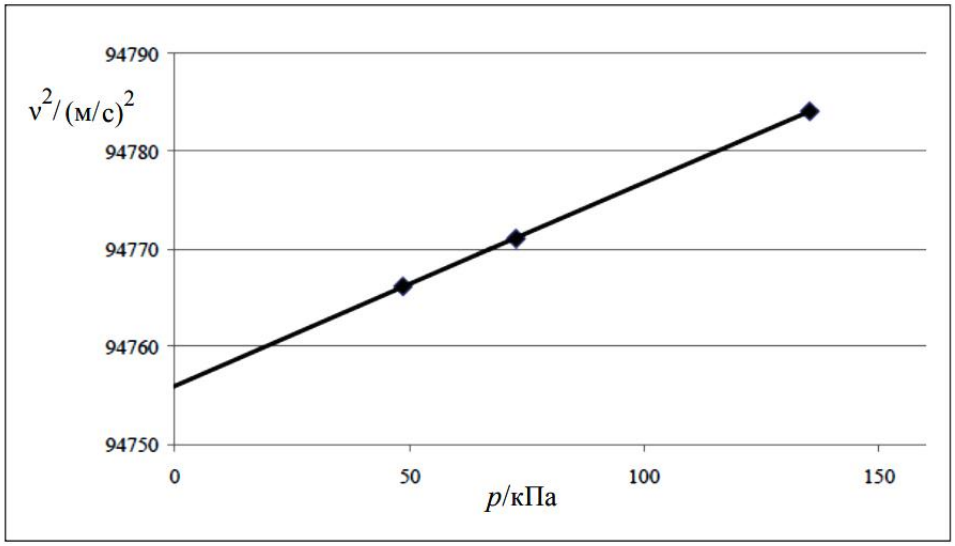
Однако обозначения для величин носят рекомендательный характер (в отличие от обозначений единиц, для которых правильное использование обязательно). В некоторых случаях для обозначения величины авторы могут предпочесть использовать символ по своему выбору, например, во избежание путаницы при использовании одного и того же обозначения для двух разных величин. В таких случаях обозначения необходимо четко объяснить. Тем не менее, ни название величины, ни используемое для нее обозначение не подразумевает выбор какой-либо определенной единицы.

Обозначения единиц рассматриваются как математические объекты. При выражении значения величины как произведения числового значения и единицы, как с числовым значением, так и с единицей можно оперировать по обычным правилам алгебры. Эта процедура рассматривается как счисление величин или алгебра величин. Например, уравнение p = 48 кПа может в равной степени быть записано как p/кПа = 48. Обычно в таком виде соотношения записываются в

заголовках таблиц, чтобы сама таблица содержала только числа. Например, таблица квадрата скорости в зависимости от давления может быть представлена следующим образом:

p/кПа	$\nu^2/(\text{м/с})^2$
48,73	94766
72,87	94771
135,42	94784

Аналогичным образом могут обозначаться оси графика, чтобы точки на нем отмечались только числами, как на примере ниже.



5.4.2 Обозначение величин и обозначение единиц

Обозначения единиц не должны нести в себе конкретной информации о величине и не должны быть единственным источником информации о величине. Единицы никогда не снабжаются дополнительной информацией о природе величины; любая дополнительная информация о природе величины должна быть присвоена обозначению величины, а не обозначению единицы.

Н а п р и м е р : максимальная разность электрических потенциалов U_{max} = 1000 В, но не U = 1000 $В_{max}$. Массовая доля меди в образце кремния $w(\text{Cu}) = 1{,}3\times10^{-6}$, но не $1{,}3\times10^{-6}$ w/w.

5.4.3 Способы записи значения величины

Числовое значение всегда записывается перед единицей через пробел. Таким образом, величина является произведением числа и единицы. Пробел между числом и единицей рассматривается как знак умножения (так же, как пробел между единицами подразумевает умножение). Единственными исключениями из этого правила являются обозначения градуса, минуты и секунды для плоского угла, °, ′, и ″, соответственно, которые от численного значения величины пробелом не отделяются.

П р и м е р ы : m = 12,3 г, где m используется для обозначения величины массы, а φ = 30° 22′ 8″, где φ используется для обозначения величины плоского угла.

Это правило означает, что, при записи значения температуры Цельсия t перед обозначением °C для градуса Цельсия ставится пробел.

П р и м е р : t = 30,2 °C, но не t = 30,2°C и не t = 30,2° C.

Даже если значение величины используется как прилагательное, между числовым значением и обозначением единицы ставится пробел. Обычные правила грамматики применяются только тогда, когда название единицы записывается прописью, поэтому в английском* (и русском, *прим. переводчика*) языке между числом и единицей ставится дефис.

П р и м е р : резистор 10 кОм 35-миллиметровая пленка.

В любом выражении используется только одна единица. Исключением из этого правила является выражение значений времени и плоских углов с использованием внесистемных единиц SI. Для плоского угла предпочтительна запись в десятичной форме, поэтому принято писать 22,20°, а не 22° 12′, за исключением таких областей, как навигация, картография, астрономия и измерение очень малых углов.

П р и м е р : l = 10,234 м, но не l = 10 м 23,4 см.

5.4.4 Способы записи чисел и десятичного разделителя

Знак, используемый для разделения целой части числа и его десятичной части, называется десятичным разделителем. По решению 22-го заседания ГКМВ (2003 г., Резолюция 10) десятичный знак «должен быть либо точкой, либо запятой». Знак выбирается в соответствии с языком контекста.

Если число находится в интервале между –1 и +1, то перед десятичным разделителем всегда ставится ноль.

П р и м е р : – 0,234, но не –,234.

По решению 9-й ГКМВ (1948 г., Резолюция 7) и 22-й ГКМВ (2003 г., Резолюция 10), если число содержит много знаков, они могут быть разделены пробелами в группы по три для облегчения чтения. Между группами по три знака нельзя ставить ни точки, ни запятые. Однако, если до или после десятичного разделителя стоит всего 4 цифры, разделять их не принято. Группировка знаков подобным образом является вопросом выбора, и не всегда применятся даже в специализированных приложениях, таких как технические чертежи, финансовые отчеты и программы, выполняемые компьютером.

П р и м е р ы : 43 279,168 29, но не 43,279.168,29;

либо 3279,1683, либо 3 279,168 3.

При записи чисел в таблицу, формат в столбце меняться не должен.

5.4.5 Выражение неопределенности измерения значения величины

Неопределенность, связанная с оцениваемым значением величины, должна вычисляться и выражаться в соответствии с документом JCGM 100:2008 (GUM 1995 с незначительными исправлениями) «Оценка измерительных данных – Руководство по выражению неопределенности измерений» (*Evaluation of measurement data – Guide to expression of uncertainty in measurement).* Стандартная неопределенность, связанная с величиной x, обозначается как $u(x)$. Удобный способ представления стандартной неопределенности приведен в следующем п р и м е р е :

$$m_n = 1{,}674\ 927\ 471\ (21) \times 10^{-27}\ \text{кг},$$

где m_n – обозначение величины (в данном случае – масса нейтрона), а число в скобках – это числовое значение стандартной неопределенности оцениваемой величины m_n, относящееся к последним цифрам указанного значения; в данном случае $u(m_n) = 0{,}000\ 000\ 021 \times 10^{-27}$ кг. Если вместо стандартной неопределенности $u(x)$ используется расширенная неопределенность $U(x)$, то необходимо указать вероятность охвата p и коэффициент охвата k.

5.4.6 Обозначения умножения и деления величин, значений величин или чисел

При умножении или делении символов величин может использоваться любой из следующих методов:

$$ab,\ a\ b,\ a \cdot b,\ a \times b,\ \frac{a}{b},\ a\ b^{-1}.$$

При умножении значений величин используется либо знак умножения ×, либо скобки; использование точки недопустимо. При умножении чисел следует использовать только знак умножения.

При делении значений величин с помощью косой черты во избежание двусмысленности используются скобки.

Примеры: $F = ma$ для силы равной массе на ускорение;
(53 м/с)×10,2 с или (53 м/с)(10,2 с);
25×60,5, но не 25·60,5;
(20 м)/(5 с) = 4 м/с;
(a/b)/c, но не a/b/c.

5.4.7 Написание значений величин, являющихся числами

Как обсуждалось в разделе 2.3.3, значения величин с единицей «один» выражаются просто в виде чисел. Обозначение единицы 1 или название «один» не указываются. Поскольку приставки SI не могут быть привязанными ни к обозначению 1, ни к названию единицы «один», для записи очень больших или маленьких безразмерных величин используются степени 10.

Пример: n = 1,51, но не n = 1.51×1, где n – обозначение величины для показателя преломления.

Величины, которые являются отношениями величин одного и того же рода (например, отношения длин и доли количества вещества), могут выражаться в единицах (м/м, моль/моль), чтобы лучше понимать выражаемую величину и, при желании, чтобы сделать возможным использование приставок SI (мкм/м, нмоль/моль). Счетные величины так выражаться не могут, так как это просто числа.

Международно признанный знак % (процент – обозначение сотой доли единицы «один») может использоваться в рамках SI. При использовании % между знаком и числом ставится пробел. Следует использовать знак %, а не его название «процент». В текстах знак % обычно подразумевает сотую часть. Не следует использовать такие выражения как «процент массы», «процент объема», или «процент количества вещества»; в названии или обозначении величины должна содержаться дополнительная информация о величине.

Также используется термин ppm (parts per million), означающий 10^{-6} соответствующего значения, или 1 на 10^6, или миллионная часть. Это аналогично значению процента как сотой части. Кроме этого, используются термины parts per billion (миллиардная часть) и parts per trillion (триллионная часть) с соответствующими сокращениями ppb и ppt,

значения которых зависят от языка. По этой причине сокращений ppb и ppt следует избегать.

Примечание. В англоговорящих странах считается, что миллиард составляет 10^9, а триллион – 10^{12}; однако, иногда миллиард может интерпретироваться как 10^{12}, а триллион как 10^{18}. Сокращение ppt также иногда читается как тысячная часть (parts per thousand), усиливая путаницу.

5.4.8 Плоский угол, телесный угол и фазовый угол

Когерентная единица SI для плоского угла и фазового угла – это радиан, обозначается рад, а для телесного угла – стерадиан, обозначается ср.

Плоский угол, выраженный в радианах, между двумя прямыми, исходящими из общей точки, представляет собой длину дуги s, очерченной между прямыми радиус-вектором r, выходящим из общей точки, деленную на радиус-вектор, $\theta = s/r$ рад. Фазовый угол (часто называемый просто фазой) – это аргумент любого комплексного числа. Это угол между положительной действительной осью и радиусом полярного представления комплексного числа в плоскости комплексной переменной.

Один радиан соответствует углу, для которого $s = r$, таким образом, 1 рад = 1. Мера прямого угла в точности равна числу $\pi/2$.

Использование градуса является исторической традицией. Преобразование между радианами и градусами определяется соотношением 360° = 2π рад. Обратите внимание, что градус, обозначаемый как …°, не есть единица SI.

Телесный угол, выраженный в стерадианах, соответствует отношению площади между площадью A поверхности сферы радиусом r и квадратом радиуса, $\Omega = A/r^2$ ср. Один стерадиан соответствует телесному углу, для которого $A = r^2$, следовательно, 1 ср = 1.

Единицы измерения рад и ср представляют собой отношение двух длин и двух квадратов длин соответственно. Однако следует подчеркнуть, что рад и ср должны использоваться только для выражения углов и телесных углов, но не для выражения соотношений длин и квадратов длин вообще.

Примечание. При принятии SI в 1960 году 11-й ГКМВ, была создана категория «Дополнительные единицы», чтобы учесть радиан и стерадиан. Десятилетия спустя ГКМВ постановила «толковать дополнительные единицы SI, а именно радиан и стерадиан, как безразмерные производные единицы, названия и обозначения которых при необходимости могут, но не обязательно, использоваться в выражениях для других производных величин SI» и тем самым устранить класс дополнительных единиц (Резолюция 8 20-й ГКМВ (1995 г.).

Приложение 1. Решения ГКМВ и МКМВ

В данном Приложении представлены решения ГКМВ и МКМВ, которые имеют непосредственное отношение к определениям единиц SI, приставкам, используемым с единицами SI, и правилам записи обозначений единиц и чисел. Это неполный свод решений ГКМВ и МКМВ. Полное собрание отчётов и протоколов содержится в двух последовательно изданных сборниках – «Годовые отчёты Генеральной Конференции по мерам и весам» (*Comptes Rendus des Séances de la Conférence Générale des Poids et Mesures* (CR) и «Протоколы Международного Комитета мер и весов» (*Procès-Verbaux des Séances du Comité International des Poids et Mesures* (PV) или более поздние решения можно найти в журнале *Metrologia*.

Поскольку SI не является статичной принятой системой единиц, а эволюционирует с развитием науки об измерениях, то некоторые решения были отменены или изменены, а другие решения были дополнены уточнениями. Решения, которые были подвергнуты таким изменениям, отмечены звездочкой (*) и имеют примечания со ссылкой на соответствующее решение об изменении.

В данном Приложении решения ГКМВ и МКМВ перечислены в хронологическом порядке с 1889 по 2018 год с целью сохранить последовательность их принятия. Однако, чтобы упростить поиск определенных решений, относящихся к конкретным темам, ниже приводится содержание с указанием страниц с описанием конкретных заседаний, на которых были приняты эти решения.

Содержание **Приложения 1**

Решения, относящиеся к определению SI

Решения, относящиеся к базовым единицам SI
- Длина
- Масса
- Время
- Электрические единицы
- Термодинамическая температура
- Количество вещества
- Сила света

Решения, относящиеся к производным и дополнительным единицам SI
- Производные единицы SI
- Дополнительные единицы

Решения, касающиеся терминологии и единиц, принятых для использования с SI

Приставки SI

Обозначения единиц и числа

Названия единиц

Знак десятичной дроби

Единицы, принятые к использованию с SI: например, литр

Приложение 2. Практическая реализация определений некоторых важных единиц

Приложение 2 публикуется только в электронной форме и доступно на вебсайте МБМВ (***www.bipm.org***).

Поэтому перевода Приложения 2 на русский язык в данной публикации нет.

Приложение 3. Единицы фотохимических и фотобиологических величин

Приложение 3 публикуется только в электронной форме и доступно на вебсайте МБМВ (***www.bipm.org***).

Поэтому перевода Приложения 3 на русский язык в данной публикации нет.

Приложение 4. Исторические заметки о развитии Международной системы единиц и её основных единиц

Содержание **Приложения 1**

Часть 1. Историческое развитие реализации единиц SI

Часть 2. Историческое развитие Международной системы

Часть 3. Исторический взгляд на развитие основных единиц

Единица времени, секунда

Единица длины, метр

Единица массы, килограмм

Единица электрического тока, ампер

Единица термодинамической температуры, кельвин

Единица количества вещества, моль

Единица силы света, кандела

5. ИЗМЕРЕНИЯ, МЕТОДЫ, МЕТОДИКИ И ВИДЫ ИЗМЕРЕНИЙ

Измерение

Измерение (величины), *measurement* – процесс экспериментального получения одного или более **значений величины**, которые могут быть обоснованно приписаны величине. Измерение подразумевает сравнение величин или включает счет объектов. Измерение предусматривает описание величины в соответствии с предполагаемым использованием **результата измерения**, **методику измерений** и **средство измерений**, функционирующее в соответствии с регламентированной методикой измерений и с учетом условий измерений.

Это установленное в терминологических документах [6, 7] определение понятия **измерение** не обладает необходимой общностью: не охватывает измерения **качественных (неразмерных) свойств** и особенности применения шкал измерений. Поэтому даем более общее определение основополагающего понятия «измерение».

Измерение – сравнение конкретного проявления **измеряемого свойства (измеряемой величины)** со шкалой (частью шкалы) измерений этого свойства (величины) в целях получения результата измерения – значения свойства (величины), **измерительной информации**. **Измерение возможно только при наличии установленной по соглашению шкалы измерений.** Таким образом, установленные шкалы измерений являются исходными основами для сравнений измеряемых свойств (величин). Для выполнения сравнений необходима практическая реализация определений установленных шкал измерений, единиц измерений с учетом их спецификаций.

П р и м е р ы :

1. В простейшем случае, прикладывая линейку с делениями к какой-либо детали, по сути, сравнивают ее размер с реализацией шкалы длины, хранимой линейкой, и, произведя отсчет, получают значение величины (длины, высоты, толщины и др. параметров детали).

2. С помощью измерительного прибора сравнивают размер величины, преобразованной в перемещение указателя, с реализацией шкалы, хранимой этим прибором, регистрируя его показание.

П р и м е ч а н и я :

1. От термина «измерение» происходит общепринятый термин «измерять». Применять такие термины, как «мерить», «обмерять», «замерять», «промерять» не рекомендуется. Не следует также применять

такие выражения, как «измерение значения», так как значение величины – это уже результат измерения.

2. Детальное описание измеряемой величины (свойства) требует знания **рода величины**, описание объекта измерения, явления или вещества, включая любые существенные факторы и обстоятельства, связанные с измерительной задачей.

3. Измерение, включая средства измерений и условия, при которых оно выполняется, может изменить объект, явление или вещество таким образом, что измеренное свойство (измеренная величина) может отличаться от **измеряемого свойства,** как оно определено. В этом случае необходимо вводить соответствующую **поправку**. Например, разность потенциалов между клеммами батареи может уменьшиться, когда для измерений используется вольтметр со значительной внутренней проводимостью. Разность потенциалов в разомкнутой цепи может быть рассчитана исходя из внутреннего сопротивления батареи и вольтметра. Другой пример: длина стального стержня в состоянии теплового равновесия с окружающей средой при температуре по шкале Цельсию 23 °C будет отличаться от длины при заданной температуре 20 °C, которая и является измеряемой величиной. В этом случае необходимо вводить соответствующую поправку.

4. В химии для «**измеряемой величины**» иногда ошибочно используют термин «аналит» или наименование вещества или соединения, так как эти термины не имеют отношения к величинам.

Измерение – исходное понятие *метрологии* и предмет ее изучения, а также один из основных способов познания. Измерения количественных и качественных свойств осуществляется с использованием соответствующих **шкал измерений** и **единиц измерений**. Наиболее распространены измерения с применением **средств измерений** – ***инструментальные измерения***. Инструментально измеряют не только обычные пропорциональные и аддитивные величины, но и порядковые (неархимедовы) и относительные **величины**, многомерные величины, свойства, не являющиеся величинами – **качественные (неразмерные) свойства** (цвет, форма, направление и взаиморасположение в пространстве и т.д.). При осуществлении измерений используют необходимые средства обеспечения **единства измерений** (**эталоны, методики измерений, калибровку средств измерений, поверку средств измерений и др.**). Способы описания точности измерений качественных свойств и порядковых величин отличаются от обычных форм оценки **погрешностей измерений** и **неопределенностей измерений**.

Различают **прямые измерения** и **косвенные измерения**, **совокупные измерения** и **совместные измерения**. Различают также специфические **области измерений** и **виды измерений**.

Большую часть всех инструментальных измерений осуществляют в процессах производства и использования продукции, изделий, механизмов, транспортных средств, навигационных, коммуникационных, энергетических систем и т.п. для выполнения различных испытаний, оценки соответствия, осуществления измерительного контроля. Велико число инструментальных измерений и в торговле при взаимных расчетах, в медицине при диагностике, лабораторных анализах, лечении и терапии. В спорте используют как инструментальные измерения, так и экспертные измерения по специальным шкалам оценки спортивных результатов, например, в гимнастике. В экономической и социальной сферах деятельности значимы расчетные и экспертные способы измерений. Например, процедуры оценки уровней знаний по установленным шкалам порядка.

***Измеряемая величина**, measurand* – **величина**, подлежащая измерению.

***Объект измерения**, measurement object* – материальный объект или явление, которые характеризуются одной или несколькими измеряемыми и влияющими величинами, свойствами.

П р и м е р ы объектов измерений: вал, у которого измеряют диаметр; технологический процесс, во время которого измеряют температуру; спутник Земли, координаты которого измеряются или с помощью которого измеряют координаты местоположения объекта на Земле.

Принципы и методы измерений

Принцип измерений – явление (эффект), положенное в основу **измерений**.

П р и м е р ы : применение эффекта Джозефсона для измерения электрического напряжения; применение эффекта Пельтье для измерения поглощенной энергии ионизирующих излучений; применение эффекта Доплера для измерения скорости; использование гравитационного притяжения при измерении массы взвешиванием; энергия абсорбции, которая используется для измерения молярной концентрации.

Метод измерений **–** прием или совокупность приемов сравнения конкретного проявления **измеряемого свойства (измеряемой величины)** со **шкалой измерений** этого свойства (величины) в соответствии с реализованным **принципом измерений**. Все методы измерений являются разновидностями одного единственного метода – метода сравнений со шкалой измерений, при котором измеряемое свойство (величину) сравнивают со свойством (величиной), воспроизводимым мерой (однозначной или многозначной) количественных или качественных свойств. Ниже приведены основные разновидности методов измерений.

Метод непосредственной оценки – метод прямых измерений, при котором значение величины определяют непосредственно по отсчетному устройству показывающего средства измерений, например, измерение электрического напряжения вольтметром. В этом случае сигнал с помощью электромагнитной системы воздействует на заранее проградуированную многозначную меру – спиральную пружинку или упругие растяжки, воспринимающие усилия, поворачивающие рамку, а стрелка вольтметра индуцирует угол закручивания пружинки (растяжки). Если применяется цифровой вольтметр, мерой служит, например, стабилитрон с делителем напряжения.

Метод сравнения (с мерой) – метод измерений, в котором измеряемое свойство (измеряемую величину) сравнивают со свойством (величиной), воспроизводимым мерой.

П р и м е р ы : измерение массы на рычажных весах с уравновешиванием гирями (мерами массы с известными значениями); измерение напряжения постоянного тока на компенсаторе сравнением с известной ЭДС нормального элемента; визуальное сравнение цвета объекта измерений с мерами цвета из набора.

Нулевой метод (измерений) – **метод сравнения с мерой**, в котором результирующий эффект воздействия измеряемой величины и меры на средство сравнения доводят до нуля.

П р и м е р . Измерения электрического сопротивления мостом с полным его уравновешиванием.

Метод измерений замещением, метод замещения – метод сравнения с мерой, в котором объект измерений соответствующей величины замещают мерой с известным значением величины.

П р и м е р . Взвешивание с поочередным помещением объекта измерений массы и гирь на одну и ту же чашку весов (метод Борда).

Метод измерений дополнением, метод дополнения – **метод сравнения с мерой**, в котором измеряемая величина дополняется мерой с таким расчетом, чтобы на средство сравнения воздействовала их сумма, равная заранее заданному значению.

Дифференциальный метод измерений – метод измерений, при котором измеряемая величина сравнивается с однородной величиной, имеющей известное значение, незначительно отличающееся от значения измеряемой величины, и при котором измеряется разность между этими двумя величинами.

П р и м е р . Измерения, выполняемые при поверке мер длины сравнением с эталонной мерой на компараторе.

Метод совпадений – метод измерений, в котором разность между измеряемой величиной и величиной, воспроизводимой мерой, измеряют, используя совпадения меток шкал или периодических сигналов,

например, измерение длины с помощью штангенциркуля с нониусом и частоты вращения стробоскопом.

Методы измерений могут иметь и другие классификационные признаки: быть контактными или дистанционными, электрическими, оптическими или акустическими, радиолокационными, томографическими и т.д.

Методики измерений [15, 16]

Методика (выполнения) измерений (МИ) – установленная логическая последовательность операций и правил при измерении, выполнение которых обеспечивает получение **результатов измерений** в соответствии с **принятым методом измерений**. Обычно методика измерений регламентируется каким-либо нормативным документом.

Примечания:

1. Измерения, относящиеся к сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений, должны выполняться по **аттестованным методикам (методам)** измерений за исключением методик (методов) измерений, предназначенных для выполнения прямых измерений, с применением средств измерений утвержденного типа, прошедших поверку.

2. Методики (методы) измерений, предназначенные для выполнения прямых измерений, вносятся в эксплуатационную документацию на средства измерений. Подтверждение соответствия этих методик (методов) измерений обязательным метрологическим требованиям к измерениям осуществляется в процессе утверждения типов данных средств измерений.

3. Методику измерений иногда называют *стандартной операционной процедурой (standard operating procedure, англ. аббревиатура – SOP).*

Референтная методика измерений – **методика измерений**, принятая для получения **результатов измерений,** которые могут быть использованы для оценки **правильности измеренных значений величины** или свойства**,** полученных по другим методикам измерений величин или свойств того же **рода,** а также для **калибровки** или для определения характеристик **стандартных образцов.**

Примечание. Методику измерений необходимо отличать от методики калибровки.

Первичная референтная методика измерений – **референтная методика измерений**, которая используется для получения **результата измерения** без сравнения с **эталоном** единицы **величины** или свойства того же **рода.** Эталон измеряемой величины (свойства) в этом случае может отсутствовать по причине принципиальной невозможности или технико-экономической нецелесообразности его создания.

Примечание. Консультативный комитет по количеству вещества (CCQM) использует для этого понятия термин «первичный метод измерений». Соответствующий документ должен содержать не только метод измерений, но и метод реализации шкалы измерений и достаточно подробную процедуру определения значения измеряемого свойства.

Государственная первичная референтная методика измерений – первичная референтная методика измерений, находящаяся в федеральной собственности (по законодательству Российской Федерации).

Метрологические требования – требования к (влияющим на результат и показатели точности измерений) характеристикам (параметрам) измерений, эталонов, стандартных образцов, средств измерений, а также к условиям, при которых эти характеристики (параметры) должны быть обеспечены.

Разновидности измерений по специфическим признакам

Статическое измерение, *static measurement* – измерение свойства (величины), принимаемого в соответствии с конкретной измерительной задачей за неизменное на протяжении времени измерения.

Динамический режим (использования средства измерений) – режим использования **средства измерений**, связанный с изменениями условий (факторов) за время проведения измерительного эксперимента, которые влияют на **результат измерения**, в т.ч. изменение **измеряемого свойства** (**измеряемой величины**) за время **измерения.**

Динамическое измерение – **измерение** изменяющегося во времени свойства (изменяющейся по размеру величины), при котором средства измерений используют в **динамическом режиме.**

Строго говоря, все свойства (величины) подвержены тем или иным изменениям во времени. Применение более чувствительных средств измерений дает возможность обнаруживать изменение считающихся постоянными свойств (величин), поэтому разделение измерений на динамические и статические является условным.

Прямое измерение – измерение, при котором искомое значение свойства (величины) получают непосредственно от средства измерений.

Примечания:

1. Термин «прямое измерение» возник как противоположный термину **косвенное измерение**. Строго говоря, измерение всегда прямое и рассматривается как сравнение величины с ее **единицей** или **шкалой**. В этом случае лучше применять термин *прямой метод измерений.*

2. В основу разделения измерений на прямые, косвенные, **совместные и совокупные** может быть положен вид **модели измерений**.

В этом случае граница между косвенными и прямыми измерениями размыта, поскольку большинство измерений в **метрологии** относится к косвенным, так как подразумевает учет влияющих факторов, введение **поправок** и т.д.

П р и м е р ы : измерение длины детали микрометром; измерение силы тока амперметром; измерение массы на весах.

Косвенное измерение – **измерение**, при котором искомое значение свойства (величины) определяют на основании **результатов прямых измерений** других **величин**, функционально связанных с искомой величиной.

П р и м е р . Определение плотности D тела цилиндрической формы по результатам прямых измерений массы m, высоты h и диаметра цилиндра d, связанных с плотностью уравнением

$$D = \frac{m}{0,25\pi d^2 h}.$$

П р и м е ч а н и я :

1. Во многих случаях вместо термина «косвенное измерение» применяют термин **косвенный метод измерений**.

2. Допустимо применение существительного «определение» вместо «измерение» в описании процедур косвенных измерений.

Совокупные измерения – проводимые одновременно **измерения** нескольких одноименных **аддитивных величин**, при которых искомые **значения величин** определяют путем решения системы уравнений, получаемых при измерениях этих величин в различных сочетаниях. Для определения значений искомых величин число уравнений должно быть не меньше числа величин. Как правило, в модели совокупных измерений несколько **выходных величин**.

П р и м е р . Значение массы отдельных гирь набора определяют по известному значению массы одной из гирь и по результатам измерений (сравнений) масс различных сочетаний гирь.

Совместные измерения – проводимые одновременно **измерения** двух или нескольких различных **свойств** (не одноименных **величин)** для определения зависимости между ними. Как правило, модель совместных измерений объединяет параметрическую зависимость между **измеряемыми величинами** и алгоритм оценки параметров данной зависимости на основе **результатов измерений**.

Измерительная задача – задача, заключающаяся в определении **значения измеряемого свойства (величины)** путем его (ее) **измерения** с требуемой точностью в данных условиях измерений.

Области и виды измерений

Международным комитетом мер и весов (МКМВ, CIPM) созданы консультативные комитеты по следующим областям: электричество и магнетизм; фотометрия и радиометрия; термометрия; длина; время и частота; ионизирующие излучения; масса и связанным с ней величины; химия и биология; акустика, ультразвук и вибрации; единицы измерений. Имеет смысл особо дополнительно выделять область пространственно-временных (в том числе навигационных, геодезических) измерений, которая не укладываются в обозначенные общепринятые области (виды) измерений. В этой области измеряют качественные (неразмерные) свойства (местоположение, взаиморасположение, направление в пространстве) и векторы (скорость, ускорение движения) в реальном пространстве и времени с обязательным использованием установленных (стандартизованных) систем пространственных координат и шкал текущего времени.

Принято выделять следующие виды измерений (МИ 2222-92. Рекомендация. ГСИ. Виды измерений. Классификация):

- Измерения геометрических величин.
- Измерения механических величин.
- Измерения параметров потока, расхода, уровня, объема веществ.
- Измерения давления, вакуумные измерения.
- Измерения физико-химического состава и свойств веществ.
- Теплофизические и температурные измерения.
- Измерения времени и частоты.
- Измерения электротехнических и магнитных величин.
- Радиотехнические и радиоэлектронные измерения.
- Измерения акустических величин.
- Оптико-физические измерения.
- Измерения характеристик ионизирующих излучений и ядерных констант.

Примеры видов измерений по областям

Измерения геометрических величин: длин; плоских углов; формы поверхностей.

Измерения механических величин: массы; силы; скорости и ускорения; твердости; крутящих моментов, напряжений и деформаций.

Измерения параметров потока, расхода, уровня, объема веществ: массового и объемного расхода жидкостей в трубопроводах; расхода газов; вместимости; уровня жидкости.

Измерения давлений, вакуумные измерения: избыточного давления; абсолютного давления; переменного давления.

Измерение физико-химического состава и свойств веществ: вязкости; плотности; содержаний (концентрации) компонентов в твердых, жидких и газообразных веществах; влажности твердых веществ; электрохимических свойств.

Теплофизические и температурные измерения: температуры; теплофизических величин; влажности газов.

Измерения времени и частоты: интервалов времени; текущего времени по установленным шкалам; частоты периодических процессов.

Измерения электрических и магнитных величин: силы тока, количества электричества, электродвижущей силы и напряжения, мощности и энергии, угла сдвига фаз; электрического сопротивления, проводимости, емкости, индуктивности и добротности электрических цепей; параметров магнитных полей; магнитных характеристик материалов.

Радиоэлектронные и радиотехнические измерения: интенсивности сигналов; параметров формы и спектра сигналов; параметров радиотехнических трактов; свойств веществ и материалов в радиочастотном диапазоне; параметров электромагнитного поля в свободном пространстве.

Измерения акустических величин: акустические измерения в воздушной среде и аудиометрия; гидроакустические; ультразвуковые в жидкостях и твердых телах; параметров вибрации.

Оптические и оптико-физические измерения: световых параметров источников и материалов; цвета (колориметрия); энергетических параметров некогерентного оптического излучения; спектральных характеристик некогерентного оптического излучения; энергетических, пространственных, спектральных и поляризационных характеристик лазерного и квазимонохроматического излучения; параметров оптических элементов, оптических характеристик материалов; характеристик фотоматериалов.

Измерения характеристик ионизирующих излучений и ядерных констант: дозиметрических характеристик ионизирующих излучений; спектральных характеристик ионизирующих излучений; активности радионуклидов; радиометрических характеристик ионизирующих излучений.

В МИ 2314-2006 «ГСИ. Кодификатор групп средств измерений» регламентированы (для классификации средств измерений) области измерений, аналогичные видам измерений по МИ 2222-92. При этом особо выделены средства измерений медицинского назначения, дополнительно испытываемые на биологическую безопасность.

6. РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ, ПОГРЕШНОСТИ И НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ

Результаты измерений

Результат (измерения величины) – множество **значений величины,** приписываемых **измеряемой величине** вместе с любой другой доступной и существенной информацией.

1. Современное определение понятия «**результат измерения»** претерпело существенное изменение по сравнению с ранее принятым определением (РМГ 29-99) и вобрало в себя выражение точности **измерения.** Информация, приводимая в результате измерения (РИ), определяется особенностями конкретного измерения и предъявляемыми к нему требованиями. В большинстве случаев информация относится к точности измерения и выражается **показателями точности**, в обоснованных случаях содержит указание методики измерений и др.

2. РИ может быть представлен **измеренным значением величины** с указанием соответствующего показателя точности. К показателям точности относятся, например, **среднее квадратическое отклонение, доверительные границы погрешности, стандартная неопределенность измерений, суммарная стандартная** и **расширенная неопределенности измерений.** В VIM3 предусмотрено также представление РИ плотностью распределения вероятностей на множестве возможных значений измеряемой величины.

3. Если значение показателя точности измерений пренебрежимо мало для заданной цели измерения, то РИ может выражаться одним измеренным значением величины. Во многих областях это является обычным способом выражения РИ (с указанием **класса точности** применяемого **средства измерений).** Ранее РИ определялся как значение, приписанное измеряемой величине, и уточнялось, в соответствии с контекстом, имеется ли в виду **показание** средства измерений, неисправленный результат или исправленный результат.

4. Это установленное в терминологических документах [6, 7] определение понятия **результат измерения** распространяется на **качественные (неразмерные) свойств** заменой в формулировках **измеряемой величины** на **измеряемое свойство**.

Показатель точности измерений – установленная характеристика точности любого результата измерений, полученного при соблюдении требований и правил данной **методики измерений**.

Примечание. В качестве показателей точности измерений рекомендуется использовать **суммарную стандартную и расширенную**

неопределенности измерений. Понятие «доверительные границы погрешности измерений» является устаревшим аналогом понятия «расширенная неопределенность измерений».

Измеренное значение (величины) – значение величины, которое представляет **результат измерения.**

1. Для **измерения,** в котором имеют место повторные **показания,** каждое показание может использоваться, чтобы получить соответствующее измеренное значение величины (ИЗВ). Такая совокупность отдельных ИЗВ может быть использована для вычисления результирующего ИЗВ, такого как среднее арифметическое или медиана, обычно с меньшей соответствующей **неопределенностью измерений.**

2. Когда диапазон **истинных значений величины,** представляющих измеряемую величину, мал по сравнению с неопределенностью измерений, ИЗВ может рассматриваться как оценка единственного истинного значения величины, и оно часто представляет собой среднее арифметическое или медиану отдельных измеренных значений, которые получены при повторных измерениях.

3. Когда диапазон истинных значений величины, представляющих измеряемую величину, нельзя считать малым по сравнению с неопределенностью измерений, ИЗВ часто будет оценкой среднего арифметического или медианы набора истинных значений величины.

4. Для понятия ИЗВ используют также термины **результат измерения** и *оценка значения измеряемой величины* или просто *оценка измеряемой величины.*

5. В шкалах порядка за результат измерения можно принять медиану результатов ряда повторных **показаний**, но нельзя принимать среднее арифметическое значение.

6. Результат измерения в шкалах наименований выражается эквивалентностью конкретного проявления свойства точке или классу эквивалентности соответствующей шкалы. Способы получения и представления общего результата ряда повторных измерений в шкалах наименований сообразны специфике конкретных шкал.

7. Представление результата измерения должно также содержать информацию о его **показателях точности**.

Измеренное значение свойства, *оценка свойства* – положение результата измерения качественного свойства конкретного объекта измерений на соответствующей шкале наименований.

Опорное значение (величины) – значение величины, которое используют в качестве основы для сопоставления со **значениями величин** того же **рода.** Опорное значение величины может быть **истинным значением величины,** подлежащей **измерению** (в этом случае оно неизвестно), или **принятым значением величины** (в этом

случае оно известно). Опорное значение величины обычно приводят со связанной с ним **неопределенностью (погрешностью) измерений** для **сличения эталонов**, **референтной методики измерений**, аттестованного **стандартного образца**, технического устройства, например, лазера**.** Для **порядковых величин**, **многомерных величин** и **качественных (неразмерных) свойств** тоже имеет смысл пользоваться аналогичными конкретно специфицированными понятиями «опорного значения» соответствующей величины или свойства.

Истинное значение (величины) – **значение величины**, которое соответствует определению **измеряемой величины.** Определение измеряемой величины включает принятие некоторой модели **объекта измерения,** в которой истинное значение представлено неким параметром. Всегда существует пороговое несоответствие модели и объекта измерения, которое является причиной **дефинициальной неопределенности измеряемой величины.** Когда дефинициальная неопределенность, связанная с **измеряемой величиной,** считается пренебрежимо малой по сравнению с остальными составляющими неопределенности измерений, измеряемая величина может рассматриваться как имеющая единственное истинное значение. В случае фундаментальных констант величина рассматривается как имеющая единственное истинное значение.

В понятии погрешности при описании **измерения** истинное значение величины рассматривается как единственное и на практике недостижимое. В понятии неопределенности признается, что в действительности по причине неполного описания величины существует не единственное истинное значение величины, а, скорее, набор истинных значений, согласующихся с определением. Однако эта совокупность значений, в принципе и на практике, остается неизвестной. Другие подходы оценивания **точности измерений** вообще избегают понятия истинного значения величины и опираются на понятие **метрологической совместимости результатов измерений.**

Для качественных свойств аналогичным термином является ***истинное значение свойства*** *(истинная оценка свойства)* – оценка свойства, которая идеальным образом отражает положение на соответствующей **шкале наименований**, реализации качественного свойства конкретного **объекта измерений**.

Принятое значение (величины) – значение величины, по соглашению приписанное **величине** для данной цели. Иногда принятое значение величины является оценкой **истинного значения величины.** Неопределенность измерений, связанная с принятым значением часто мала и может быть принята равной нулю для конкретной цели. В этом случае используют понятие ***действительное значение величины***.

П р и м е р ы :

1. Стандартное ускорение свободного падения g_n = 9,806 65 м·с$^{-2}$.

2. Принятое значение величины для данного эталона массы m = 100,003 47 г.

Действительное значение (величины) – значение величины, полученное экспериментальным путем и настолько близкое к истинному значению, что в поставленной измерительной задаче может быть использовано вместо него.

Действительная значение (оценка) свойства – оценка свойства, настолько близкая к истинной оценке, что для данной цели может быть использована вместо нее.

Точность измерений

Точность измерений, *точность результата измерения* – близость **измеренного значения** к **истинному значению измеряемой величины.** Понятие точность измерений описывает качество измерений в целом, объединяя понятия **правильность** и **прецизионность измерений** [17].

Правильность (измерений) **–** близость среднего арифметического бесконечно большого числа повторно **измеренных значений величины** к **опорному значению величины.**

П р и м е ч а н и я :

1. Правильность измерений не является **величиной** и поэтому не может быть выражена численно, однако соответствующие показатели приведены в ГОСТ Р ИСО 5725 [17].

2. Правильность измерений отражает близость к нулю **систематической погрешности измерений**, но не связана со **случайной погрешностью измерения**.

Прецизионность (измерений) – близость между **показаниями** или **измеренными значениями величины**, полученными при повторных **измерениях** для одного и того же или аналогичных объектов при заданных условиях.

П р и м е ч а н и я :

1. «Заданные условия» могут быть, например, **условиями повторяемости измерений**, **условиями промежуточной прецизионности измерений** или **условиями воспроизводимости измерений** (ГОСТ Р ИСО 5725-3 [17]).

2. Понятие «прецизионность измерений» используется для определения понятий **повторяемости измерений**, **промежуточной прецизионности измерений** и **воспроизводимости измерений**.

3. «Прецизионность измерений» характеризует близость к нулю случайной погрешности измерений.

Рис. 6.1. Иерархия понятий, используемых в комплексе стандартов ГОСТ Р ИСО 5725-1.2.3.4.5.6-2002 [17]. Здесь: **ū** – среднее значение результатов серии измерений, **m** – принятое опорное значение

Условия повторяемости (измерений) – один из наборов условий **измерений**, включающий применение одной и той же **методики измерений**, того же **средства измерений**, участие тех же операторов, те же рабочие условия, то же местоположение и выполнение повторных измерений на одном и том же или подобных объектах в течение короткого промежутка времени.

Примечание. Наряду с термином условия повторяемости измерений используется термин условия сходимости (измерений).

Повторяемость (измерений) – прецизионность измерений в условиях повторяемости измерений.

Примечание. Наряду с термином повторяемость измерений используют термин сходимость измерений.

Условия промежуточной прецизионности (измерений) – один из наборов условий измерений**,** включающий применение одной и той же **методики измерений,** то же местоположение и выполнение повторных измерений на одном и том же или аналогичных объектах в течение длительного периода времени, а также может включать другие условия, которые могут изменяться. Изменения могут включать новые калибровки, калибраторы, средства измерений, а также новых операторов. Описание условий должно включать все условия, изменяемые и неизменяемые, насколько это оправдано практически.

Промежуточная прецизионность (измерений) – **прецизионность измерений** в фиксированных **условиях промежуточной прецизионности измерений.**

Условия воспроизводимости (измерений) **–** один из наборов условий **измерений**, включающий разные местоположения, разные **средства измерений**, участие разных операторов и выполнение повторных измерений на одном и том же или аналогичных объектах. В исключительных случаях разные средства измерений могут применять в соответствии с разными **методиками измерений**. Описание условий должно включать все условия, изменяемые и неизменяемые, насколько это оправдано практически.

Воспроизводимость (измерений) – **прецизионность измерений** в **условиях воспроизводимости измерений.**

Погрешности измерений

Погрешность (результата) измерения – отклонение точки шкалы, соответствующей измеренному значению свойства (величины), от точки шкалы, соответствующей опорному значению свойства (величины).

Погрешность (результата) измерения – разность между **измеренным значением величины** и **опорным значением величины**.

Примечания:

1. Если опорное значение величины известно, как, например, при **калибровке средств измерений**, то известно и значение погрешности измерения (с некоторой неопределенностью). Если в качестве опорного значения выступает истинное значение величины, то значение погрешности неизвестно.

2. В РМГ 29-99 использовался термин *погрешность результата измерения*: отклонение **результата измерения** от **истинного (действительного) значения** измеряемой величины. Изменение термина вызвано изменением понятия результат измерения.

3. Погрешность измерения равна **сумме случайной и систематической погрешностей**.

4. Для **порядковых величин** и **качественных свойств** термин **погрешность (результата) измерения** определяется как отклонение результата измерения от опорного (истинного или действительного) значения измеряемой порядковой величины или качественного свойства.

5. В двухмерных шкалах и шкалах большей мерности погрешность характеризуется отклонением точки шкалы, соответствующей результату измерения, от точки шкалы, соответствующей опорному значению (истинной оценке) в соответствующем модельном пространстве.

6. В шкалах отношений и абсолютных шкалах для отличия от термина «относительная погрешность» применяют термин «абсолютная погрешность».

Истинное значение величины не может быть определено, его применяют только в теоретических исследованиях. На практике используют **опорное значение величины** $\boldsymbol{X}_{\text{о}}$, и погрешность измерения Δ определяют по формуле $\Delta = \boldsymbol{X}_{\text{изм}} - \boldsymbol{X}_{\text{о}}$, где $\boldsymbol{X}_{\text{изм}}$ – значение измеряемой величины, полученное путем измерения (результат измерения), $\boldsymbol{X}_{\text{о}}$ – значение, приписываемое конкретной величине и принимаемое, часто по соглашению, как имеющее неопределенность, приемлемую для данной цели. Таким образом, по определению **понятие «погрешность измерения» относится только к конкретному результату измерения, полученному с использованием конкретного экземпляра средства измерений. Погрешность измерения является конкретным положительным или отрицательным числом.** Это число получается сложением в эксперименте со своими положительными или отрицательными знаками систематической погрешности и реализованной случайной погрешности.

Случайная погрешность (измерения) – составляющая **погрешности измерения**, изменяющаяся случайным образом (по знаку и значению) при повторных **измерениях**, проведенных в определенных условиях. Случайная погрешность измерения равна **погрешности измерения** минус **систематическая погрешность измерения**. Здесь необходимо иметь в виду, что при определении разности указанных погрешностей каждая из них берется со своим положительным или отрицательным знаком.

Среднее квадратическое отклонение, *стандартное отклонение* – параметр функции распределения измеренных значений или показаний, характеризующий их рассеивание и равный положительному корню квадратному из дисперсии этого распределения.

Примечания:

1. Оценкой среднего квадратического отклонения является *выборочное стандартное отклонение,* определяемое по формуле:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2}{n-1}},$$

где x_i – *i-е* измеренное значение или показание в ряду из *n* значений; $\bar{x}$ – среднее арифметическое из *n* измеренных значений или показаний.

2. $s(x)/\sqrt{n}$ является оценкой стандартного отклонения распределения $\bar{x}$ и называется выборочным стандартным отклонением среднего арифметического.

3. Выборочное стандартное отклонение иногда неправильно называют *средняя квадратическая погрешность*.

Систематическая погрешность (измерения) – составляющая **погрешности измерения**, остающаяся постоянной или же закономерно изменяющаяся при повторных измерениях одной и той же **величины**. Систематическая погрешность измерения равна **погрешности измерения** минус **случайная погрешность измерения**. Здесь необходимо иметь в виду, что при определении разности указанных погрешностей каждая из них берется со своим положительным или отрицательным знаком.

Примечания:

1. В зависимости от характера изменения во времени систематические погрешности подразделяют на *постоянные*, *прогрессирующие*, *периодические* и *погрешности, изменяющиеся по сложному закону*. В зависимости от характера изменения по **диапазону измерений** систематические погрешности подразделяются на *постоянные* и *пропорциональные*.

Постоянные погрешности – погрешности, которые в течение длительного времени, например, в течение времени выполнения всего ряда измерений, остаются постоянными (или неизменными). Они встречаются наиболее часто.

Прогрессирующие погрешности – непрерывно возрастающие или убывающие погрешности. К ним относятся, например, погрешности вследствие износа измерительных наконечников, контактирующих с деталью при контроле ее прибором активного контроля.

Периодические погрешности – погрешности, значение которых является периодической функцией времени или перемещения указателя измерительного прибора.

Погрешности, изменяющиеся по сложному закону, происходят вследствие совместного действия нескольких систематических погрешностей.

Пропорциональные погрешности – погрешности, значение которых пропорционально значению измеряемой величины.

2. Оставшуюся систематическую погрешность измерения после введения поправки называют ***неисключенной систематической погрешностью (НСП)***.

3. Для оценки систематической погрешности измерения в VIM3 [6] используется термин *смещение (при измерении).*

Неисключенная систематическая погрешность, *НСП* – составляющая погрешности результата измерений, обусловленная погрешностями вычисления и введения поправок на влияние систематических погрешностей или систематической погрешностью, поправка, на действие которой не введена вследствие ее малости.

Примечания:

1. Иногда этот вид погрешности называют *не исключенный (ые) остаток (остатки) систематической погрешности.*

2. НСП оценивают ее границами. Границы НСП не являются погрешностями, а характеризуют модельное множество возможных значений погрешностей и используются для нормирования допустимых значений погрешностей. Границы НСП при числе слагаемых $N \leq 3$ принято оценивать по формуле:

$$\Theta = \pm \sum_{i=1}^{N} \left| \Theta_i \right|,$$

где Θ_i – граница i-й составляющей неисключенной систематической погрешности.

3. При числе не исключенных систематических погрешностей $N \geq 4$ вычисления границ НСП проводят по формуле:

$$\Theta = \pm K \sqrt{\sum_{i=1}^{N} \Theta_i^2},$$

где K – коэффициент зависимости отдельных не исключенных систематических погрешностей от выбранной доверительной вероятности P при их равномерном распределении (при P = 0,99, K = 1,4). Здесь Θ рассматривается как доверительная квазислучайная погрешность.

Систематические погрешности, как правило, не проявляются при выполнении наблюдений и вычислении результатов измерений, но способны существенно исказить эти результаты. При разработке средств измерений (СИ) и методик измерений (МИ) систематические погрешности более или менее полно исключают, поэтому обычно имеют дело с неисключенными остатками систематических погрешностей (НСП).

Для обнаружения НСП рекомендуется: провести измерение другим, максимально отличным от использованного, методом и сравнить результаты; резко изменить условия наблюдений (использовать другие экзем-

пляры СИ, сменить оператора, изменить время наблюдений, например, провести их в ночное время, когда выключено технологическое оборудование); провести контрольное измерение в лаборатории другого предприятия или в метрологическом учреждении, в которых имеются более точные СИ и МВИ; выполнить теоретическую (расчетную) оценку НСП с привлечением априорных знаний об объекте измерений, более точных или других моделях объекта измерений, методе и СИ.

Для уменьшения НСП в ходе выполнения измерений применяются следующие методы (приемы):

1. Метод замещения. Его суть – замена объекта измерений известной (мерой), притом так, чтобы при этом в состоянии и действии всех используемых СИ не происходило никаких изменений.

П р и м е р . Взвешивание по способу Борда для устранения НСП из-за неравноплечности весов. Пусть m_x – масса объекта измерений; l_1 и l_2 – длины плеч коромысла весов. Сначала объект измерений массы помещают на одну из чашек весов и уравновешивают весы, помещая на другую чашку весов некоторый груз массой T. При этом $m_x = Tl_2/l_1$. Затем снимают объект измерений и на эту же чашку помещают гири такой суммарной массы m, чтобы весы вновь уравновесились. При этом $m = Tl_2/l_1$. Из сопоставления этих выражений следует, что $m_x = m$ при любом отношении l_2/l_1, причем не нужно знать значение T.

2. Метод противопоставления. Измерение выполняется с двумя наблюдениями, проводимыми так, чтобы причина НСП оказывала разные, но известные по закономерности воздействия на результаты наблюдений.

П р и м е р . Взвешивание по способу Гаусса. Сначала взвешиваемый объект массой m_x уравновешивают гирями массой m_1. При этом $m_x = m_1l_2/l_1$. Затем меняют местами взвешиваемый объект и гири и вновь уравновешивают весы. При этом $m_x = m_2l_1/l_2$. Исключая из этих выражений отношение l_2 / l_1, получаем $m_x = \sqrt{m_1 \cdot m_2}$.

3. Метод компенсации погрешности по знаку предусматривает измерение с двумя наблюдениями, выполняемыми так, чтобы НСП входила в результат каждого из них с разными знаками.

П р и м е р ы :

а) Измеряется ЭДС с помощью потенциометра постоянного тока, имеющего паразитную ТЭДС. Проведя два наблюдения при противоположном направлении рабочего тока в потенциометре и взяв среднее значение, получим результат, свободный от этой погрешности.

б) Для исключения НСП из-за вариации, гистерезиса, мертвого хода верньерных механизмов, измерения проводят при подходе к определяемому отсчету слева и справа. Результат измерения вычисляют по формуле: $x = (x_{сл} + x_{спр})/2$.

4. Метод рандомизации (перевода систематической погрешности в случайную) заключается в такой организации измерений, при которой фактор, вызывающий НСП, при каждом наблюдении действует по-разному.

Примеры:

а) Для исключения влияния магнитного поля Земли наблюдения повторяют несколько раз, поворачивая СИ каждый раз на некоторый угол (обычно одинаковый) относительно силовых линий поля. За результат измерения принимают среднее арифметическое из всех наблюдений.

б) Для исключения субъективной систематической ошибки оператора меняют операторов после каждого наблюдения.

в) При определении площади основания цилиндра его диаметр измеряют в нескольких направлениях и при дальнейших вычислениях используют среднее арифметическое значение.

5. Метод симметричных наблюдений применяется для устранения прогрессирующих систематических погрешностей, линейно меняющихся пропорционально времени. Используют следующее свойство любых двух наблюдений, симметричных относительно средней точки интервала наблюдений: среднее значение линейно прогрессирующей погрешности результатов любой пары симметричных наблюдений равно погрешности, соответствующей средней точке интервала. Ряд наблюдений выполняют через равные промежутки времени и вычисляют средние арифметические значения результатов симметрично расположенных наблюдений (симметрично относительно среднего по времени наблюдения). Как было сказано, они должны быть равны. Это дает возможность контролировать в ходе измерения, соблюдается ли условие линейности возрастания систематической погрешности.

Погрешность (измерения) из-за изменений условий измерения – составляющая систематической погрешности измерения, являющаяся следствием неучтенного влияния отклонения в одну сторону какого-либо из параметров, характеризующих условия измерений, от установленного значения.

Примечание. Этот термин применяют в случае неучтенного или недостаточно учтенного действия той или иной влияющей величины (температуры, атмосферного давления, влажности воздуха, напряженности магнитного поля, вибрации и др.), неправильной установки средств измерений, нарушения правил их взаимного расположения и др.

Субъективная погрешность измерения, *субъективная погрешность* – составляющая систематической погрешности измерений, обусловленная индивидуальными особенностями оператора.

Примечания:

1. Встречаются операторы, которые систематически опаздывают (или опережают) снимать отсчеты показаний средств измерений.

2. Иногда субъективную погрешность называют *личной погрешностью* или *личной разностью.*

Поправка – значение величины, вводимое в **показание** с целью исключения систематической погрешности. Знак поправки противоположен знаку погрешности.

Примечания:

1. В VIM3 [6] используется термин «поправка»: компенсация оцененного систематического эффекта. Компенсация может иметь различные формы, такие как дополнительное слагаемое или множитель, или она может находиться по соответствующей таблице.

2. Поправку, прибавляемую к номинальному значению меры, называют *поправкой к значению меры;* поправку, вводимую в показание измерительного прибора, называют *поправкой к показанию прибора.*

Поправочный множитель – числовой коэффициент, на который умножают **показание** с целью исключения влияния **систематической погрешности**. Поправочный множитель используют в случаях, когда систематическая погрешность пропорциональна значению **измеряемой величины.**

Доверительные границы погрешности измерения – верхняя и нижняя границы интервала, внутри которого с заданной вероятностью находится значение **погрешности измерений**. Здесь вероятность относится к модельному множеству возможных значений погрешностей повторных измерений. Понятие «доверительные границы погрешности измерения» является устаревшим аналогом понятия «расширенная неопределенность измерений».

Примечания:

1. Доверительные границы погрешности измерения при вероятности, равной 1, называют *границами погрешности измерения*.

2. Доверительные границы погрешности измерения иногда неправильно называют *доверительная погрешность.*

Размах результатов измерений, *размах* – оценка R_a рассеяния результатов единичных измерений величины, образующих ряд (или выборку из n измерений), вычисляемая по формуле $R_a = x_{\max} - x_{\min}$, где $x_{\max}$ и $x_{\min}$ – наибольшее и наименьшее значения измеряемой величины в данном ряду измерений.

Примечание. Рассеяние обычно обусловлено проявлением случайных причин при измерении и носит вероятностный характер.

Максимальная допускаемая погрешность (измерения) – максимальное значение **погрешности измерения** (без учета знака), разрешенное спецификацией или нормативными документами для данного **измерения**.

Погрешность метода (измерений) – составляющая **погрешности измерений**, обусловленная несовершенством принятого **метода измерений**.

Инструментальная погрешность (измерения) – составляющая **погрешности измерения**, обусловленная погрешностью применяемого **средства измерений**.

Абсолютная погрешность (измерения) – погрешность измерения, выраженная в **единицах** измеряемой величины.

Относительная погрешность (измерения) – погрешность измерения, выраженная отношением **абсолютной погрешности измерения** к **опорному значению измеряемой величины.**

Примечания:

1. Границы относительной погрешности в долях или процентах находят из отношений: $\delta = \Delta x/x$ или $\delta = \Delta x/x \cdot 100$ %, где Δx – границы абсолютной погрешности измерения, x – опорное или **измеренное значение величины**. Распространенное применение в этом отношении измеренного значения величины вместо опорного значения противоречит определению понятия «погрешность измерения» и допустимо с учетом следующих соображений. Обозначим два варианта относительной погрешности:

$$\delta_{\text{д}} = \frac{\Delta}{X_{\text{д}}}, \qquad \delta_{\text{и}} = \frac{\Delta}{X_{\text{и}}}.$$

Здесь $X_{\text{д}}$ – опорное (действительное) значение величины, $X_{\text{и}}$ – измеренное значение величины, $\Delta = X_{\text{и}} - X_{\text{д}}$ – абсолютная погрешность измерения. Используя эти соотношения, получаем зависимость

$$\delta_{\text{и}} = \delta_{\text{д}} - \frac{\delta_{\text{д}}^{\,2}}{1+\delta_{\text{д}}}.$$

Расчеты по этому соотношению для отрицательных и положительных значений δ_o представлены в нижеследующей табл. 6.1:

$\delta_{\text{д}}$	– 0,3	– 0,2	– 0,1	0	+ 0,1	+ 0,2	+ 0,3
$\delta_{\text{и}}$	– 0,43	– 0,25	– 0,11	0	+ 0,09	+ 0,17	+ 0,23

Очевидна несимметричность относительно нуля этой зависимости и существенное отличие $\delta_{\text{и}}$ от $\delta_{\text{д}}$ при $\delta_{\text{д}}$ более 0,1. Поэтому далеко не редкое нормирование в виде утверждения «относительная погрешность не превышает ±30 %» является весьма неопределенным с учетом того, что $X_{\text{д}}$ на практике часто оценить невозможно и в расчетах пользуются X_{u}. Привычная замена Δ на ее модульную оценку (без знака) вносит дополнительную неоднозначность понимания термина «относительная погрешность».

2. Понятие «относительная погрешность» применимо при измерениях величин по шкалам отношений и абсолютным шкалам, а также к интервалам величин, описываемых шкалами разностей (интервалов). Однако к самим величинам, описываемым шкалами разностей, это понятие неприменимо. Например, бессмысленно (невозможно) выражать в процентах погрешность измерения температуры по шкале Цельсия или погрешность датировки события.

3. Понятие «относительная погрешность» неприменимо при измерениях по шкалам порядка и наименований.

Модель измерений

Модель измерений, *уравнение измерений* – **уравнение связи между величинами** в конкретной измерительной задаче.

Примечание. В общем виде модель измерений есть уравнение $h(Y, X_1, \ldots, X_n) = 0$, где Y, выходная величина в модели измерений, является **измеряемой величиной**, значение которой должно быть получено исходя из информации о **входных величинах** в модели измерений $X_1, \ldots, X_n$.

Измерительная информация – информация о значении величины, входящей в модель измерений.

В широком смысле измерительной информацией являются сведения о **результатах измерений** свойств объектов бытия. Измерительная информация получается от первичных **измерительных преобразователей,** взаимодействующих с объектами измерений. Кодируют измерительную информацию, используя **единицы измерений** и **шкалы измерений,** путем **градуировки** средств измерений по соответствующим **эталонам**. Сигналы измерительной информации (**измерительные сигналы)** используются либо непосредственно в текущий момент для обеспечения функционирования различных систем, либо она собирается в виде данных, регистрируемых на различных носителях информации. Обобщенная измерительная информация представляется в стандартных справочных данных о различных свойствах, в том числе о значениях **фундаментальных физических констант**. В информационных технологиях измерительная информация является исходной для хранения, передачи и переработки. При интерпретации измерительной информации и результатов ее переработки необходимо учитывать не только уровень ее достоверности (см. «Погрешности измерений», «Неопределенность измерений»), но и особенности используемых **шкал измерений**.

Функция измерений – зависимость **величин модели измерений,** используемая для получения **измеренного значения выходной величины** по известным значениям **входных величин.**

Примечания:

1. Если **модель измерений** $h(Y, X_1, \ldots, X_n) = 0$ может быть записана в явном виде как $Y = f(X_1, \ldots, X_n)$, где Y – выходная величина в модели измерений, то функция f есть функция измерений. В общем случае f может обозначать алгоритм, по которому для значений входных величин $x_1, \ldots, x_n$ получается соответствующее единственное значение выходной величины $y = f(x_1, \ldots, x_n)$.

2. Функция измерений также используется для вычисления показателей точности (**неопределенности)** измерений, связанных с измеренным значением величины Y.

Входная величина в модели измерений – **величина**, которая должна быть измерена, или величина, **значение** которой может быть получено иным способом для вычисления **измеренного значения измеряемой величины.**

Пример. Если измеряемой величиной является длина стального стержня при заданной температуре, то действительная температура, длина при этой действительной температуре и температурный коэффициент линейного расширения стержня являются входными величинами в модели измерений.

Примечания:

1. Входная величина в модели измерений часто является выходной величиной **средства измерений**.

2. Входными величинами в модели измерений могут быть **показания**, **поправки** и **влияющие величины**.

Выходная величина в модели измерений – **величина, измеренное значение** которой получают, используя **значения входных величин** в **модели измерений.** ***Влияющая величина*** – **величина**, которая при **прямом измерении** не влияет на величину, которую фактически измеряют, но влияет на соотношение между **показанием** и **результатом измерения.**

Примеры:

1. Частота при прямом измерении постоянной амплитуды переменного тока с помощью амперметра.

2. Молярная концентрация билирубина при прямом измерении молярной концентрации гемоглобина в плазме крови человека.

3. Температура микрометра, применяемого для измерения длины стержня, но не температура самого стержня, которая может входить в определение измеряемой величины.

4. Фоновое давление в источнике ионов масс-спектрометра во время измерения молярной доли вещества.

Примечания:

1. Косвенное измерение включает комбинацию прямых измерений, каждое из которых может находиться под воздействием влияющих величин.

2. В GUM [19] понятие «*влияющая величина*» охватывает не только величины, влияющие на **средство измерений**, как в определении, приведенном выше, но также и те величины, которые влияют на фактически измеряемые величины. Кроме того, это понятие не ограничивается прямыми измерениями.

Неопределенность измерений

Неопределенность измерений – неотрицательный параметр, характеризующий рассеяние **значений величины**, приписываемых **измеряемой величине** на основании **измерительной информации** [18–21].

Неопределенность измерений включает составляющие, обусловленные систематическими эффектами, в том числе составляющие, связанные с **поправками** и приписанными значениями **эталонов**, а также **дефинициальную неопределенность**. Иногда поправки на оцененные систематические эффекты не вводят, а вместо этого их рассматривают как составляющие неопределенности измерений.

Вообще для любых **измеряемых свойств *неопределенность (измерений)*** – **характеристика рассеяния значений свойства, приписываемых измеряемому свойству по соответствующей шкале измерений,** на основании измерительной информации. В одномерных шкалах (отношений, интервалов и абсолютных) неопределенность измерений принято характеризовать параметром в виде **стандартной неопределенности** и **расширенной неопределенности**. В общем случае, неопределенность измерения содержит много компонентов. Некоторые из этих компонентов **оценивают по типу А,** а другие компоненты **оценивают по типу В.**

В двухмерных шкалах и шкалах большей мерности область (участок) шкалы, характеризующая неопределенность измерений, представляет собой многомерную (двухмерную) область в соответствующем модельном пространстве вокруг точки шкалы, соответствующей результату измерения. Специфичны способы оценки неопределенности для измерений формы поверхностей, места расположения и направления в пространственных координатных системах. В шкалах порядка и наименований неопределенность измерений можно характеризовать размахом, но не стандартной неопределенностью.

Подразумевается, что результат измерения является лучшей оценкой значения измеряемой величины и что все составляющие неопределенности, включая составляющие, обусловленные систематическими эффектами, например, связанными с поправками и эталонами, приводят к рассеянию.

Неопределенность измерения как параметр характеризует рассеяние множества возможных значений результатов измерений в рассматриваемой измерительной ситуации, но не погрешность конкретного результата измерения. Например, возможен случай, когда результат измерения имеет пренебрежимо малую погрешность при большой неопределенности.

Соотношение понятий *«погрешность измерения»* и *«неопределенность измерений»* – это два разных понятия, которые нужно применять в соответствии с их определениями, не подменяя погрешность оценками параметров и составляющих рассеяния результатов измерений (см. РМГ 91 – 2019, [31]).

Стандартная неопределенность (измерений) **– неопределенность измерений**, выраженная в виде стандартного отклонения.

Суммарная стандартная неопределенность (измерений) **– стандартная неопределенность измерений**, которую получают суммированием отдельных **стандартных неопределенностей измерений**, связанных с **входными величинами** в **модели измерений**.

Примечание. В случае корреляции входных величин в модели измерений при вычислении суммарной стандартной неопределенности измерений должны также учитываться ковариации.

Расширенная неопределенность (измерений) – произведение **суммарной стандартной неопределенности** и коэффициента охвата большего, чем число один.

Примечание. Коэффициент зависит от вида распределения вероятностей **выходной величины в модели измерений** и выбранной **вероятности охвата**.

Интервал охвата – интервал, основанный на имеющейся информации, который содержит совокупность **истинных значений измеряемой величины** с заданной вероятностью.

Примечания:

1. Если результат измерения представлен плотностью распределения вероятностей на множестве возможных значений измеряемой величины, то для любого интервала значений может быть вычислена соответствующая вероятность. Наличие плотности распределения вероятностей позволяет для заданной вероятности определить интервал значений измеряемой величины. Таких интервалов существует множество, обычно подразумевают наикратчайший интервал или интервал, симметричный относительно **измеренного значения величины.**

2. Интервал охвата не следует отождествлять с «доверительным интервалом» во избежание путаницы с этим статистическим понятием.

3. Интервал охвата может быть получен из **расширенной неопределенности измерений**.

Вероятность охвата – вероятность того, что совокупность **истинных значений измеряемой величины** находится в указанном **интервале охвата**. В GUM [19] для вероятности охвата используется также термин уровень доверия *(level of confidence).*

Коэффициент охвата – число, большее чем один, на которое умножают **суммарную стандартную неопределенность измерений** для получения **расширенной неопределенности измерений**. Коэффициент охвата обычно обозначают *к.*

Оценивание (неопределенности измерений) по типу А – оценивание составляющей **неопределенности измерений** путем статистического анализа **измеренных значений величины**, получаемых при определенных условиях измерений (условия повторяемости измерений, условия промежуточной **прецизионности измерений** и **условия воспроизводимости измерений**). Оценивание по типу А неопределенности измерения с использованием одного **показания** возможно только путем проведения ряда предварительных повторных измерений по данной методике измерений.

Оценивание (неопределенности измерений) по типу В – оценивание составляющей **неопределенности измерений** способами, отличными от **оценивания неопределенности измерений по типу А.**

П р и м е р . Оценивание, основанное на информации:

- связанной со значениями величины, взятыми из авторитетных публикаций;
- связанной со значением аттестованного стандартного образца;
- полученной из сертификатов калибровки;
- о дрейфе;
- связанной с классом точности поверенного средства измерений;
- полученной, исходя из пределов, установленных на основе опыта.

Бюджет неопределенности – отчет о **неопределенности измерений**, составляющих неопределенности, их вычислении и суммировании.

П р и м е ч а н и е . Бюджет неопределенности может включать **модель измерений**, оценки и неопределенности измерений, связанные с **величинами**, входящими в **модель измерений**, ковариации, виды применяемых функций плотности вероятностей, число степеней свободы, тип оценивания неопределенности и **коэффициент охвата**.

Дефиниициальная неопределенность – составляющая **неопределенности измерений**, являющаяся результатом ограниченной детализации в определении **измеряемой величины.** Дефиниициальная неопределенность есть практический минимум неопределенности измерений при любом **измерении** данной **величины**. Любое изменение детализации в определении величины ведет к другой дефиниицальной неопределенности.

Целевая неопределенность измерений – верхняя граница **неопределенности измерений**, заранее установленная, исходя из предполагаемого использования результатов измерений. Понятие «целевая неопределенность измерений» целесообразно использовать при формулировании показателей точности методик измерений различного назначения (см. ГОСТ 8.563-2009 [15]).

Относительная стандартная неопределенность измерений – **стандартная неопределенность измерений**, деленная на модуль **измеренного значения величины**.

Аналогично может быть определена относительная расширенная неопределенность.

Алгоритм расчета неопределенности измерений

Оценку измеряемой величины y вычисляют, как функцию оценок входных величин $x_1, ..., x_m$ после внесения поправок на все известные источники неопределенности, имеющие систематический характер:

$$y = f(x_1, ..., x_m).$$

Затем вычисляют стандартные неопределенности входных величин $u(x_i)$ (i=1, ..., m).

Различают два типа вычисления *стандартной неопределенности*: типа А – путем статистического анализа результатов повторных измерений; типа В – с использованием других способов.

Исходными данными для вычисления *стандартной неопределенности (u_A) типа А* являются результаты повторных измерений: $x_{i1}, \ldots, x_{in_i}$ (i=1, …, m), где n_i – число измерений i-й входной величины. Стандартную неопределенность единичного измерения i-й входной величины вычисляют по формуле:

$$u_{A;i} = \sqrt{\frac{1}{n_i - 1}\sum_{q=1}^{n_i}(x_{iq} - \overline{x}_i)^2},$$

где $\overline{x}_i = \frac{1}{n_i}\sum_{q=1}^{n_i} x_{iq}$ – среднее арифметическое результатов измерений i-й входной величины. Стандартную неопределенность измерений i-й входной величины, при которых результат определяют как среднее арифметическое, вычисляют по формуле:

$$u_A(x_i) = \sqrt{\frac{1}{n_i(n_i - 1)}\sum_{q=1}^{n_i}(x_{iq} - \overline{x}_i)^2}.$$

Исходными данными для вычисления *стандартной неопределенности (u_B) типа В* является следующая информация: данные предшествовавших измерений величин, входящих в уравнение измерения; сведения о виде распределения вероятностей; данные, основанные на опыте исследователя или общих знаниях о поведении и свойствах соответствующих приборов и материалов; неопределенности констант и справочных данных; данные поверки, калибровки, сведения изготовителя о приборе и др. Неопределенности этих данных обычно представляют в виде границ отклонения значения величины от ее оценки. Наиболее распространенный способ формализации неполного знания о значении величины заключается в постулировании равномерного закона распределения возможных значений этой величины в пределах нижней b_i– и верхней b_i+ границ для *i*-й входной величины. При этом стандартную неопределенность типа В определяют по формуле:

$$u_B(x_i) = \frac{b_{i+} - b_{i-}}{2\sqrt{3}} \quad ,$$

а для симметричных границ ($\pm b_i$) – $u_B(x_i) = b_i / \sqrt{3}$. При других законах распределения формулы для вычисления неопределенности типа В будут иными.

Суммарную стандартную неопределенность (u_c) вычисляют по формуле:

$$u_C^2(y) = \sum_{i=1}^{m} \left(\frac{\partial f}{\partial x_i}\right)^2 u^2(x_i)\,; \qquad u_C = \sqrt{\sum_{i=1}^{m} u_i^2}\,.$$

Расширенная неопределенность вычисляется по формуле $U_p = k \cdot u_C$, где k – коэффициент охвата. $U_{0,95}$ = 2 u_C, $U_{0,99}$ = 3 u_C – для нормального закона; $U_{0,95}$ = 1,65 u_C, $U_{0,99}$ = 1,71 u_C – для равномерного закона.

Наиболее полное руководство по неопределенностям измерений составляет совокупность стандартов ГОСТ 34100 [18–21].

Метрологическая совместимость (результатов измерений) – свойство множества **результатов измерений** для определенной **измеряемой величины,** при котором абсолютное значение разности любой пары **измеренных значений величины,** полученное из двух различных результатов измерений, меньше, чем некоторое выбранное кратное **стандартной неопределенности измерений** этой разности. Этот термин заменяет традиционное понятие *нахождение в пределах погрешности,* т.к. он дает критерий для заключения, относятся ли два результата измерений к одной и той же измеряемой величине или нет. Если в серии измерений величины, которая предполагается постоянной,

результат измерения несовместим с остальными, это означает, что или оценка точности измерения некорректна, или измеряемая величина изменилась за промежуток времени между измерениями.

В РМГ 29-2013 отсутствует ряд терминов, например, равноточные измерения, неравноточные измерения, однократное измерение, многократное измерение. В обновленной понятийной системе метрологии отсутствует прямая необходимость применения этих терминов. Понятие **метрологическая совместимость (результатов измерений)** охватывает проблематику равноточности измерений. Каждое измерение по сути однократное, а **повторные измерения** заменяют многократность.

Рекомендации по правильному непротиворечивому использованию принципиально разных понятий «погрешность измерения» и «неопределенность измерений» обобщены в РМГ 91–2019 [31] (см. Приложение 5). В рекомендациях систематизировано применение этих и связанных с ними понятий **в конкретных метрологических ситуациях:** выполнение измерений по методикам измерений, сличения национальных эталонов, калибровка средств измерений, нормирование метрологических характеристик средств измерений, поверка средств измерений, построение поверочных схем.

Правила округления и записи результатов измерений

1. Значащие цифры данного числа – это все цифры от первой слева, не равной нулю, до последней записанной цифры справа. При этом нули, следующие из множителя 10^n, не учитываются.

2. Числовое значение результата измерений округляют в соответствии с числовым разрядом значащей цифры неопределенности или погрешности измерений.

Лишние цифры в целых числах заменяются нулями и записываются в виде множителя – числа 10 в соответствующей степени, в десятичных дробях – отбрасываются. Если десятичная дробь оканчивается нулями, они отбрасываются только до того разряда, который соответствует разряду неопределенности или погрешности.

П р и м е р : результат 1,072000, расширенная неопределенность 0,0001. Результат округляют до 1,0720.

Если первая из заменяемых нулями или отбрасываемых цифр больше 5 или равна 5, но за ней следует значащая цифра, то последняя остающаяся цифра увеличивается на единицу.

П р и м е р : 6783,6 округляют до 6784; 12,34501 до 12,35.

3. Погрешность, возникающая в результате вычислений, не должна превышать 10 % суммарной погрешности измерений. Поэтому, если над результатами измерений (наблюдений) предстоит произвести некоторые

математические операции, то при округлении результатов в соответствии с правилом 1, добавляют один разряд справа, т.е. в первом примере результат 1,072000 нужно округлить не до 1,0720, а до 1,07200.

4. Если в процессе вычисления встречается операция деления, бессмысленно продолжать ее по правилам арифметики, после того, как получен результат, соответствующий правилу 2.

5. При определении числа знаков при вычислении погрешностей измерений следует учитывать, что погрешность определения значения погрешности достаточно велика, порядка 30 % при n = 10 и порядка 15 % при n = 20 – 25, поэтому при n < 10 следует оставлять одну значащую цифру, если она больше 3-х, и две, если первая из них меньше 4-х.

П р и м е р : если при n = 10, S = 0,523 оставляем значение S 0,5; если при n = 10, S = 0,253 оставляем значение S 0.25. При n > 10, достаточно надежно оставлять во всех случаях две значащие цифры.

Стандарт СТ СЭВ 543-77. Числа. Правила записи и округления

Настоящий стандарт СЭВ устанавливает правила записи и округления чисел, выраженных в десятичной системе счисления.

Правила записи и округления чисел, установленные в настоящем стандарте СЭВ, предназначены для применения в нормативно-технической, конструкторской и технологической документациях.

Настоящий стандарт СЭВ не распространяется на специальные правила округления, установленные в других стандартах СЭВ.

1. ПРАВИЛА ЗАПИСИ ЧИСЕЛ.

1.1. Значащие цифры данного числа – это все цифры от первой слева, не равной нулю, до последней записанной цифры справа. При этом нули, следующие из множителя 10^n, не учитываются.

П р и м е р ы :

1. Число 12,0 имеет три значащие цифры;
2. Число 30 имеет две значащие цифры;
3. Число $120 \cdot 10^3$ имеет три значащие цифры;
4. Число $0{,}514 \cdot 10$ имеет три значащие цифры;
5. Число 0,0056 имеет две значащие цифры.

1.2. Когда необходимо указать, что число является точным, после числа должно быть указано слово «точно» или же последняя значащая цифра печатается жирным шрифтом.

П р и м е р . В печатном тексте: 1 кВт·ч = 3 600 000 Дж (точно) или 1 кВт·ч = 360000**0** Дж.

1.3. Следует различать записи приближенных чисел по количеству значащих цифр.

Примеры:

1. Следует различать числа 2,4 и 2,40. Запись 2,4 означает, что верны только цифры целых и десятых; истинное значение числа может быть, например, 2,43 и 2,38. Запись 2,40 означает, что верны и сотые доли числа; истинное число может быть 2,403 и 2,398, но не 2,421 и не 2,382.

2. Запись 382 означает, что все цифры верны; если за последнюю цифру ручаться нельзя, то число должно быть записано $3{,}8 \cdot 10^2$.

3. Если в числе 4720 верны лишь две первые цифры, оно должно быть записано $47 \cdot 10^2$ или $4{,}7 \cdot 10^3$.

1.4. Число, для которого указывается допускаемое отклонение, должно иметь последнюю значащую цифру того же разряда, как и последняя значащая цифра отклонения.

Примеры:

1. Правильно: $17{,}0 \pm 0{,}2$. Неправильно: $17 \pm 0{,}2$ или $17{,}00 \pm 0{,}2$.

2. Правильно: $12{,}13 \pm 0{,}17$. Неправильно: $12{,}13 \pm 0{,}2$ или $12{,}1 \pm 0{,}17$.

3. Правильно: $46{,}40 \pm 0{,}15$. Неправильно: $46{,}4 \pm 0{,}15$ или $46{,}402 \pm 0{,}15$.

1.5. Числовые значения величины и ее погрешности (отклонения) целесообразно записывать с указанием одной и той же единицы величины.

Пример. $(80{,}555 \pm 0{,}002)$ кг.

1.6. Интервалы между числовыми значениями величин следует записывать:

«От 60 до 100» или «от 60 до 100»;

«Свыше 100 до 120» или «свыше 100 до 120»;

«Свыше 120 до 150» или «свыше 120 до 150».

1.7. Числовые значения величин должны указываться в стандартах с одинаковым числом разрядов, которое необходимо для обеспечения требуемых эксплуатационных свойств и качества продукции. Запись числовых значений величин до первого, второго, третьего и т.д. десятичного знака для различных типоразмеров, видов марок продукции одного названия, как правило, должна быть одинаковой. Например, если градация толщины стальной горячекатаной ленты 0,25 мм, то весь ряд толщин ленты должен быть указан с точностью до второго десятичного знака.

Правильно: 1,50; 1,85; 2,00. Неправильно: 1,5; 1,75; 2.

В зависимости от технической характеристики и назначения продукции количество десятичных знаков числовых значений величин одного и того же параметра, размера, показателя или нормы может иметь несколько ступеней (групп) и должно быть одинаковым только внутри этой ступени (группы).

2. ПРАВИЛА ОКРУГЛЕНИЯ.

2.1. Округление числа представляет собой отбрасывание значащих цифр справа до определенного разряда с возможным изменением цифры этого разряда.

П р и м е р . Округление числа 132,48 до четырех значащих цифр будет 132,5.

2.2. В случае, если первая из отбрасываемых цифр (считая слева направо) меньше 5, то последняя сохраняемая цифра не меняется.

П р и м е р . Округление числа 12,23 до трех значащих цифр дает 12,2.

2.3. В случае, если первая из отбрасываемых цифр (считая слева направо) равна 5, то последняя сохраняемая цифра увеличивается на единицу.

П р и м е р . Округление числа 0,145 до двух значащих цифр дает 0,15.

П р и м е ч а н и е . В тех случаях, когда следует учитывать результаты предыдущих округлений, следует поступать следующим образом:

1) если отбрасываемая цифра получилась в результате предыдущего округления в большую сторону, то последняя сохраняемая цифра сохраняется;

П р и м е р . Округление до одной значащей цифры числа 0,15 (полученного после округления числа 0,149) дает 0,1.

2) если отбрасываемая цифра получилась в результате предыдущего округления в меньшую сторону, то последняя оставшаяся цифра увеличивается на единицу (с переходом при необходимости в следующие разряды).

П р и м е р . Округление числа 0,25 (полученного в результате предыдущего округления числа 0,252) дает 0,3.

2.4. В случае, если первая из отбрасываемых цифр (считая слева направо) больше 5, то последняя сохраняемая цифра увеличивается на единицу.

П р и м е р . Округление числа 0,156 до двух значащих цифр дает 0,16.

2.5. Округление следует выполнять сразу до желаемого количества значащих цифр, а не по этапам.

П р и м е р . Округление числа 565,46 до трех значащих цифр производится непосредственно на 565. Округление по этапам привело бы к: 565,46 в I этапе – к 565,5, а во II этапе – 566 (ошибочно).

2.6. Целые числа округляют по тем же правилам, как и дробные.

П р и м е р . Округление числа 12 456 до двух значащих цифр дает $12 \cdot 10^3$.

7. СРЕДСТВА ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

Средства измерительной техники, *измерительная техника* – обобщающее понятие, охватывающее технические средства, специально предназначенные для измерений. К средствам измерительной техники относят **средства измерений**, **средства сравнения** и **измерительные принадлежности**. Особую группу средств измерительной техники составляют **эталоны**, которые описаны в другом разделе.

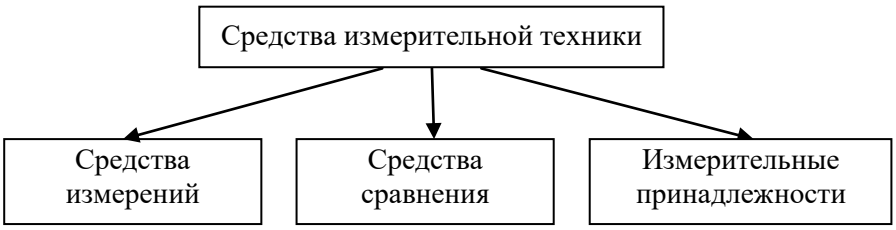


Рис. 7.1. Средства измерительной техники

Метрологические службы и другие подразделения юридических лиц, выполняющие измерительные и испытательные операции, оснащены разнообразными техническими устройствами, которые, в общем случае, подразделяются на средства измерительной техники и **средства испытаний**. Отнесение того или иного технического устройства к одной из названных групп обычно осуществляется, исходя из его функционального назначения и области применения. Если средство измерительной техники, например, средство измерений, используется для испытаний, то его относят к средствам испытаний.

Средство измерений, *measuring instrument* – объект, предназначенный для выполнения измерений, воспроизводящий и (или) хранящий какую-либо часть (точку) шкалы и имеющий нормированные метрологические характеристики.

Условно средства измерений подразделяются на **меры, измерительные преобразователи**, **измерительные приборы** и **измерительные системы** (рис. 7.2.). Иногда к средствам измерений относят **компараторы** (средства сравнения).

Средства измерений могут быть функционально объединены в **измерительные установки**, **поверочные установки** и т.п. Часто встречающиеся названия: измерительная машина, измерительная установка, измерительно-вычислительный комплекс и т.д. получили эти наименования, исходя из их конструктивных или эксплуатационных особенностей, а, отчасти, и традиций. Все они с метрологической точки

зрения являются измерительными приборами, метрологические нормы и требования к которым установлены комплексом нормативных документов Государственной системы обеспечения единства измерений (ГСИ). Некоторые средства измерений, например, меры цвета и жидкостные меры плотности, не имеет смысла называть техническими устройствами (средствами). Решения об отнесении тех или иных устройств к средствам измерений осуществляется в соответствии с законодательно установленным порядком. **Испытания средства измерений в целях утверждения типа** позволяют нормировать метрологические характеристики (пределы погрешностей) на определенные интервалы времени между **поверками**.

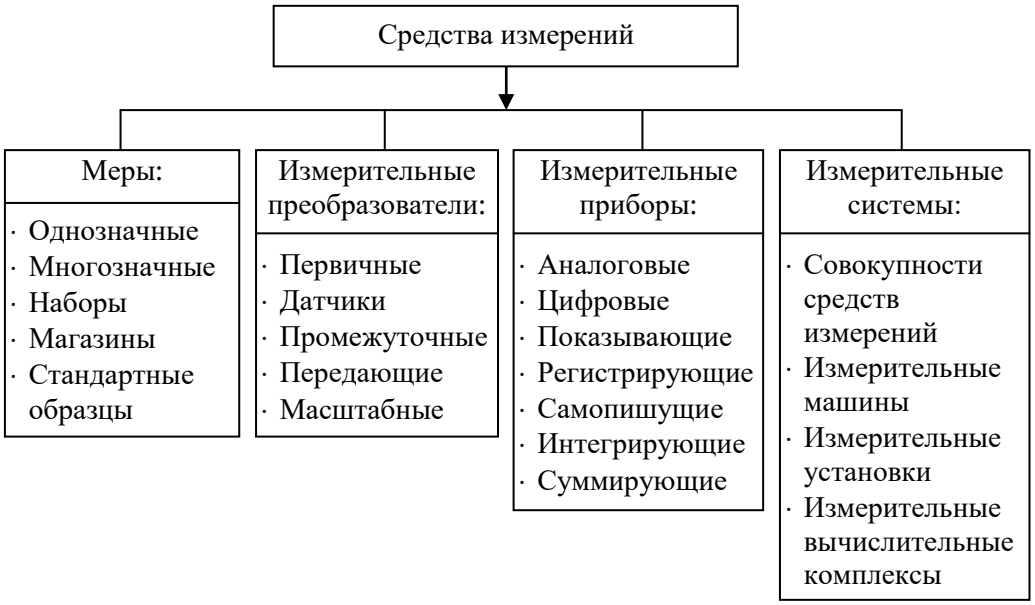


Рис. 7.2. Средства измерений

В общем случае, средство измерений включает в себя меру, измерительный преобразователь (преобразователи), устройства сравнения (компараторы) и (или) индикации. Часть перечисленных элементов (кроме меры) в конкретном средстве измерений может отсутствовать. Эти же элементы могут выполняться в виде самостоятельных технических устройств. Средства измерений могут применяться для измерений величин, влияющих на результат измерения искомой величины (свойства).

***Измерительная система**, ИС* – совокупность **средств измерений** и других средств **измерительной техники**, размещенных в разных точках **объекта измерения**, функционально объединенных с целью **измерений** одной или нескольких **величин**, свойственных этому объекту. В зависимости от назначения измерительные системы разделяют на

измерительные информационные, измерительные контролирующие, измерительные управляющие системы и др. Измерительную систему, перестраиваемую в зависимости от изменения измерительной задачи, называют *гибкой измерительной системой* (ГИС). Измерительная система в зависимости от решаемой измерительной задачи может рассматриваться как единое средство измерений.

П р и м е р ы :

1. Измерительная система теплоэлектростанции, позволяющая получать измерительную информацию о ряде величин в разных энергоблоках. Она может содержать сотни измерительных каналов.

2. Радионавигационная система для определения местоположения различных объектов, состоящая из ряда измерительно-вычислительных комплексов, разнесенных в пространстве на значительное расстояние друг от друга.

Установка (измерительная) – совокупность функционально объединенных и расположенных в одном месте **мер, измерительных приборов, измерительных преобразователей** и других устройств, предназначенная для **измерений** одной или нескольких **величин** (свойств). Измерительную установку, применяемую для поверки, называют *поверочной установкой*. Измерительную установку, входящую в состав эталона, называют *эталонной установкой*. Некоторые большие измерительные установки называют **измерительными машинами** (силоизмерительная машина, машина для измерения больших длин в промышленном производстве, делительная машина, координатно-измерительная машина).

Технические системы и устройства с измерительными функциями – технические системы и устройства, которые наряду с их основными функциями выполняют измерительные функции.

Измерительно-вычислительный комплекс*, ИВК* – функционально объединенная совокупность средств измерений, ЭВМ и вспомогательных устройств, предназначенная для выполнения в составе **измерительной системы** конкретной измерительной задачи**.**

Измерительный прибор*, measuring instrument* **– средство измерений**, предназначенное для выработки сигнала **измерительной информации** в форме, доступной для непосредственного восприятия; другой вариант определения – средство измерений, предназначенное для получения значения измеряемой величины или оценки свойства в установленном диапазоне (участке) шкалы измерений.

П р и м е р ы : вольтметр, микрометр, термометр, электронные весы.

По способу индикации значений измеряемой величины измерительные приборы разделяют на *показывающие* и *регистрирующие.* По принципу действия измерительные приборы разделяют на

интегрирующие (счетчики) и *суммирующие*, показания которых функционально связаны с суммой двух или нескольких величин, подводимых по различным каналам. Различают также *приборы прямого действия* и *приборы сравнения, аналоговые* и *цифровые, самопишущие* и *печатающие приборы.* Измерительные приборы часто характеризуются **классами точности**.

Измерительные приборы характеризуются диапазонами и пределами (границами) погрешностей измерений, чувствительностью, стабильностью показаний. Многие современные измерительные приборы многофункциональны (измеряют несколько величин или свойств) и многопредельны (охватывают участки шкалы измерений с разными пределами). Все измерительные приборы реализуют разновидности метода сравнения с мерой или шкалой и, как правило, включают в себя: первичный измерительный преобразователь, компаратор, меру (меры), входные и выходные терминалы, управляющий процессор, систему питания. Наиболее широко распространены показывающие измерительные приборы, предназначенные для выработки сигнала измерительной информации в форме, доступной для непосредственного восприятия оператором – визуального считывания показаний. Большим разнообразием отличаются отсчетные устройства: на смену стрелочным и световым индикаторам пришли цифровые табло и дисплеи. Часто измерительные приборы компьютеризированы, имеют соответствующие отсчетные устройства и выходы для включения в информационно-измерительные системы.

Шкала средства измерений, *шкала (измерительного прибора)* – часть **средства измерений**, представляющая собой упорядоченный набор меток вместе со значениями соответствующей **величины**.

Цена деления (шкалы) – разность значений величины, соответствующих двум соседним меткам шкалы средства измерений.

Длина шкалы – длина линии, проходящей через центры всех самых коротких отметок шкалы средства измерений и ограниченной начальной и конечной отметками. Линия может быть реальной или воображаемой, кривой или прямой. Длина шкалы выражается в единицах длины независимо от единиц, указанных на шкале.

Начальное и конечное значения шкалы – соответственно наименьшее и наибольшее значения измеряемой величины, которые могут быть отсчитаны по шкале средства измерений. Например, для медицинского термометра начальным значением шкалы является 34,3 °С, а конечным 42 °С.

Мера (материальная), *material measure* – **средство измерений**, которое воспроизводит в процессе использования или постоянно хранит **величины** одного или более данных **родов**, с приписанными им

значениями. Более общее определение: ***мера*** – средство измерений, воспроизводящее и (или) хранящее одну или несколько точек шкалы измерений при определенных условиях. Материальная мера может быть **эталоном**.

П р и м е р ы : эталонная гиря, мера вместимости (которая сохраняет одно или несколько значений величины, со шкалой значений величины или без нее), эталонный резистор, линейная шкала (линейка), концевая мера длины, эталонный генератор сигналов, меры твердости (минералы различной твердости по шкале Мооса), аттестованный стандартный образец.

Понятие меры применимо в шкалах, описывающих как количественные свойства величины – «мера величины», так и качественные свойства, например, «мера цвета». В истории развития метрологии важнейшее значение имеет **Метрическая система мер**.

Мера измеряемой величины и **единица измерения** – разные понятия. Мера является реализацией (телом, веществом, устройством и пр.) **размера единицы измерения**. Меры занимают в метрологической иерархии все уровни, от международных эталонов до рабочих средств измерений, например, меры массы – гири.

По конструкции меры бывают отдельными и встроенными (любое средство измерений содержит меру). Различают меры однозначные, многозначные, наборы, магазины мер, стандартные образцы веществ и материалов. Однозначными мерами, воспроизводящими одну точку шкалы измерений, являются: гири, концевые меры длины, меры вместимости (объема), цезиевые реперы частоты, меры твердости, катушки электрического сопротивления, нормальные элементы, реализации тройной точки воды (меры температуры), буферные растворы (меры водородного показателя pH), геодезические знаки (меры местоположения), меры ослабления, коэффициентов отражения и пропускания. Из однозначных мер формируются наборы мер (гирь, концевых мер, образцов цвета), комбинирование или выбор которых позволяет получить заданное значение величины или качественного измеряемого свойства. Однозначные меры, конструктивно объединенные в один прибор, позволяющий переключением воспроизводить дискретный набор значений величины, называют магазинами мер. Многозначные меры воспроизводят дискретный или непрерывный ряд значений величин (участок шкалы). Например, линейки с делениями, конденсаторы переменной емкости и др. Многозначные меры оснащают шкалами – отсчетными устройствами, указывающими значение воспроизводимой величины. Мера, предназначенная для сравнения с ней размеров, формы и расположения поверхностей деталей, изделий с целью определения их годности, называется калибром.

Часто в качестве особой категории мер выступают чистые природные вещества и химические элементы, позволяющие в определенных условиях воспроизводить и хранить размер некоторых единиц. Такие вещества и химические элементы обычно используют в качестве реперов (контрольных точек с известным значением величины) при воспроизведении и хранении шкал измерений. Так, международная температурная шкала (МТШ-90) построена по значениям основных реперных точек – мер температуры.

Некоторые химические элементы и вещества используются для воспроизведения нескольких температурных реперных точек. Шкала водородного показателя pH построена на ряде растворов определенных химических веществ, являющихся эталонными мерами pH. В кондуктометрии также в качестве эталонных мер удельной электрической проводимости жидкостей используются растворы химических веществ.

Химические элементы и вещества используются также в качестве мер в различных процедурах идентификации. При этом элементы и вещества играют роль классов эквивалентности в соответствующих шкалах наименований.

Своеобразными мерами являются аттестованные смеси веществ, представляющие собой средства измерений в виде смеси определенных количеств различных веществ, приготовляемой на месте применения в соответствии с утвержденной, в установленном порядке, технической документацией. Такие меры предназначены для воспроизведения и хранения размеров единиц величин, характеризующих содержание определенных компонентов в составе смеси, значения которых установлены по расчетно-экспериментальной процедуре ее изготовления. Аттестованные смеси могут представлять собой механические смеси твердых веществ, смеси газов, растворов, суспензий и т.д.

Существуют меры, которые не могут быть материализованы. Например, передаваемые сигналы точного времени и частоты, являющиеся мерами (реперами) моментов времени национальной шкалы времени и размера единицы частоты. Меры позволяют воспроизводить и (или) хранить практически все многообразие единиц и шкал измерений количественных и качественных свойств предметов, явлений, процессов.

Мера величины обычно имеет номинальное значение воспроизводимого и (или) хранимого размера величины, указанное непосредственно на мере или в документации на нее. Действительное значение, воспроизводимое мерой, определяется экспериментально, путем сравнения с **эталоном**. В зависимости от погрешности, с какой регламентированы действительные значения мер, они делятся на **классы точности средств измерений** или разряды. Показанием материальной меры является приписанное ей значение величины.

Меры позволяют воспроизводить и (или) хранить практически все многообразие единиц и шкал измерений, характеризующих как количественные, так и качественные свойства предметов, явлений, процессов, описываемых метрическими и неметрическими шкалами.

В шкалах наименований, которыми описываются качественные свойства, применяются меры: атласы цветов и другие меры цвета, СО цветности водных растворов (хромо-кобальтовая шкала), СО белизны поверхности и др. К качественным мерам следует отнести комбинированные меры характеристик дефектов, используемых для поверки (настройки) ультразвуковых дефектоскопов и медицинских приборов. К качественным мерам можно отнести и такие меры комбинированных свойств (расстояний, взаимного положения и формы), как шаблоны. Геодезические знаки являются трехмерными координатными мерами местоположения на Земле.

В шкалах порядка широко используются меры твердости, воспроизводящие шкалы порядковых (неархимедовых) величин – чисел твердости металлов и других материалов.

К шкалам разностей (интервалов) относятся меры длины (линейки, рулетки, концевые меры, калибры, щупы и др.), реперные точки практических температурных шкал, шкалы Цельсия, Фаренгейта, Реомюра, сигналы точного времени по национальной шкале и др.

К шкалам отношений относятся меры массы, реперные точки температурной шкалы МТШ-90, источники ионизирующих излучений – меры активности радионуклидов, энергетические меры.

В абсолютных шкалах применяются меры ослабления, коэффициентов отражения и пропускания электромагнитного излучения, звука и др.

В координатных (геодезических) шкалах мерами местоположения являются геодезические знаки различных уровней точности.

Конструктивное исполнение мер чрезвычайно разнообразно. Достаточно упомянуть такие простейшие по конструкции меры, как меры массы, концевые меры и такие сложнейшие конструкции, как цезиевый репер частоты, стабилизированный лазер для воспроизведения единицы длины – метра.

Условия, необходимые для воспроизведения мерами шкал или единиц измерений, могут быть различными. Концевые меры, штриховые меры длины (линейки) и др. не требуют каких-либо особых условий, они всегда готовы к употреблению. Их можно назвать пассивными мерами. Другие, такие как нормальный элемент, меры интенсивности ионизирующих излучений, сами генерируют размер воспроизводимого значения величины. Их иногда называют активными мерами.

Существует большая группа мер, для использования которых требуются определенные условия. Большинство электрических и

радиотехнических мер, например, воспроизводят размер единиц только в случаях, когда через них пропускается электрический ток. К ним относятся, например, катушки сопротивления, катушки индуктивности, меры электрической емкости и многие другие.

Отметим, что широко распространенные меры массы – гири в комплекте с равноплечими весами – фактически используются для воспроизведения силы притяжения (веса). Другой особенностью ряда мер является их расходуемость. Например, мера твердости металлов может быть использована ограниченное число раз, пока определенная доля ее поверхности не будет занята отпечатками индентора. Большинство СО также является расходуемыми мерами.

По определению любое средств измерений (измерительный прибор или преобразователь) должен содержать в себе меру. На первый взгляд не всегда можно сказать, что является мерой в том или ином средстве измерений. В таком простейшем средстве измерений, как штангенциркуль, встроенная многозначная мера в виде линейки с миллиметровыми делениями явно видна. Неочевидно, что является встроенной мерой в стрелочных приборах (вольтметрах, амперметрах, гальванометрах любой системы – магнитоэлектрической, электромеханической, электростатической и т.д.). Мерой в таких стрелочных приборах является упругая пружинка или упругие растяжки, удерживающие стрелку на некоторой отметке отсчетной шкалы. В цифровых вольтметрах встроенной мерой является стабилитрон или, ранее, нормальный элемент.

Во многих эталонах высшего звена, использующих калориметрический первичный преобразователь и реализующих метод замещения на постоянном токе, мерой служит прецизионный резистор (или тот же стабилитрон) в компенсационной схеме калориметра.

Могут существовать и меры многомерных величин, например, применяются волноводные меры комплексного (двухмерного) коэффициента отражения СВЧ электромагнитного излучения. Своеобразной дополнительной координатой служит частота, на которой выполняется измерение в радиотехнике и электронике.

Итак, в прикладной метрологии существуют и применяются меры не только количественных, но и качественных свойств, которые можно классифицировать на следующие основные группы: меры качественных свойств, меры порядковых величин, меры скалярных величин, комбинированные меры, многозначные меры, стандартные образцы.

Метрическая система мер – десятичная система мер, в основу которой положена мера длины – **метр.** Метрическая система мер предложена комиссией из крупнейших французских учёных (*Ж. Борда, М. Кондорсе, П. Лаплас, Г. Монж и др.*) в эпоху Великой французской революции в 1791. Первоначально в нее кроме метра входили единицы:

площади – квадратный метр, объёма – кубический метр, массы – килограмм (масса 1 $дм^3$ воды при температуре её максимальной плотности 4 °С), а также литр (для вместимости), ар (для площади земельных участков) и тонна (1000 кг). Важная отличительная особенность метрической системе мер – десятичный способ образования кратных и дольных мер, для образования наименований которых были приняты приставки: *кило…, гекто…, дека…, деци…, санти…* и *мили...* За меру длины – метр – была принята десятимиллионная часть $^1/_4$ длины парижского географического меридиана. Это решение было обусловлено стремлением положить в основу системы легко воспроизводимую естественную меру длины, связанную с каким-либо практически неизменным объектом природы.

Декрет о введении этой системы во Франции принят 7 апреля 1795 г. В 1799 г. были изготовлены и утверждены платиновые прототипы метра и килограмма. Размеры, наименования и определения других мер системы были выбраны так, чтобы она не носила национального характера и могла быть принята всеми странами. Подлинно международный характер метрическая система мер приобрела в 1875 году, когда 17 стран, в том числе Россия, подписали *Метрическую конвенцию* для обеспечения международного единства и усовершенствования метрической системы. Метрическая система мер была допущена к применению в России (в необязательном порядке) законом от 4 июня 1899 г., проект которого был разработан *Д.И. Менделеевым*. В качестве обязательной она была введена декретом Совета народных комиссаров РСФСР от 14 сентября 1918 г., а в СССР – постановлением Совета народных комиссаров СССР от 21 июля 1925 г.

На основе метрической системы мер возник целый ряд частных, охватывающих отдельные разделы физики или отрасли техники, систем единиц и отдельных внесистемных единиц. Дальнейшее развитие метрологии привело к созданию на основе метрической системы мер единой **Международной системы единиц**.

***Измерительный преобразователь**, measuring transducer* – средство измерений (или его часть), служащее для получения информации об измеряемом количественном или качественном свойстве и преобразовании ее в форму, удобную для обработки, хранения, дальнейших преобразований, индикации или передачи.

Примеры: термопара в термоэлектрическом термометре, измерительный трансформатор тока, тензодатчик, электрод для измерения pH, биметаллическая пластина.

Измерительный преобразователь или входит в состав какого-либо измерительного прибора (измерительной установки, измерительной системы и др.), или применяется вместе с каким-либо средством

измерений. По характеру преобразования различают *аналоговые, цифро-аналоговые, аналого-цифровые измерительные преобразователи.* По месту в измерительной цепи различают *первичные* и *промежуточные измерительные преобразователи.* Выделяют также *масштабные* и *передающие преобразователи.*

Измерительные преобразователи (ИП) входят в состав большинства средств измерений всех рангов, от рабочих средств измерений до государственных эталонов. Среди них важное место занимают **первичные измерительные преобразователи**. Особенно велика их роль в эталонах высшего звена. Погрешность, вносимая этими преобразователями, часто доминирует в суммарной погрешности эталона и неопределенности результатов измерений на нем.

Для понимания роли ИП в практической метрологии необходимо иметь четкое представление о выполняемых ими функциях. Надо иметь ввиду, что определения, приведенные в ряде публикаций и НД, содержат ошибочное утверждение, что ИП «преобразуют измеряемую величину в другую». Преобразование величин (абстрактных понятий) алогично. Не слишком удачно и часто встречающееся утверждение, что измерительный преобразователь преобразует измеряемую величину ... в измерительный сигнал (сигнал измерительной информации), т.к. невозможно преобразование абстрактного понятия «величина» в материальный «сигнал» (процесс или явление).

На самом деле основная функция ИП – получение и передача информации об измеряемой величине. Выполнение этой функции осуществляется на основе физических закономерностей, положенных в основу конструктивного исполнения ИП. С физической точки зрения процесс преобразования, происходящий в ИП, есть процесс энергетический, в основе которого лежит закон сохранения энергии. ИП преобразует часть энергии (а в некоторых случаях и всю энергию), получаемую им от объекта измерений, в другой вид энергии, удобный для регистрации, дальнейшего преобразования или передачи и т.д. В ИП используют и то обстоятельство, что часто различные величины функционально связаны друг с другом (приведем в качестве примера основное уравнение термодинамики PV = RT). На первый взгляд, многие ИП «действительно как бы преобразуют» одну величину в другую, например, жидкостный термометр – температуру в длину, термометр сопротивления – температуру в электрическое сопротивление, стрелочный электроизмерительный прибор – силу тока в угловые градусы и т.д. Но тогда, если буквально следовать определениям, температура должна измеряться в единицах длины или электрического сопротивления, сила тока в угловых единицах и т.д. В действительности, если углубиться в сущность процессов и явлений, происходящих в ИП, их следует считать устройствами, автома-

тически выполняющими процесс косвенных измерений, когда измеряемая величина находится на основании известной (функциональной) зависимости между этой величиной и величинами, подвергаемыми прямым измерениям. Так, например, в жидкостном термометре используется известная зависимость между температурой и объемом жидкости, а результат измерений температуры находится из прямых измерений длины (объема) столба жидкости в капилляре, проградуированном в градусах. В термометре сопротивления используется зависимость электропроводности материалов от температуры. В стрелочных электроизмерительных приборах использован эффект взаимодействия между электрическим током, протекающим по проводнику, и магнитным полем, а результат измерений силы тока прямо отсчитывается по шкале, имеющей соответствующую градуировку. Отсчетные шкалы средств измерений сами являются своеобразными ИП, переводящими, например, длину столба жидкости в градусы температуры, угол поворота стрелки электроизмерительного прибора в соответствующие электрические величины. Таким образом, ИП, снабженные отсчетными шкалами, проградуированными в единицах измеряемой величины, превращаются в средства измерений прямого действия (для прямых измерений). Все операции косвенных измерений, несущие информацию об измеряемой величине, скрыты в цепи измерительных преобразований, определяемых функциональными зависимостями, положенными в конструкцию этого средства измерений.

Чувствительный элемент, *первичный измерительный преобразователь, датчик* – **измерительный преобразователь**, на который непосредственно воздействует материальный объект или явление, являющееся носителем **величины**, подлежащей **измерению**, т.е. первый преобразователь в измерительной цепи измерительного прибора (установки, системы), непосредственно взаимодействующий с объектом измерений.

П р и м е р ы : чувствительная катушка платинового термометра сопротивления, ротор турбинного расходомера, трубка Бурдона в манометре, поплавок уровнемера, фотоэлемент спектрометра, термотропный жидкий кристалл, который изменяет цвет в зависимости от температуры.

Конструктивно обособленный первичный преобразователь или совокупность первичного и других измерительных преобразователей называют датчиком. Датчик может быть вынесен на значительное расстояние от средства измерений, принимающего его сигналы. Например, датчики запущенного метеорологического радиозонда передают измерительную информацию о температуре, давлении, влажности и других параметрах атмосферы.

Детектор – техническое средство или вещество, которое указывает на наличие определенного свойства **объекта измерения** при превышении порогового **значения** соответствующей **величиной**.

П р и м е р ы : галогенный течеискатель, лакмусовая бумага.

Средство сравнения – техническое, натуральное или иное средство, определенная среда или фактор, посредством которых возможно выполнять сравнение друг с другом **мер** однородных **величин** (свойств) или **показания измерительных приборов.** Некоторые средства сравнения называют **компараторами**.

Иногда техническое средство снабжается **средством измерений**, обеспечивающим функцию сравнения. В VIM3 [6] используется термин *устройство сравнения*: устройство, которое используется как средство сличения эталонов.

П р и м е р ы :

1. Рычажные весы, на одну чашку которых устанавливается эталонная гиря, а на другую поверяемая, – есть средство для их сравнения.

2. Жидкость для сравнения показаний ареометров служит необходимой средой для градуировки.

3. Температурное поле, создаваемое термостатом для сравнения показаний термометров, является необходимой средой.

4. Давление среды, создаваемое компрессором, может быть измерено поверяемым и эталонным манометрами одновременно. На основании показаний эталона градуируется поверяемый прибор.

К факторам, создаваемым с помощью технических устройств для сравнения, относятся: генерируемые техническими устройствами электромагнитные поля, разности потенциалов как в открытом пространстве, так и в проводниках или волноводах (сличение практически всех электрических и радиоизмерительных устройств), нейтронные, фотонные и другие поля, генерируемые реакторами, ускорителями, источниками радиоактивных излучений, акустические и гидроакустические поля и т.д. В большинстве случаев от всех этих факторов требуется лишь стабильность во времени и однородность в объеме (для полей), достаточном для размещения сличаемых средств измерений. Примерами естественных компарирующих факторов являются излучение Солнца, гравитационное поле Земли, используемые при сличении пиргелеометров, мер массы, силы, грузопоршневых манометров и т.д. Абсолютные значения величин, характеризующих эти факторы, менее существенны. Необходимо лишь, чтобы они обеспечивали функционирование сличаемых средств измерений в их диапазонах измерений. Но бывают и исключения. Так, при измерениях силы весовым методом, тарировке грузопоршневых манометров необходимо знать значение ускорения свободного падения в месте расположения соответствующих эталонов (а иногда, если требования к точности измерений высоки, и в месте эксплуатации аппаратуры). Значение ускорения свободного падания не остается строго постоянным во

времени. Поэтому измерения его значения для метрологических целей приходится время от времени повторять.

***Компаратор**, comparator* (от лат. *«comparo» – сравниваю*) **– средство сравнения**, предназначенное для сравнения хранимых или воспроизводимых средствами измерений участков (точек) шкал измерений. Используются компараторы количественных свойств (величин) и качественных (номинативных) свойств.

П р и м е р ы : рычажные весы, компаратор для сличения нормальных элементов, компараторы цвета – качественного свойства.

Компараторы входят в состав практически всех измерительных приборов. Совокупность разнообразных компараторов можно разделить на следующие основные группы.

Классические компараторы, обычно относимые к средствам измерений, содержат меру. К ним относятся: равноплечие, десятичные, сотенные и другие рычажные весы. Все они имеют встроенные меры в виде безразмерностного коэффициента деления, умножения. Коромысло равноплечих весов состоит из двух соединенных равных мер длины. В пружинных весах многозначной мерой является пружина.

Компараторы в виде функциональных узлов измерительных приборов выполняют сравнение измеряемой величины (свойства) с встроенной мерой.

Роль компараторов также выполняют естественные биологические системы – органы чувств человека, его глаза (сравнение цветности и яркости объектов), органы слуха (сравнение громкости и высоты звуков).

Основное средство измерений – **средство измерений** той **величины** (свойства)**, значение** которой необходимо получить в соответствии с **измерительной задачей**.

Вспомогательное средство измерений – **средство измерений** той **величины**, влияние которой на основное средство измерений или **объект измерения** необходимо учитывать для получения **результатов измерений** требуемой **точности**.

П р и м е р : термометр для измерения температуры газа в процессе измерений объемного расхода этого газа.

Измерительные принадлежности – вспомогательные средства, служащие для обеспечения необходимых условий для выполнения **измерений** с требуемой **точностью**. Часто измерительные принадлежности предназначены для защиты от воздействия **влияющих величин**.

П р и м е р ы : термостат; барокамера; специальные противовибрационные фундаменты; устройства, экранирующие влияние электромагнитных полей; тренога для установки прибора по уровню.

Тип средства измерений – совокупность **средств измерений** одного и того же назначения, основанных на одном и том же принципе

действия, имеющих одинаковую конструкцию и изготовленных по одной и той же технической документации. Средства измерений одного типа, предназначенные для измерений одних и тех же свойств (величин), могут иметь различные модификации (например, отличаться по диапазону измерений, комплектации и др.). Тип стандартных образцов – совокупность стандартных образцов одного и того же назначения, изготавливаемых из одного и того же вещества (материала) по одной и той же технической документации. В сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений применяются средства измерений и стандартные образцы прошедшие испытания с целью утверждения типа и внесенные в Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений.

Измерительная цепь – последовательность элементов **средства измерений**, которая образует единый путь сигнала от **чувствительного элемента** к выходному элементу, формирующему **показание**.

П р и м е р : электроакустическая измерительная цепь, содержащая микрофон, аттенюатор, фильтр, усилитель и вольтметр.

Регулировка (средства измерений) – совокупность операций, которые применяются к **средству измерений** для того, чтобы обеспечить требуемые **показания**, соответствующие заданным **значениям величины**, подлежащей **измерению**. Виды регулировки включают регулировку нуля средства измерений, регулировку **смещения** и регулировку **диапазона** (иногда называемую регулировкой коэффициента усиления). *Регулировка нуля средства измерений* обеспечивает нулевое **показание**, соответствующее нулевому **значению величины**, подлежащей **измерению**. Приведенные определения отличны от определений VIM3 [6] вследствие различий в определении понятий *средство измерений* и *измерительная система*.

8. СВОЙСТВА И МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

Метрологическая характеристика (средства измерений), *МХ* – характеристика одного из свойств **средства измерений**, влияющая на **результат измерений**. Для каждого **типа средств измерений** устанавливают свои МХ. МХ, устанавливаемые нормативно-техническими документами, называют **нормируемыми метрологическими характеристиками**, а определяемые экспериментально – **действительными метрологическими характеристиками**. Нормирование метрологических характеристик средств измерений нужно осуществлять, оперируя исходным понятием погрешность и руководствуясь ГОСТ 8.009-84 [22], ГОСТ 8.401-80 [23] и РМГ 91-2019 [31]. При этом используются пределы допускаемых погрешностей средств измерений, которые не являются погрешностями конкретных средств измерений. Понятия «неопределенность средства измерений» нет и не может быть в принципе.

Нормируемые метрологические характеристики (типа средства измерений), *НМХ* – совокупность МХ данного **типа средств измерений**, устанавливаемая нормативными документами на **средства измерений** (СИ). Номенклатура нормируемых МХ СИ, связанных с погрешностями СИ, правила их выбора для конкретных типов СИ и способы нормирования установлены ГОСТ 8.009, а для измерительных систем – МИ 2439. Основными НМХ СИ являются: диапазоны измерений и пределы погрешностей. **Неопределенность измерений** при калибровке СИ не является его НМХ.

Динамические характеристики – МХ свойств СИ, проявляющихся в том, что на выходной сигнал этого СИ влияют значения входного сигнала и изменения этих значений во времени: переходная характеристика, импульсная переходная характеристика, амплитудно-фазовая характеристика, амплитудно-частотная характеристика, передаточная функция; функция преобразования – зависимость информативного параметра выходного сигнала от информативного параметра его входного сигнала; функция влияния – зависимость изменения МХ СИ от изменения влияющей величины или от изменения совокупности влияющих величин.

Точностные характеристики средства измерений – совокупность МХ СИ, влияющих на **точность измерения**. К точностным характеристикам относят **погрешность средства измерений, нестабильность**, смещение нуля и др.

Точность (средства измерений) – качество СИ, отражающее близость к нулю его **погрешности**. Считается, что чем меньше погрешность, тем точнее СИ.

Класс точности – обобщенная характеристика данного типа СИ, как правило, отражающая их уровень точности и выражаемая точностными характеристиками СИ. Класс точности СИ конкретного типа устанавливают в стандартах технических требований (условий) или в других нормативных документах. Класс точности СИ обычно обозначается числом или символом, принятым по соглашению. Класс точности СИ дает возможность судить о значениях инструментальных погрешностей СИ данного типа при выполнении измерений с применением их. Понятие **класс точности** применяется и к **материальным мерам**.

Класс точности соответствует пределам допускаемых основной и дополнительных погрешностей СИ, а также другим характеристикам, влияющим на точность. Единого принципа деления всех СИ по классам точности не существует. Требования к точности СИ, лежащие в основе разделения их на классы точности, и обозначения классов точности устанавливаются стандартами на группы СИ (гири, меры длины, манометры и т.п.). Многопредельные и комбинированные СИ могут иметь различные классы точности для каждого поддиапазона или для каждой измеряемой величины. Классы точности СИ выбирают при разработке и испытаниях их из регламентированного в стандартах ряда классов точности для СИ конкретного вида. Обычно пределы допускаемой основной погрешности СИ устанавливают по формулам:

$$\Delta = \pm a \ (1) \qquad \text{или} \qquad \Delta = \pm (a + b \cdot x) \ (2),$$

где x – значение измеряемой величины или число делений, отсчитанных по шкале; a, b – положительные числа, не зависящие от x.

Пределы допускаемой приведенной основной погрешности в процентах устанавливают по формуле

$$\gamma = 100 \cdot \Delta / X_N = \pm \ p \ (3),$$

где Δ – пределы по формуле (1); X_N – нормирующее значение (чаще всего – предел измерений), выраженное в тех же единицах, что и Δ; p – отвлеченное положительное число, выбираемое из ряда: $1 \cdot 10^n$; $1{,}5 \cdot 10^n$; $(1{,}6 \cdot 10^n)$; $2 \cdot 10^n$; $2{,}5 \cdot 10^n$; $(3 \cdot 10^n)$; $4 \cdot 10^n$; $5 \cdot 10^n$; $6 \cdot 10^n$, где n = 1, 0, –1, –2 и т.д.

В обоснованных случаях пределы допускаемой относительной основной погрешности СИ устанавливают по более сложной формуле или в виде графика либо таблицы. **Пределы допускаемых погрешностей должны быть выражены не более чем двумя значащими цифрами.** СИ должны по погрешности соответствовать установленному для них классу точности, как при выпуске их из производства, так и в процессе эксплуатации.

Обозначения классов точности различны для разных видов СИ. Для многих измерительных приборов число, обозначающее класс

точности, равно γ, выраженной в процентах от наибольшего значения величины, измеряемой прибором, или от длины шкалы. Для СИ, пределы допускаемой основной погрешности которых принято выражать в форме абсолютных погрешностей (1) и (2) или относительных погрешностей – в виде графика, таблицы или иной формулы, класс точности обозначают прописными буквами латинского алфавита или римскими цифрами. В необходимых случаях к обозначению класса точности буквами латинского алфавита допускается добавлять индексы в виде арабской цифры. Классам точности, которым соответствуют меньшие пределы допускаемых погрешностей, соответствуют буквы, находящиеся ближе к началу алфавита, или цифры, означающие меньшие числа.

На циферблаты, щитки и корпуса СИ должны быть нанесены условные обозначения классов точности, включающие числа, прописные буквы латинского алфавита или римские цифры. При указании класса точности на измерительных приборах с неравномерной шкалой допускается для информации дополнительно указывать пределы допускаемой основной относительной погрешности для части шкалы, лежащей в пределах, отмеченных специальными знаками. Обозначение класса точности допускается не наносить на высокоточные меры, а также на СИ, для которых действующими стандартами установлены особые внешние признаки, зависящие от класса точности, например, параллелепипедная и шестигранная форма гирь общего назначения. За исключением технически обоснованных случаев вместе с условным обозначением класса точности на циферблат, щиток или корпус СИ наносят обозначение стандарта или технических условий, устанавливающих технические требования к этим СИ. На СИ для одного и того же класса, точности которых в зависимости от условий эксплуатации установлены различные рабочие области влияющих величин, наносят обозначения условий их эксплуатации, предусмотренные в стандартах или технических условиях на эти СИ. Правила построения и примеры обозначения классов точности в документации на СИ приведены в ГОСТ 8.401-80.

Погрешность средства измерений – разность между **показанием средства измерений** и известным **опорным (действительным) значением измеряемой величины.**

Показанием меры является ее номинальное (паспортное) значение. Для СИ за опорное значение измеряемой величины принимают показание рабочего эталона, для рабочего эталона – значение, полученное с помощью эталона более высокого ранга. Погрешности СИ различаются: по характеру проявления – **систематические и случайные**; по способу выражения **– абсолютные, относительные**, **приведенные** (относительные погрешности, отнесенные к условно принятому значению величины,

постоянному во всем диапазоне измерений или в части диапазона, например, к последнему делению шкалы прибора); по отношению к условиям применения – **основные и дополнительные**; по отношению к изменениям во времени измеряемой величины – **динамические**, возникающие дополнительно при измерении переменной величины и обусловленные несоответствием реакции СИ на скорость (частоту) изменения входного сигнала, и статические – погрешности СИ, применяемые при измерении величины, принимаемой за неизменную во времени.

Примечание: выражение «неопределённость средства измерений» неуместно (не имеет смысла).

Предел допускаемой погрешности средства измерений – наибольшее значение **погрешности средства измерений (без учета знака)**, устанавливаемое нормативным документом для данного типа СИ, при котором оно еще признается метрологически исправным. Обычно устанавливают пределы допускаемой погрешности, т.е. нижнюю и верхнюю границы интервала, за которые не должна выходить погрешность СИ. По смыслу эта НМХ не является погрешностью СИ, и соответствующие записи в документах на СИ должны отражать это принципиальное отличие понятий. Встречающиеся записи в виде, например, «погрешность средства измерений не более ± 1 км/ч», не корректны. Знак «±» означает, что здесь нужно говорить о пределах погрешностей.

Способы нормирования метрологических характеристик СИ детально изложены в разделе 3 ГОСТ 8.009-84 [22]. **Допускаемые пределы** любой из метрологических характеристик СИ представляют собой границы интервала, в котором значение характеристики любого экземпляра СИ данного типа должно находиться с вероятностью *P,* равной единице. Вероятность $P = 1$ является справочной характеристикой, которую при испытаниях и поверке средств измерений можно отдельно не контролировать.

Систематическая погрешность средства измерений – составляющая погрешности СИ, принимаемая за постоянную или закономерно изменяющуюся.

Примечание. Систематическая погрешность данного СИ, как правило, будет отличаться от систематической погрешности другого экземпляра СИ этого же **типа**, вследствие чего для группы однотипных СИ множество конкретных систематических погрешностей может в таком смысле рассматриваться как **случайная погрешность**.

Случайная погрешность средства измерений – составляющая погрешности СИ, изменяющаяся случайным образом.

Абсолютная погрешность средства измерений – погрешность СИ, выраженная в **единицах измеряемой величины.**

Относительная погрешность средства измерений – погрешность СИ, выраженная отношением абсолютной погрешности СИ к **опорному значению измеряемой величины.**

Приведенная погрешность (средства измерений) – погрешность СИ, выраженная отношением абсолютной погрешности СИ к нормирующему значению величины. Часто за нормирующее значение принимают максимальное **значение диапазона измерений** или разность между максимальным и минимальным значениями диапазона измерений. Приведенную погрешность обычно выражают в процентах.

Основная погрешность (средства измерений) – погрешность СИ, применяемого в **нормальных условиях.**

Дополнительная погрешность (средства измерений) – составляющая погрешности СИ, возникающая дополнительно к основной погрешности вследствие отклонения какой-либо из **влияющих величин** от **нормального** ее **значения** или вследствие ее выхода за пределы **нормальной области значений**.

Статическая погрешность (средства измерений) – погрешность СИ, применяемого для измерения постоянной во времени величины.

Динамическая погрешность (средства измерений) – разность между **погрешностью средства измерений** в **динамическом режиме** и его статической погрешностью, соответствующей **значению величины** в данный момент времени.

Погрешность в контрольной точке – погрешность СИ или измерительной системы для заданного **значения измеряемой величины.**

Погрешность нуля – погрешность СИ в контрольной точке, когда заданное значение измеряемой величины равно нулю.

Погрешность меры – разность между **номинальным значением меры** и **опорным значением** воспроизводимой ею **величины**.

Инструментальное смещение – разность между средним (арифметическим значением) повторных **показаний** и **опорным значением величины**.

Инструментальная неопределенность – составляющая **неопределенности измерений**, обусловленная применяемым СИ или измерительной системой. Инструментальную неопределенность, как правило, определяют при **калибровке СИ** или измерительной системы, за исключением **первичного эталона**, когда для этого используют иные подходы. Инструментальную неопределенность также используют при оценивании **неопределенности измерений по типу В** при применении СИ утвержденного типа. Информация, касающаяся инструментальной неопределенности, может быть приведена в спецификации СИ. Следует иметь в виду, что при калибровке в неопределенности измерений обычно не учитывается долговременная нестабильность СИ из-за отсутствия

соответствующих данных. Кроме того, эта неопределенность зависит не только от свойств СИ, но, в основном, от уровня точности применяемого при калибровке эталона. Поэтому неопределенность измерений при калибровке нет оснований считать НМХ СИ.

Неопределенность измерений нуля – **неопределенность измерений**, когда заданное значение измеряемой величины равно нулю. Неопределенность измерений нуля связывается с нулевым показанием или показанием, близким к нулю, и охватывает интервал, для которого неизвестно, является ли измеряемая величина слишком малой, чтобы быть обнаруженной, или показание СИ вызвано только шумом. Это понятие также применяется, когда при измерении получено различие для образца и фона. Это положение не относится к условным нулям шкал интервалов.

Показание – **значение величины**, формируемое СИ или измерительной системой. Показание часто представляется в виде позиции указателя на дисплее для аналоговых выходов, отображенного или напечатанного числа для цифровых выходов, кодовой комбинации для кодовых выходных сигналов или приписанного значения величины для **материальных мер**. Показание и соответствующее значение измеряемой величины не обязательно являются значениями величин одного **рода**.

Фоновое показание – **показание** при условии, что представляющая интерес **измеряемая величина** не вносит вклад в это показание.

Диапазон показаний – область значений **шкалы измерительного прибора**, ограниченная **начальным** и **конечным значениями шкалы.** В некоторых областях используется термин *интервал показаний*.

Номинальный интервал (показаний) – множество **значений величины** между округленными или приближенными **начальным** и **конечным значениями шкалы**, достижимыми при определенной **регулировке средства измерений**, и используемое для обозначения данной регулировки. В некоторых областях используется термин *номинальный интервал*.

Номинальный диапазон (показаний) – абсолютное значение разности между предельными **значениями величины номинального диапазона показаний.**

Пример. Для номинального интервала показаний от –10 В до +10 В номинальный диапазон показаний составит 20 В.

Номинальное значение величины – округленное или приближенное значение величины, приписанное СИ, которым следует руководствоваться при его применении.

Примеры: резисторы с номинальным значением 1 Ом, гиря с номинальным значением 1 кг, –20 °С как максимальная температура по Цельсию при хранении. Нередко номинальное значение указывают на мере.

Значение величины, приписанное мере или партии мер при изготовлении, называют номинальным значением меры.

Действительное значение меры – **значение величины**, приписанное **мере** на основании ее **калибровки** или **поверки**.

Пример. В состав первичного эталона единицы массы входит платиноиридиевая гиря с номинальным значением массы 1 кг, тогда как действительное значение ее массы составляет 1,000000087 кг, полученное в результате международных сличений с международным эталоном килограмма, хранящимся в Международном бюро мер и весов.

Вариация, вызванная влияющей величиной – разность **показаний** для данного **значения измеряемой величины**, обусловленная тем, что **влияющая величина** принимает последовательно два разных значения.

Вариация показаний (измерительного прибора) – разность **показаний измерительного прибора** в одной и той же точке **диапазона измерений** при плавном подходе к этой точке со стороны меньших и больших значений **измеряемой величины**.

В высокочувствительных (особенно в электронных) измерительных приборах вариация приобретает иной смысл и может быть раскрыта как колебания его показаний около среднего значения (показание «дышит»).

Время отклика (при скачкообразном воздействии) – интервал времени от момента, когда **значение величины** на входе СИ или измерительной системы скачкообразно изменяется до определенного уровня (значения), до момента, когда соответствующее **показание СИ** или измерительной системы достигает установившегося конечного значения и остается в заданных пределах.

Инструментальный дрейф – непрерывное или ступенчатое изменение **показаний** во времени, вызванное изменениями МХ СИ. Инструментальный дрейф не связан ни с изменением **измеряемой величины**, ни с изменением любой выявленной **влияющей величины**.

Диапазон измерений, *рабочий диапазон* – множество **значений величин** одного **рода**, которые могут быть измерены данным СИ или измерительной системой с указанными **инструментальной неопределенностью** или указанными показателями точности при определенных условиях. В некоторых областях используют термин *измерительный интервал* или *интервал измерений*. Нижнюю границу диапазона измерений не следует путать с **пределом обнаружения**. Значения величины, ограничивающие диапазон измерений снизу и сверху (слева и справа), называют соответственно *нижним пределом измерений* и *верхним пределом измерений.*

Разрешение – наименьшее изменение **измеряемой величины**, которое является причиной заметного изменения соответствующего **показания**. Разрешение может зависеть, например, от шума

(собственного или внешнего) или трения. Оно может также зависеть от **значения измеряемой величины.**

Разрешающая способность измерительного прибора – наименьшая разность между **показаниями**, которая может быть заметно различима.

Предел обнаружения – **измеренное значение величины**, полученное в соответствии с данной **методикой измерений**, для которого вероятность ошибочного утверждения об отсутствии компонента в материале равна β, а вероятность ошибочного утверждения о его наличии равна α. Термин широко применяется в области количественного химического анализа, где часто по умолчанию принимают значения α и β равными 0,05. Термины **чувствительность** и **порог чувствительности** не следует использовать для предела обнаружения.

Избирательность – свойство СИ или измерительной системы, применяемой согласно установленной **методике измерений** для получения **измеренных значений** одной или нескольких **измеряемых величин**, заключающееся в независимости значений этих величин друг от друга и от влияющих величин **объекта измерения**.

П р и м е р ы :

1. Способность измерительной системы для ионизирующего излучения реагировать на данное излучение при измерении в присутствии постороннего излучения.

2. Способность измерительной системы измерять молярную концентрацию креатинина в плазме крови по методу Яффе без влияния со стороны глюкозы, урата, кетона и белков.

В химии избирательность измерительной системы обычно получают для величин, соответствующих определенным компонентам объекта измерения, концентрации которых лежат в установленных интервалах.

Чувствительность (средства измерений) – отношение изменения **показаний** СИ к вызывающему его изменению **измеряемой величины**. Различают абсолютную и относительную чувствительность. Абсолютную чувствительность определяют по формуле $S = \Delta l/\Delta x$, относительную чувствительность – по формуле $S_0 = \Delta l/(\Delta x/x)$, где Δl – изменение показаний, x – измеряемая величина, Δx – изменение измеряемой величины.

Порог чувствительности (средства измерений) – наименьшее **значение** изменения **величины**, начиная с которого может осуществляться ее **измерение** данным СИ. Если самое незначительное изменение массы, которое вызывает перемещение стрелки весов, составляет 10 мг, то порог чувствительности весов равен 10 мг. Порог чувствительности может зависеть от шума и значения **измеряемой величины**. На практике применяют также термины: *реагирование* и *порог реагирования, подвижность средства измерений* и *порог*

подвижности, срабатывание и *порог срабатывания*. Иногда применяют термин *пороговая чувствительность*. Это свидетельствует о том, что терминология для выражения понятий, связанных со свойствами СИ реагировать на малые изменения измеряемых величин, еще не устоялась. В VIM3 [6] используется термин *порог реагирования* – наибольшее изменение значения измеряемой величины, не вызывающее заметного изменения соответствующего **показания**.

Зона нечувствительности средства измерений, *мертвая зона* – диапазон **значений измеряемой величины**, в пределах которого ее изменения не вызывают значимого изменения **показания** СИ.

Условия стабильности измерений – условия измерений, при которых МХ, установленные при калибровке СИ или измерительной системы, сохраняются в процессе эксплуатации. В условиях стабильности измерений сохраняется **метрологическая исправность средства измерений**.

Нормальные условия (измерений) – условия измерений, предписанные для оценивания характеристик СИ или измерительной системы или для сравнения **результатов измерений**. Нормальные условия измерений характеризуются *нормальной областью значений влияющих величин*. Нормальные условия измерений устанавливаются в нормативных документах на СИ конкретного типа или при их поверке (калибровке). Погрешность СИ в нормальных условиях называют **основной погрешностью** СИ. Нормальные условия относятся к условиям измерений, при которых установленная **инструментальная неопределенность** или **погрешность** будет наименьшей. В VIM3 [6] при установлении нормальных условий приводится также область значений измеряемой величины.

Нормальное значение (влияющей величины) – значение **влияющей величины**, к которому приводятся **результаты измерений** одной и той же **величины**, выполненные в разных условиях.

Нормированные условия измерений, *рабочие условия измерений* – условия измерений, которые должны выполняться во время **измерения** для того, чтобы СИ или измерительная система функционировали в соответствии со своим назначением. Нормированные условия измерений характеризуются *рабочей областью значений влияющих величин.* Составляющую погрешности СИ, возникающую дополнительно к основной погрешности вследствие выхода влияющих величин за пределы нормальной области значений, называют **дополнительной погрешностью**. В VIM3 [6] при установлении нормированных условий измерений устанавливается также область значений измеряемой величины.

Предельные условия (измерений) – условия измерений, характеризуемые экстремальными **значениями измеряемой** и **влияющих величин**, которые СИ или измерительная система может

выдержать без разрушений и ухудшения МХ, если они впоследствии будут использоваться в своих **нормированнных условиях измерения**.

Метрологическая исправность (средства измерений) – состояние СИ, при котором все его НМХ соответствуют установленным требованиям.

Метрологическая надежность (средства измерений) – надежность СИ в части сохранения его **метрологической исправности.**

Метрологический отказ (средства измерений) – выход МХ СИ за установленные пределы.

П р и м е р . Если погрешность средства измерений класса точности 0,01 стала превышать 0,01 %, то это значит, что произошел метрологический отказ, и СИ уже не соответствует установленному ранее классу точности. Если не установлены технические неполадки, то СИ может быть присвоен другой, более низкий класс точности.

Стабильность (средства измерений) – свойство СИ, отражающее неизменность во времени его МХ. Стабильность может количественно выражаться разными способами.

П р и м е р ы :

1. Указанием длительности интервала времени, за который МХ изменилась на установленное значение.

2. Указанием изменения характеристики за установленный интервал времени, что часто называют нестабильностью СИ.

Назначение средств измерений – указание, какие величины и в каких единицах или шкалах измеряет данное средство. Чаще всего назначение СИ ясно из его названия, например, вольтметр, твердомер и т.д. Некоторые СИ предназначены для измерений нескольких различных величин, что также отражено в их названии, например, авометр – ампер-вольт-ом-метр и т.д. Встречаются СИ, названия которых традиционно сохраняются на иностранном языке, например, штангенциркуль, буссоль и др.

Градуировочная характеристика (средства измерения) – зависимость между значениями величин на входе и выходе СИ, полученная экспериментально. Градуированная характеристика может быть выражена в виде формулы, графика или таблицы.

Технические требования к средствам измерений – требования, которые определяют особенности конструкции СИ (без ограничения их технического совершенствования) в целях сохранения их МХ в процессе эксплуатации СИ, достижения достоверности результата измерений, предотвращения несанкционированных настройки и вмешательства, а также требования, обеспечивающие безопасность и электромагнитную совместимость СИ.

9. ЭТАЛОНЫ ЕДИНИЦ И ШКАЛ ИЗМЕРЕНИЙ

Эталон (единицы величины или шкалы измерений) – **средство измерительной техники**, предназначенное для воспроизведения, хранения и **передачи единицы величины** или **шкалы измерений** [11]. Относящиеся к эталонам понятия и положения содержатся во многих документах [24–30 и др.].

Определения единиц SI представляют собой наивысший референтный уровень прослеживаемости измерений к международной системе единиц (SI, см. раздел 4.1), поэтому эталоны единиц и шкал измерений должны обеспечивать прослеживаемость измерений к SI. Практическая реализация различных шкал измерений (опор для сравнения) возможна в виде первичных референтных методик измерений (первичных методов измерений) (см. главу 5) или эталонов единиц и шкал измерений. Особенности реализации шкал измерений в виде эталонов отражены в табл. 9.1.

Таблица 9.1

Особенности воспроизведения (реализации) шкал

<table>
<tr><td rowspan="2">Особенности реализации шкалы</td><td colspan="5">Тип шкалы измерений</td></tr>
<tr><td>Наименований</td><td>Порядка</td><td>Разностей (интервалов)</td><td>Отношений</td><td>Абсолютные</td></tr>
<tr><td>Введение единиц измерений</td><td colspan="2">Принципиально невозможно ввести единицы измерений</td><td colspan="3">Есть возможность ввести единицы измерений</td></tr>
<tr><td>Необходимость эталона реализуемой шкалы</td><td colspan="2">Шкалы могут быть реализованы без специального технического эталонного устройства</td><td colspan="2">Большинство шкал может быть реализовано только посредством специального технического эталонного устройства</td><td>Шкалы могут быть реализованы без эталонов</td></tr>
<tr><td>Эталон должен воспроизводить (при его наличии)</td><td colspan="2">Весь используемый участок шкалы</td><td>Какую-либо часть или точку шкалы и условный нуль</td><td>Какую-либо часть или точку шкалы</td><td>Обязательные требования отсутствуют</td></tr>
</table>

Шкалы наименований и порядка могут быть реализованы и без специальных технических эталонных устройств (шкала-классификация Линнея, шкала запахов, шкала Бофорта), но если создание **эталонов** необходимо, то они воспроизводят весь применяемый на практике участок шкалы (пример – эталоны твердости). Внесение любых изменений в спецификацию, определяющую шкалу наименований или порядка, практически означает введение новой шкалы. Шкалы разностей и отношений (метрические шкалы), как правило, воспроизводятся эталонами. Эталоны этих шкал измерений могут воспроизводить одну точку шкалы, некоторый участок шкалы или текущее значение шкалы (эталон времени).

В нормативных документах по метрологии обычно рассматривают установление и воспроизведение только единиц измерений. На практике даже для величин, соответствующих основным единицам **Международной системы единиц** (секунда, кельвин, кандела и др.), эталоны хранят и воспроизводят шкалы (атомного и астрономического времени, практическую температурную шкалу МТШ-90, шкалы твёрдости и т.д.). При любом варианте построения эталонов поверочными схемами предусматривается воспроизведение всех необходимых для практики участков шкал. Абсолютные шкалы могут опираться на эталоны, воспроизводящие любые их участки (как эталоны метрических шкал), но могут воспроизводиться и без них (КПД, коэффициент усиления).

В VIM3 [6] используется термин *эталон* – реализация определения данной **величины** с установленным **значением величины** и связанной с ним **неопределенностью измерений**, используемая в качестве основы для сравнения. Реализация определения данной величины может обеспечиваться специальной экспериментальной **эталонной установкой**, **средством измерения** (или комплексом средств измерений)**, материальной мерой** или **стандартным образцом**. Метрологические характеристики эталона аналогичны метрологическим характеристикам средств измерений (например, характеристики точности и стабильности). Необходимо иметь в виду, что эталон предназначен воспроизводить и передавать размер единицы или шкалу, а не значение величины, равное принятой единице измерений. Передаваемый размер может соответствовать любой части этой единицы или любой точке шкалы. Чаще всего воспроизводимое эталоном значение величины отличается от размера единицы измерений и используется в качестве **опорного значения**. В отношении пропорциональных и аддитивных величин применяется термин **эталон единицы величины, эталон величины.** Конструкция эталона, его свойства и способ воспроизведения шкалы, размера единицы определяются природой измеряемого свойства (величины) и уровнем развития измерительной техники в данной области измерений.

Эталон используется как основа для сравнения при установлении **метрологической прослеживаемости** через **калибровку** других эталонов или **средств измерений.** Стандартная неопределенность измерений, связанная с использованием эталона, всегда является составляющей суммарной **стандартной неопределенности измерений** для **результата измерения**. Часто такая составляющая мала по сравнению с другими составляющими суммарной стандартной неопределенности измерений. Значение величины и неопределенность измерений должны определяться для времени использования эталона. Несколько величин одного или разного родов могут быть реализованы в одном устройстве, которое обычно также называют эталоном.

В науке и технике английское слово «*standard*» (стандарт) используют по крайней мере в двух различных значениях: как спецификация, техническая рекомендация или подобный нормативный документ (во французском языке слово «*norme*») и как измерительный эталон (во французском языке слово «*étalon*»). Термин «*measurement standard*» «(измерительный) эталон» иногда используют для обозначения других метрологических средств, например, «эталонное» программное обеспечение.

Эталон шкалы измерений – эталон, воспроизводящий всю шкалу или какую-либо часть шкалы измерений. Эталон может воспроизводить одну точку шкалы (одно фиксированное значение величины). В шкалах наименований и порядка эталоны обязательно воспроизводят весь практически используемый участок шкалы.

Воспроизведение шкалы измерений – совокупность операций, имеющих целью реализацию шкалы измерений (или ее участка) в соответствии с ее спецификацией.

Воспроизведение единицы (величины) – совокупность операций по реализации определения **единицы величины** или **шкалы измерений** с помощью **первичного эталона**. В VIM3 [6] рассматривают три процедуры воспроизведения единицы величины. Первая состоит в физической реализации определения **единицы измерения** (воспроизведение в буквальном смысле). Вторая процедура состоит в использовании высокостабильного эталона, основанного на физическом явлении, как, например, в случае использования стабилизированных по частоте лазеров при воспроизведении метра, эффекта Джозефсона для вольта, квантового эффекта Холла для ома. Третья процедура состоит в принятии **материальной меры** в качестве эталона.

Хранение единицы – совокупность операций, обеспечивающих неизменность во времени **размера единицы**, воспроизводимой, хранимой и передаваемой данным **эталоном**. Хранение единицы осуществляется при соблюдении обязательных требований к содержанию и применению эталона.

Передача единицы величины – приведение **размера величины**, хранимой **средством измерений**, к размеру **единицы величины**, воспроизводимой или хранимой **эталоном** данной единицы величины или **стандартным образцом,** осуществляемое при калибровке или поверке средства измерений. Нередко при поверке (калибровке) измеряют одну и ту же величину поверяемым средством измерения и эталоном с целью установления разности в их показаниях и введения поправки (в показание поверяемого средства измерений). Размер единицы передается «сверху вниз» в соответствии с числом ступеней передачи, установленным поверочной схемой.

П р и м е р . На основании сопоставления показаний высокоточного угломерного прибора с показаниями эталона вводят поправки в каждое оцифрованное деление поверяемого прибора.

Передача шкалы (измерений) – приведение шкалы (или ее участка), хранимой поверяемым (калибруемым) эталоном или средством измерений, в соответствие со шкалой, воспроизводимой или хранимой более точным (исходным) эталоном.

Хранение эталона*, содержание эталона* – совокупность операций, необходимых для обеспечения выполнения обязательных метрологических и технических требований к **эталонам**, а также требований к их содержанию и применению. Хранение эталона включает его регулярные исследования, в том числе **сличения** с **национальными эталонами** других стран, **калибровку** или **поверку** с целью подтверждения выполнения обязательных требований к **метрологическим характеристикам** и совершенствования методов **передачи единицы** или **шкалы измерений**. При этом должны обеспечиваться условия и правила содержания и применения эталона. Для руководства работами по содержанию первичных эталонов устанавливают специальную категорию должностных лиц – *ученых хранителей государственных первичных эталонов*, назначаемых из числа ведущих в данной области специалистов-метрологов.

Естественный эталон – **эталон**, основанный на присущих и воспроизводимых свойствах материального объекта или явления.

Прилагательное «естественный» не означает, что такой эталон может быть создан и использован без специального обслуживания или что такой эталон невосприимчив к внутренним и внешним влияниям.

П р и м е р ы : ячейка тройной точки воды как естественный эталон термодинамической температуры; естественный эталон разности электрических потенциалов, основанный на эффекте Джозефсона; естественный эталон электрического сопротивления, основанный на квантовом эффекте Холла.

Естественным **первичным эталоном** направлений в пространстве является реализация ICRF международной небесной опорной системы

координат ICRS – шкалы измерений направлений в пространстве, определенной в виде полярной (сферической) системы координат, ориентация которой в пространстве установлена согласованной совокупностью угловых координат удаленных (точечных) источников радиоизлучения космических объектов (пространственных реперов – направлений на квазары и другие удаленные космические объекты по ICRF). Спецификация ICRS определена в Соглашении Международной службы вращения Земли и систем координат (МСВЗ, 2003. Техн. запись МСВЗ. № 32; Conventions International Earth Rotation and Reference Systems Service, IERS. 2003. Technical Note IERS. № 32), содержащем каталог угловых координат квазаров (и других источников радиоизлучения) и порядок их уточнения. Более подробно – см. Приложение 1.

Первичный эталон – эталон, обеспечивающий **воспроизведение единицы** или **шкалы измерений** с наивысшей точностью и опорой на международную систему единиц (SI).

Процедура воспроизведения первичным эталоном единицы или шкалы измерений конкретной величины (конкретного свойства) не является ни **калибровкой**, ни **измерением** этой величины (этого свойства), так как возможность передачи размера единицы или значения по шкале появляется только после их воспроизведения. Основные метрологические характеристики (СКО и НСП воспроизведения) первичных эталонов оцениваются в результате экспериментальных и теоретических исследований процедуры воспроизведения. СКО оценивается экспериментально по результатам ряда воспроизведений. НСП оценивается теоретически путем учета неисключенных остатков влияния систематических факторов на всех этапах воспроизведения.

Методы воспроизведения разных шкал взаимосвязаны и опираются на воспроизведенные единицы SI. Первичные методы воспроизведения не являются измерительными процедурами (не могут быть измерительными) по определению.

Воспроизведение первичным эталоном единицы или шкалы измерений является экспериментом по реализации одного из возможных методов реализации определения единицы SI или шкалы измерений. Рекомендации по практической реализации определений некоторых единиц SI изложены в разделе 2.3.2 и Приложении 2 Брошюры SI (см. главу 4.1 настоящей книги). Теперь для воспроизведения единиц SI возможен выбор любого подходящего уравнения физики, связывающего определяющие константы с измеряемой величиной. Это гораздо более общий способ определения единиц измерения, не ограниченный современным состоянием науки или технологии. В указанном приложении описаны рекомендуемые в настоящее время первичные методы практической реализации определений основных и наиболее важных единиц SI.

Определения шкал наименований и порядка опираются на международную систему единиц (SI) путем выражения и нормирования в единицах SI всех количественных параметров (размеров, объёмов, массы, концентрации веществ и т.д.) применяемых в них элементов. При воспроизведении эталонами таких шкал измерений устанавливают и контролируют допустимые отклонения этих параметров. Нужно иметь в виду, что допустимые отклонения не являются погрешностями, и контролировать их необходимо с приемлемой неопределённостью измерений.

Для первичного эталона, воспроизводящего единицу в специфических условиях (высокие и сверхвысокие частоты, малые и большие энергии, давления, температуры, особые состояния вещества и т.п.) используют термин *первичный специальный эталон*.

Вторичный эталон – **эталон**, получающий **единицу величины** или **шкалу измерений** непосредственно от **первичного эталона** данной единицы или **шкалы**. К вторичным эталонам также относят эталоны-копии, рабочие эталоны и эталоны сравнения.

Эталон-копия – вторичный эталон, предназначенный для передачи шкалы или размера единицы рабочим эталонам и заменяющий в обоснованных случаях первичный эталон. Эталон-копия не всегда является физической копией первичного эталона.

Эталон сравнения – **эталон**, применяемый для **сличений эталонов**, которые по тем или иным причинам не могут быть непосредственно сличены друг с другом.

Рабочий эталон – **эталон**, предназначенный для **передачи единицы величины** или шкалы измерений **средствам измерений**. При необходимости рабочие эталоны подразделяют на разряды (1-й, 2-й, ..., -й). В этом случае передачу единицы или шкалы осуществляют через цепочку соподчиненных по разрядам рабочих эталонов. При этом от последнего рабочего эталона в этой цепочке единицу или шкалу передают средству измерений. Термин «рабочий эталон» заменил ранее использовавшийся термин «образцовое средство измерений» (ОСИ).

Калибратор – **эталон**, используемый при **калибровке** или **поверке**. Чаще всего калибратор представляет собой **однозначную меру** или **многозначную меру** (дискретную или непрерывную в некотором диапазоне).

Транспортируемый эталон – **эталон** (иногда специальной конструкции), предназначенный для его транспортирования к местам **поверки (калибровки) средств измерений** или **сличений эталонов** данной шкалы или единицы.

Исходный эталон – эталон, обладающий наивысшими метрологическими свойствами из имеющихся в данном виде измерений (в стране или группе стран, в регионе, министерстве (ведомстве), организации, предприятии или лаборатории), передающий **единицу величины** или

шкалу измерений подчиненным эталонам и имеющимся **средствам измерений**. В Российской Федерации дано такое же по смыслу, но другое определение (см. постановление Правительства от 21 октября 2019 г. № 1355 «О внесении изменений в Положение об эталонах единиц величин, используемых в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений»): ***Исходный эталон единицы величины*** – эталон единицы величины, обладающий наивысшими показателями точности среди эталонов единицы величины, который применяется в подведомственной организации федерального органа исполнительной власти, государственной корпорации, у юридического лица или индивидуального предпринимателя, от которого передаётся единица величины. **Государственные первичные эталоны** единиц величин (по определению) применяются в качестве исходных на территории Российской Федерации.

Эталоны, стоящие в **поверочной схеме (калибровочной иерархии)** ниже исходного эталона, обычно называют *подчиненными эталонами*. Исходным эталоном министерства (ведомства), организации или предприятия может быть вторичный (рабочий) эталон. Эталоны можно считать исходными даже при одной ступени передачи единицы величины (при отсутствии локальной поверочной схемы).

Национальный эталон – **эталон**, признанный национальными органами власти для использования в государстве или экономике в качестве исходного для страны. В качестве национального эталона может использоваться **вторичный** или **рабочий эталон**, прослеживаемый к национальному (первичному) эталону другой страны. В РФ данный термин по смыслу совпадает с понятием «**государственный первичный эталон**». Вследствие этого термин «*национальный эталон*» применяют в случаях проведения различного рода *сличений эталонов* (ключевых, региональных, дополнительных, двухсторонних, круговых и др.) с международным эталоном или национальными эталонами.

Государственный первичный эталон – первичный эталон, признанный решением уполномоченного на то государственного органа в качестве исходного на территории государства. В РФ эталон любого уровня точности, находящийся в федеральной собственности, называют ***государственным эталоном***.

Международный эталон – **эталон**, который признан всеми государствами, подписавшими международное соглашение, и предназначен для всего мира.

П р и м е р ы :

1. До 20.05.2019 г. международным эталоном был Международный прототип килограмма, хранимый в МБМВ, утвержденный 1-й

Генеральной конференцией по мерам и весам (ГКМВ) в качестве международного эталона.

2. Международным исходным (опорным) эталоном местоположений относительно Земли фактически является совокупность пространственных реперов (мер) местоположения на Земле – опорных станций (Международной земной отсчетной основы), установленных в ITRF с приписанными декартовыми координатами. ITRF является реализацией Международной земной системы координат ITRS. ГКМВ (24-е заседание, Резолюция 9, 2011 г.). ITRS, определенная Международным союзом геодезии и геофизики IUGG и реализуемая Международной службой вращения Земли и систем координат IERS, принята как единственная международная система координат для земных систем отсчета (координатных основ) во всех метрологических приложениях. Спецификация ITRS представлена в документе Международной службы вращения Земли (IERS) «IERS Conventions 2003», содержащем ссылку на каталог координат совокупности опорных международных станций на Земле (ITRF) и порядок их текущего уточнения. Более подробно – см. Приложение 1.

3. Хорионический гонадотропин, 4-й международный эталон Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) 1999 г., 75/589, 650 Международных Единиц в ампуле.

4. VSMOW2 (Vienna Standard Mean Ocean Water) – Венский эталон средней океанической воды, который распространяется Международным агентством по атомной энергии (МАГАТЭ), для дифференциальных измерений отношений количества вещества стабильных изотопов.

Одиночный эталон – эталон, в составе которого имеется одно средство измерений (мера, измерительный прибор, эталонная установка) для воспроизведения и (или) хранения шкалы или единицы измерений.

Групповой эталон – эталон, в состав которого входит совокупность средств измерений одного типа, номинального значения или диапазона измерений, применяемых совместно для повышения точности воспроизведения или хранения шкалы или единицы.

Примечание. Групповые эталоны подразделяют *на групповые эталоны постоянного* или *переменного составов.*

Эталонный набор – эталон, состоящий из совокупности средств измерений, позволяющих воспроизводить и (или) хранить единицу в диапазоне, представляющем объединение диапазонов указанных средств. Эталонные наборы создаются в тех случаях, когда необходимо охватить определенную область значений величины.

Пример. Эталонные разновесы (наборы эталонных гирь) и эталонные наборы ареометров.

Эталонная установка – используемая в составе первичного эталона совокупность функционально объединенных материальных

средств (технических устройств, средств измерений, средств сравнения, веществ), предназначенная для практического воспроизведения и (или) передачи размера единицы или шкалы измерений в установленных диапазонах и условиях. В эталоне может быть несколько эталонных установок.

Поверочная установка – установка, укомплектованная рабочими эталонами и предназначенная для поверки средств измерений и подчиненных рабочих эталонов.

Стандартный образец*, СО* – материал, достаточно однородный и стабильный в отношении определенных свойств для того, чтобы использовать его при **измерении** или при оценивании качественных (неразмерных) свойств в соответствии с предполагаемым назначением. Оценивание качественного свойства дает значение этого качественного свойства и соответствующую неопределенность. Такая неопределенность определяется специфически и не является общепринятой **неопределенностью измерений**.

Стандартные образцы с приписанными **значениями величины** или без них могут использоваться для контроля **прецизионности измерений**, тогда как для калибровки или контроля **правильности измерений** могут использоваться только стандартные образцы с приписанными значениями величины. Некоторые стандартные образцы могут иметь приписанные значения величины, которые являются метрологически прослеживаемыми к **внесистемной единице измерения**. К таким образцам относятся вакцины, которым Всемирной организацией здравоохранения приписываются Международные Единицы (МЕ). Один и тот же стандартный образец не может использоваться и для калибровки, и для **контроля точности результатов измерений** применительно к одной и той же **измерительной системе**.

Аттестованный стандартный образец*, АСО, сертифицированный стандартный образец, ССО* – **стандартный образец** с сопроводительной документацией, выданной авторитетным органом, в которой указано одно или более значений определенного свойства с соответствующими показателями точности (**неопределенностями**) измерений и **прослеживаемостью**, которые установлены с использованием обоснованных процедур. В этом определении «неопределенность» охватывает и «неопределенность измерений», и «неопределенность, связанную со значением качественного свойства», такую как неопределенность для идентичности и последовательности. «Прослеживаемость» охватывает и «метрологическую прослеживаемость значения величины» и «прослеживаемость значения качественного свойства».

П р и м е р . Сыворотка крови человека с приписанным значением концентрации холестерина и соответствующей неопределенностью изме-

рений, указанными в сопроводительном сертификате, которая используется как калибратор или образец для контроля правильности измерений.

Коммутативность стандартного образца – свойство **стандартного образца**, характеризующееся близостью соотношения между **результатами измерений** определенной **величины** для этого образца, полученными по двум данным **методикам измерений**, к такому же соотношению результатов, полученных для других определенных образцов. Стандартный образец, о котором идет речь, обычно является **калибратором**, а другие образцы – рутинными пробами. Методики измерений, упомянутые в определении, являются предшествующей и последующей методиками для стандартного образца (калибратора) в **калибровочной иерархии** (ISO 17511 [5]). Стабильность коммутативных стандартных образцов следует регулярно контролировать.

Справочные данные – данные, относящиеся к свойству материального объекта или явления, или к системе компонентов известного состава или структуры, полученные из идентифицированного источника, критически оцененные и обоснованные по точности.

П р и м е р . Справочные данные по растворимости химических соединений, публикуемые IUPAC. В этом определении точность охватывает, например, **точность измерений** и точность значения качественного свойства.

Стандартные справочные данные – **справочные данные**, опубликованные признанной авторитетной организацией.

П р и м е р ы :

1. Значения фундаментальных физических констант (ФФК), которые регулярно оцениваются и публикуются ICSU CODATA. В Российской Федерации значения ФФК с показателями точности опубликованы Государственной службой стандартных справочных данных в ГСССД 237-2008 Таблицы стандартных справочных данных. Фундаментальные физические константы. Скорость света в вакууме, магнитная постоянная, электрическая постоянная и характеристический импеданс вакуума являются известными точно (не имеющими погрешности) универсальными константами.

2. Значения относительных атомных масс (называемые также значениями атомных весов) элементов, которые оцениваются каждые два года IUPAC-CIAAW на Генеральной ассамблее IUPAC и публикуются в Pure Appl. Chem или в J. Phys. Chem. Ref. Data.

Эталонная база страны, *эталонная база* – совокупность государственных первичных и вторичных эталонов, являющаяся основой обеспечения единства измерений в стране.

Число эталонов не является постоянным, а изменяется в зависимости от потребностей экономики страны. Обычно наблюдается

увеличение их числа во времени, что обусловлено постоянным развитием парка средств измерений. В настоящее время в составе эталонной базы РФ более 160 государственных первичных (национальных) эталонов и более 100 тысяч аттестованных вторичных и рабочих эталонов различного уровня точности.

Процедура аттестации эталонов и порядок ее выполнения установлены:

• постановлением Правительства РФ от 23 сентября 2010 г. № 734 «Об эталонах единиц величин, используемых в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений»;

• постановлением Правительства Российской Федерации от 21 октября 2019 г. № 1355 «О внесении изменений в Положение об эталонах единиц величин, используемых в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений» (ранее постановлением Правительства Российской Федерации от 23 сентября 2010 г. № 734);

• приказом Минпромторга России от 11 февраля 2020 г. № 456 «Об утверждении требований к содержанию и построению государственных поверочных схем и локальных поверочных схем, в том числе к их разработке, утверждению и изменению, требований к оформлению материалов первичной аттестации и периодической аттестации эталонов единиц величин, используемых в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений, формы свидетельства об аттестации эталона единицы величины, формы извещения о непригодности эталона единицы величины, требований к оформлению правил содержания и применения эталона единицы величины».

Средства поверки – обобщенное понятие, охватывающее эталоны, поверочные установки, стандартные образцы и другие средства измерений, применяемые при поверке в соответствии с установленными правилами.

Ученый хранитель государственного эталона, *ученый хранитель* – должностное лицо государственного научного метрологического института, несущее ответственность за правильное хранение и применение государственного первичного эталона и его совершенствование [1, 2, 24–27, 29].

10. МЕТРОЛОГИЧЕСКАЯ ПРОСЛЕЖИВАЕМОСТЬ

***Единство измерений**, ЕИ* – состояние **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.

Метрологическая прослеживаемость – свойство **результата** измерения, в соответствии с которым результат может быть соотнесен с основой для сравнения через документированную непрерывную цепь **калибровок**, каждая из которых вносит вклад в **неопределенность измерений.** В этом определении (РМГ 29-2013, п. 9.2) основой для сравнения может быть практическая реализация определения **единицы измерений** или **шкалы измерений** в виде **методики измерений** или **эталона** (см. главы 4.1, 5 и 9). Метрологическая прослеживаемость требует наличия установленной **калибровочной иерархии** и/или **поверочной схемы**. Описание основы для сравнения должно включать время, в которое она была использована в данной калибровочной иерархии вместе с любой другой существенной метрологической **информацией**, например, о том, когда была выполнена первая калибровка в калибровочной иерархии. Для измерений с более чем одной **входной величиной в модели измерений** каждое из **значений** входных величин должно само быть метрологически прослеживаемо, а калибровочная иерархия может иметь форму разветвленной структуры или сети. Усилия, связанные с установлением метрологической прослеживаемости для каждого значения входной величины, должны быть соизмеримы с ее относительным вкладом в результат измерения. Метрологическая прослеживаемость результата измерения не гарантирует, что показатель точности (неопределенность) измерений соответствует заданной цели или что отсутствуют ошибки.

Сличение между двумя эталонами может рассматриваться как калибровка, если это сличение используется для проверки и при необходимости для корректировки значения величины, показателей точности (неопределенности) измерений при калибровке, приписываемых одному из эталонов. Для подтверждения метрологической прослеживаемости ILAC (the International Laboratory Accreditation Cooperation – Международное сотрудничество по аккредитации лабораторий) рассматривает следующие элементы: непрерывная цепь метрологической прослеживаемости к **международным эталонам** или **национальным эталонам**, документированная неопределенность измерений, документированная методика измерений, аккредитация на техническую компетентность, метрологическая прослеживаемость к SI и

интервалы между калибровками. Совместная Декларация МБМВ, МОЗМ, ИЛАК и ИСО о метрологической прослеживаемости представлена в Приложении 4.

Сокращенный термин «прослеживаемость» иногда используют для обозначения метрологической прослеживаемости, а также и для других понятий, таких как *прослеживаемость пробы* (sample traceability), *прослеживаемость документа* (document traceability), *прослеживаемость прибора* (instrument traceability) или *прослеживаемость материала* (material traceability), где частью слова является корень «слеж» от слова «след». Вследствие этого предпочтительнее использовать полный термин «метрологическая прослеживаемость», если существует какой-либо риск путаницы.

По Федеральному закону РФ от 26.06.2008 № 102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений» (статья 2) ***прослеживаемость*** **–** свойство эталона, средства измерений или результата измерений, заключающееся в документально подтвержденном установлении их связи с государственным первичным эталоном или национальным первичным эталоном иностранного государства соответствующей единицы величины посредством сличения эталонов единиц величин, поверки, калибровки средств измерений.

Нужно иметь в виду, что с 20 мая 2019 г. действует новое определение Международной системы единиц (SI), утверждённое на 26-м заседании ГКМВ (Резолюцией 1). В обновлённой SI изменилась роль основных единиц (см. главу 4.1). При этом появилась возможность дополнительных вариантов метрологической прослеживаемости к единицам SI. Поэтому требуется уточнение смысла принятых ранее определений понятия «метрологическая прослеживаемость» через введение обобщенного понятия «практическая основа для сравнения».

Практическая основа для сравнения (свойств, величин) – практическая реализация установленного определения единицы измерений или шкалы измерений с опорой на международную систему единиц (SI) и учетом особенностей их спецификаций.

Определения единиц SI представляют собой наивысший референтный уровень прослеживаемости измерений к международной системе единиц (SI, см. раздел 4.1). Практическая реализация определений различных шкал измерений (опор для сравнения) возможна в виде первичных референтных методик измерений (первичных методов измерений) (см. главу 5) или эталонов единиц и шкал измерений (см. главу 9). На основе этих положений получается следующее общее определений:

Метрологическая прослеживаемость – свойство **результата измерения**, в соответствии с которым результат может быть соотнесён с практической основой для сравнения в виде первичной (референтной)

методики измерений (первичного метода измерений) или первичного эталона единицы или шкалы измерений.

Соотнесение результата измерения с практической основой для сравнения осуществляется непрерывной цепью калибровок, каждая из которых вносит вклад в неопределённость результата измерения.

Фактически первичными эталонами обеспечивается метрологическая прослеживаемость только порядка двухсот измеряемых свойств (величин). Метрологическая прослеживаемость множества (тысяч) других измеряемых свойств (величин) фактически осуществляется без первичных эталонов путём реализации общепринятых методов и методик измерений различного статуса (рядовых, референтных, первичных). Многие из таких методов и методик измерений, стандартизованных в виде ГОСТ и ГОСТ Р (см. главу 7 в [2]), содержат опирающиеся на SI положения, совокупность которых определяет измеряемые свойства (величины) и соответствующие им шкалы измерений.

Особенности **метрологической прослеживаемости координатно-временных измерений отражены в Приложении 1.**

Метрологическая сопоставимость (результатов измерений) – сопоставимость **результатов измерений** для **величин** данного **рода**, которые метрологически прослеживаются к одной и той же основе для сравнения. Метрологическая сопоставимость результатов измерений не требует, чтобы сравниваемые **измеренные значения величины** и соответствующие **неопределенности (погрешности) измерений** были одного порядка.

П р и м е р . Результаты измерений расстояний от Земли до Луны и от Парижа до Лондона метрологически сопоставимы, если они оба метрологически прослеживаются к одной и той же единице измерения, например, метру.

Метрологическая прослеживаемость к единице (измерения) – **метрологическая прослеживаемость**, когда основой для сравнения является практическая реализация определения **единицы измерения**. Выражение «прослеживаемость к SI» означает «метрологическую прослеживаемость к любой единице измерения **Международной системы единиц (SI)»**.

Сличение эталонов – установление соотношения между размерами единицы или значениями по шкале измерений, воспроизводимыми и передаваемыми сравниваемыми эталонами одного уровня точности. В Федеральном законе РФ [3, ст. 2] дано другое определение: ***Сличение эталонов единиц величин*** – совокупность операций, устанавливающих соотношение между единицами величин, воспроизводимых эталонами единиц величин одного уровня точности и в одинаковых условиях.

Сличения национальных эталонов. Результаты измерений на эталонах, выполняемых при сличении в соответствии с Соглашением (Приложение 2), должны представляться с подробными сведениями об оценке неопределённости. Указанные в паспортах на национальные (государственные) эталоны нормы на границы составляющих погрешностей эталонов по ГОСТ 8.381 [28] при этом используются для оценки неопределенности измерений по процедуре сличения.

Калибровочные и измерительные возможности национальных метрологических институтов по Соглашению (Приложение 2) представляются с указанием неопределенности результатов измерений и коэффициента охвата. При этом обязательно приводятся сведения о прослеживаемости передачи соответствующей шкалы измерений или размера единицы измерений (сведения об обеспечении единства измерений – traceability).

Калибровка (средств измерений) – совокупность операций, устанавливающих соотношение между **значением величины (свойства)**, полученным с помощью данного **средства измерений** и соответствующим **значением величины (свойства)**, определенным с помощью эталона с целью определения действительных значений **метрологических характеристик** этого **средства измерений**.

Характеристикой точности калибровки может быть только неопределённость измерений в процессе калибровки. Необходимо иметь в виду отличие смысла терминов «**калибровка**» и «**поверка**» (*verification* – подтверждение соответствия). Калибровка не является процедурой подтверждения соответствия (Резолюция 11, 22-я ГКМВ, 2003 г.).

Примером метрологической характеристики является **диаграмма калибровки**, несущая информацию об **инструментальной неопределённости** измерений. При калибровке могут быть определены и другие метрологические характеристики средств измерений. Результаты **калибровки** позволяют определить **значения измеряемой величины (свойства)** по показаниям средства измерений или **поправки** к его **показаниям** или оценить погрешность этих средств.

В VIM3 [6] термин «*калибровка*» определён как операция, в ходе которой при заданных условиях на первом этапе устанавливают соотношение между значениями величин с **неопределённостями измерений**, которые обеспечивают **эталоны**, и соответствующими показаниями с присущими им неопределённостями, а на втором этапе на основе этой информации устанавливают соотношение, позволяющее получать **результат измерения**, исходя из показания.

Средства измерений, не предназначенные для применения в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений, калибруются в добровольном порядке. Калибровка средств измерений

выполняется с использованием эталонов, **прослеживаемых** к первичным эталонам соответствующих единиц величин или шкал измерений, а при отсутствии соответствующих первичных эталонов – к единицам SI путем реализации определений этих единиц величин или шкал измерений. Выполняющие калибровку средств измерений юридические лица и индивидуальные предприниматели в добровольном порядке могут быть аккредитованы в области обеспечения единства измерений. Результаты калибровки средств измерений, выполненной аккредитованными в установленном порядке в области обеспечения единства измерений юридическими лицами или индивидуальными предпринимателями, могут быть использованы при поверке средств измерений в порядке, установленном постановлением Правительства РФ от 2 апреля 2015 г. № 311. Результаты калибровки средств измерений удостоверяются *к*алибровочным клеймом, наносимым на средства измерений, или сертификатом о калибровке, а также записью в эксплуатационных документах. Сертификат о калибровке представляет собой документ, удостоверяющий факт и результаты калибровки средства измерений, который выдаётся организацией, осуществляющей калибровку.

Диаграмма калибровки – графическое выражение соотношения между **показанием** и соответствующим **результатом измерения.** Диаграмма калибровки является полосой на схеме, определяемой осью показаний и осью **результатов измерений**, и представляет соотношение между показанием и набором **измеренных значений величины**. Она соответствует отношению «один–множество», а ширина полосы для данного показания даёт **инструментальную неопределённость.** Альтернативное представление этого соотношения включает **калибровочную кривую** и связанную с ней **неопределённость измерений**, представляемую в виде таблицы или функции.

Калибровочная кривая*, калибровочная функция* – выражение соотношения между **показанием** и соответствующим **измеренным значением величины.** Калибровочная кривая выражает взаимно однозначное соотношение, недостаточное для представления **результата измерения**, так как калибровочная кривая не несёт информации о показателях точности её определения.

Поверка (средств измерений) – установление официально уполномоченным органом пригодности **средства измерений** к применению на основании экспериментально определяемых **метрологических характеристик** и подтверждения их соответствия установленным обязательным требованиям.

Порядок проведения поверки в Российской Федерации изложен в главе 12.

Рекомендации к использованию понятия «неопределённость измерений» при поверке содержатся в МИ 3620-2019 [49] и РМГ 91-2019 [31] (см. Приложение 5).

В VIM3 [6] используется термин «*верификация*» – предоставление объективных свидетельств того, что данный объект полностью удовлетворяет установленным требованиям. Объектом верификации может быть, например, процесс, **методика измерений**, материал, вещество или средство измерения. Термины «поверка средства измерения» и «верификация» применительно к средству измерения являются синонимами.

Погрешность воспроизведения шкалы – погрешность результатов измерений, выполняемых при воспроизведении точек шкалы.

Неопределенность воспроизведения шкалы – неопределённость результатов измерений, выполняемых при воспроизведении точек шкалы метрологической прослеживаемости координатно-временных измерений отражены в Приложении 1.

Погрешность воспроизведения (единицы величины) – разность между **значением величины**, воспроизводимым **эталоном** и **опорным (действительным) значением величины**. Теоретическое понятие погрешность воспроизведения единицы величины для нормирования точности эталонов не применяется. Принято для эталонов устанавливать показатели точности воспроизводимых ими одной или ряда величин, возможно, отличных от единицы. Погрешность воспроизведения единицы при помощи государственных первичных эталонов обычно указывают в виде допустимых границ её составляющих: не исключённой систематической погрешности (НСП), среднего квадратического отклонения случайной составляющей погрешности (СКО), нестабильности за год. Возможно применение относительных значений НСП и СКО.

Погрешность передачи шкалы – погрешность результатов измерений, выполняемых при передаче точек шкалы.

Погрешность передачи (размера) единицы (величины) – **погрешность измерений** при **передаче единицы величины**, включающая **погрешности метода передачи единицы величины** и **эталона**, от которого осуществляется передача, а также **случайные погрешности** эталона (**средства измерений**), которому осуществляется передача единицы величины.

Неопределённость передачи шкалы – неопределённость результатов измерений, выполняемых при передаче точек шкалы.

Погрешность метода передачи единицы величины*, погрешность метода поверки, погрешность метода калибровки* – составляющая **погрешности измерений** при **передаче единицы величины**, обусловленная несовершенством применяемого метода поверки или калибровки.

Цепь метрологической прослеживаемости – последовательность **эталонов** и **калибровок (поверок)**, которые используются для соотнесения **результата измерения** с основой для сравнения. Цепь метрологической прослеживаемости определяется через **калибровочную иерархию** или **поверочную схему** и используется для установления **метрологической прослеживаемости результата измерения**.

Калибровочная иерархия – последовательность **калибровок**, начиная от основы для сравнения и кончая **средством измерения**, причем в этой последовательности результат каждой калибровки зависит от результата предыдущей калибровки. **Неопределённости измерений** неизбежно возрастают с увеличением числа калибровок при передаче единицы величины или шкалы. Элементами калибровочной иерархии являются один или более эталонов и средств измерений. Для этого определения основой для сравнения может быть определение **единицы или шкалы измерения** через ее практическую реализацию или методика измерений, или эталон.

Поверочная схема – иерархическая структура, устанавливающая соподчинение **эталонов**, участвующих в **передаче единицы** или **шкалы измерений** от исходного эталона **средствам измерений** (с указанием методов и **погрешностей** при передаче), утверждаемая в установленном порядке в виде нормативного документа (РМГ 29-2013, п. 9.15 [7]). Различают государственные, локальные и межгосударственные поверочные схемы. Поверочная схема может быть использована для установления **метрологической прослеживаемости результатов измерений**.

Государственная поверочная схема – поверочная схема, распространяющаяся на все средства измерений данного свойства (величины), имеющиеся в стране, и утверждаемая в качестве нормативного документа национальным органом по метрологии.

Требования к содержанию и построению государственных поверочных схем (ГПС) и локальных поверочных схем, в том числе к их разработке, утверждению и изменению утверждены Приказом Минпромторга РФ от 11 февраля 2020 г. № 456. До этого приказа при построении и оформлении государственных и локальных поверочных схем традиционно руководствовались ГОСТ 8.061-80 [30]. ГПС утверждались в виде межгосударственных или национальных стандартов (ГОСТ, ГОСТ Р). По установленным указанным приказом № 456 требованиям ГПС утверждаются Росстандартом в виде документа, состоящего из чертежа поверочной схемы и текстовой части. Чертёж ГПС должен состоять из расположенных вертикально полей со следующими наименованиями:

- «Государственный первичный эталон» («Государственные первичные эталоны»);
- «Вторичные эталоны»;

• «Рабочие эталоны»;

• «Средства измерений».

Возможно при необходимости дополнительное поле «Эталоны, заимствованные из других государственных поверочных схем».

Локальная поверочная схема – **поверочная схема**, распространяющаяся на **эталоны** и **средства измерений** данного свойства (величины), применяемые в регионе, отрасли, ведомстве или на отдельном предприятии (в организации), и утверждаемая в качестве нормативного документа организацией (учреждением, подразделением – для отдельного предприятия), отвечающей за обеспечение **единства измерений.** В Российской Федерации дано такое же по смыслу, но другое определение (см. постановление Правительства от 21 октября 2019 г. № 1355 «О внесении изменений в Положение об эталонах единиц величин, используемых в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений»): ***Локальная поверочная схема*** – документ, устанавливающий порядок передачи единицы величины от исходного эталона единицы величины эталонам единицы величины, имеющим более низкие показатели точности, и средствам измерений. Чертёж локальной поверочной схемы (ЛПС) должен состоять из расположенных вертикально полей со следующими наименованиями:

• «Исходный эталон»;

• «Рабочие эталоны»;

• «Средства измерений».

При прослеживаемости средств измерений к исходным эталонам разных единиц величин ЛПС для данных единиц величин объединяются в одну ЛПС. В ЛПС может и должно быть не менее двух ступеней передачи единицы величины или шкалы измерений; при одной ступени передачи (поверке средств измерений) оформление ЛПС бессмысленно.

Межгосударственная поверочная схема – поверочная схема, распространяющаяся на средства измерений данного свойства (величины), применяемые (и поверяемые) в заинтересованных странах, и утверждаемая в качестве межгосударственного нормативного документа.

Аттестация методик измерений – исследование и подтверждение соответствия **методик измерений** установленным метрологическим требованиям к **измерениям**, включая метрологическую прослеживаемость.

В VIM3 [6] используется термин «*валидация*» – верификация, при которой установленные требования связаны с предполагаемым использованием. Валидации подвергаются методики измерений при необходимости проверки установленных к ним требований в соответствии с предполагаемым их использованием.

Порядок аттестации методик измерений установлен приказом Минпромторга РФ от 15 декабря 2015 г. № 4091.

Первичная поверка (средств измерений) – **поверка**, выполняемая при выпуске **средства измерений** из производства или после ремонта, а также при ввозе средства измерений из-за границы.

Периодическая поверка (средств измерений) – **поверка средств измерений**, находящихся в эксплуатации или на хранении, выполняемая через установленные интервалы времени между поверками (межповерочные интервалы).

Примечание. Межповерочные интервалы устанавливаются при утверждении типа средства измерений в зависимости от его долговременной **стабильности** и могут иметь длительность от нескольких месяцев до нескольких лет.

Внеочередная поверка (средств измерений) – **поверка средства измерений**, проводимая до наступления срока его очередной **периодической поверки.**

Примечание. Необходимость внеочередной поверки может возникнуть вследствие разных причин: ухудшение метрологических свойств средства измерений или подозрение в этом, нарушение условий эксплуатации, нарушение поверительного клейма и др.

Инспекционная поверка (средств измерений) – **поверка**, проводимая официально уполномоченным органом при проведении государственного метрологического надзора (контроля) за состоянием и применением **средств измерений**.

Комплектная поверка (средств измерений) – **поверка**, при которой определяют **метрологические характеристики средства измерений**, присущие ему как единому целому.

Поэлементная поверка (средств измерений) – **поверка,** при которой значения **метрологических характеристик средств измерений** устанавливаются по метрологическим характеристикам его элементов или частей.

Примечание. Поэлементную поверку обычно проводят для **средств измерений, измерительных систем** или **измерительных установок**, когда неосуществима комплектная поверка.

Выборочная поверка (средств измерений) – **поверка** группы **средств измерений**, отобранных из партии случайным образом, по результатам которой судят о пригодности всей партии.

Метрологическая экспертиза документации*, конструкторская МЭ, технологическая МЭ* – анализ и оценивание экспертами-метрологами правильности применения метрологических требований, правил и норм, в первую очередь связанных с **единством измерений.**

11. СПЕЦИФИКАЦИИ ШКАЛ ИЗМЕРЕНИЙ

Особенности воспроизведения и передачи неметрических шкал измерений

Реализация неметрических шкал порядка и наименований осуществляется путем максимально точного воплощения в соответствующих средствах измерений спецификаций (определений) этих шкал. Здесь имеется в виду то, что спецификация конкретной шкалы содержит сведения, необходимые для воспроизведения шкалы во всем практическом диапазоне измерений и изготовления соответствующих устройств, образцов, веществ, достаточно идентичных по принципу действия и техническим параметрам. При этом для обеспечения единства измерений параметры задаются с допустимыми отклонениями в узаконенных единицах измерений. Например, при реализации шкал твердости фигурируют параметры размеров, формы и массы инденторов, силы и длительности надавливания на инденторы, глубина погружения индентора или размеры его отпечатков на объектах измерений и др. Более полный обзор шкал измерений был опубликован в книге [2, гл. 7].

Календари

Юлианский солнечный календарь. Начало отсчета – от Рождества Христова. Начало года – 1 января. Продолжительность обычного года 365 суток, високосного (каждого четвертого года, две последние цифры которого образуют число, делящееся на 4) – 366 суток. Средняя продолжительность года равна 365 суткам и 6 часам, а тропического года (года обращения Земли вокруг Солнца) равна в среднем 365 суткам, 5 часам, 48 минутам и 46,1 секундам. Средний юлианский год длиннее тропического на 11 минут 13,9 секунды, т.е. отстает от тропического на 1 сутки за 128 лет и 68 дней. В XX веке это отставание составило 13 суток. Счет по юлианскому календарю называют «старым стилем».

Григорианский солнечный календарь («новый стиль»), которым сейчас пользуются в большинстве стран мира. Отличается от юлианского только тем, что годы столетий, за исключением тех, у которых число, образующееся при мысленном зачеркивании двух последних нулей, делится на четыре, не являются високосными. Т.е. годы 1700, 1800, 1900, 2100 – простые, 1600 и 2000 – високосные. Продолжительность среднего года в григорианском календаре больше тропического на 26 с; погрешность в 1 сутки накапливается, примерно, за 2800 лет. Даты юлианского календаря переводятся в григорианские прибавлением n дней по формуле: $n = C - (C_1/4) - 2$, где C – число полных прошедших столетий, C_1 – ближайшее меньшее число столетий, кратное четырем.

Поправка действует с 1 марта первого года по 29 февраля сотого года столетия по старому стилю. При переходе со «старого стиля» на «новый» день недели сохраняется. В России григорианский календарь был введен декретом СНК РСФСР от 25 января 1918 г. «О введении западноевропейского календаря». Первый день после 31 января 1918 г. было предписано считать 14 февраля.

Мусульманский лунный календарь. Счет лет ведется от «хиджры» – переселения пророка Мухаммеда и его сподвижников из Мекки в Ясриб (Медину). Дата этого события приходится на 16 июня 622 г. по юлианскому календарю. В году 12 лунных месяцев, содержащих поочередно по 29 суток (пустые месяцы) и по 30 суток (полные месяцы). Начало каждого месяца должно по возможности совпадать с появлением на западе узкого серпа молодой Луны. Длительность года – 354 суток, т.е. он в среднем короче тропического на 11 суток. Для того, чтобы фазы Луны приходились на одни и те же числа месяцев, вводятся високосные годы с одним добавочным днем.

Формы представления дат

Как и в каком порядке правильно писать день, месяц и год в дате? В ГОСТ 8.567-2014 [32] установлены термины (момент времени, интервал времени, начальный момент времени, шкала времени, календарь, дата, Всемирное время, атомное время, координированные шкалы времени, часовой пояс и т.д.), относящиеся к области измерений времени и частоты. В частности, установлены следующие термины:

Календарный день – форма представления порядкового номера суток в соответствии с установленными для данного календаря правилами. Символьное выражение календарного дня состоит из порядкового номера текущего года от начала летоисчисления, порядкового номера текущего месяца и порядкового номера текущих от начала месяца суток.

Примечание. Представление дат и времени выполняют в соответствии с ГОСТ ИСО 8601.

Календарная дата – форма представления момента времени в соответствии с установленной для данного календаря правилами. Календарная дата состоит из указания момента времени относительно начала суток, обозначения шкалы времени (если необходимо), календарного дня.

Юлианская дата, *JD* – форма представления момента времени, ведущая отсчет в сутках от начального момента, соответствующего 12 ч 1 января 4713 г. до новой эры по Юлианскому календарю.

Различные принятые формы представления дат установлены в других специализированных стандартах. В ГОСТ Р 6.30-2003, распространяющемся на организационно-распорядительные документы (постановления, распоряжения, приказы, решения, протоколы, акты,

письма и др.), даны следующие формы датирования документов: «*Дата документа оформляется арабскими цифрами в следующей последовательности: день месяца, месяц, год. День месяца и месяц оформляются двумя парами арабских цифр, разделенными точкой; год – четырьмя арабскими цифрами. Например, дату 5 января 2000 г. следует оформлять: 05.01.2000. Допускается словесно-цифровой способ оформления даты, например: 5 января 2000 г., а также оформление даты в следующей последовательности: год, месяц, день месяца, например: 2000.01.05*». При этом сказано, что «*датой документа является дата его подписания или утверждения, для протокола – дата заседания (принятия решения), для акта – дата события*».

В ГОСТ ИСО 8601-2001 установлены общие требования к числовому представлению дат и времени дня в научно-технических документах в автоматизированных системах. **Эти требования распространяются на автоматизированные системы научно-технической информации для представления дат в электронном виде.** Этим стандартом установлены форматы представления: календарной даты, выражаемой годом, месяцем и днем месяца; порядковой даты, выражаемой годом и номером дня в году; порядковой даты, выражаемой годом, номером недели в году и номером дня недели; времени дня, исчисляемого по 24-часовой системе времени, выражаемого часами, минутами и секундами; разности поясного и Всемирного времени; совместного обозначения календарной даты и времени дня; периода времени.

Элементы даты и времени дня должны быть приведены в одной строке арабскими цифрами без пробелов. Предусмотрен расширенный формат с использованием разделителей: дефис (-) – для элементов дат; двоеточие (:) – для элементов времени дня; косая черта (/) – для разделения в представлении периода времени. Возможно также представление даты с уменьшенной точностью (опускается день месяца) и сокращенный формат. При совместном представлении даты и времени дня между ними ставится указатель «Т». В стандарте имеются подробные инструкции с примерами для однозначного представления и понимания различных форматов дат, времени дня, периодов времени и др.

Геодезические шкалы измерений

Геодезические координаты (трехмерная шкала местоположения точки на поверхности Земли) – совокупность трех величин, две из которых являются углами, характеризующими направление нормали к поверхности земного эллипсоида в данной точке пространства относительно плоскостей его экватора и начального меридиана, а третья является высотой точки над поверхностью земного эллипсоида, который

характеризует фигуру и размеры Земли. Эти величины имеют названия: *географическая широта, долгота и высота.*

Астрономические координаты – астрономическая широта и долгота – характеризуют направление отвесной линии в данной точке пространства относительно плоскости, перпендикулярной к оси вращения Земли, и плоскости начального астрономического меридиана. Пользуются также понятием «*географические координаты*» – обобщенное понятие об астрономических и геодезических координатах, когда не учитывают уклонения отвесных линий – углы между отвесными линиями и нормалями к поверхности земного эллипсоида в конкретных точках. *Геоцентрические координаты – геоцентрическая широта и долгота* – определяют положение точки в системе координат, у которой начало совпадает с центром масс Земли.

Плоские прямоугольные геодезические координаты – прямоугольные координаты на плоскости, на которую отображена по определенному математическому закону поверхность земного эллипсоида. *Топоцентрические координаты* – координаты, началом отсчета которых является точка местности. *Горизонтальные координаты* – топоцентрические координаты, одной из осей системы которых является отвесная линия или нормаль к поверхности земного эллипсоида.

Реализация геодезических измерений в перечисленных шкалах осуществляется с использованием *геодезической сети* – совокупности обозначенных точек земной поверхности (геодезических пунктов и знаков – мер местоположения), положение которых определено в общей для них системе геодезических координат. Государственная геодезическая сеть по метрологической функции является своеобразным распределенным национальным эталоном для обеспечения единства геодезических измерений. Кроме того, в последние десятилетия получили широкое развитие геодезические координатные и навигационные измерения с использованием глобальных спутниковых систем и большого ассортимента соответствующей приемной аппаратуры, располагаемой в месте измерения координат (ГОСТ Р 8.699-2010, ГОСТ Р 8.739-2011, Р 50.2.079-2011, ГОСТ 8.750-2011 [33–36]). Координатные измерения нельзя считать просто традиционными линейно-угловыми измерениями.

В октябре 2011 г. XXIV Генеральной конференцией мер и весов (ГКМВ) принята Резолюция 9, в которой рекомендуется Международную земную систему координат (International Terrestrial Reference System, ITRS), определенную Международным союзом геодезии и геофизики (IUGG) и реализованную Международной службой вращения Земли и систем координат (IERS), принимать как единственную международную систему координат для земных систем отсчета (координатных основ) во всех метрологических приложениях. Это решение ГКМВ, по существу,

открывает новый этап в международном сотрудничестве в области метрологии и требует изменения и дополнения ряда основных положений законодательной метрологии (Приложение 1).

Шкалы измерений твердости материалов

Твердость есть особое свойство, которым в различной степени обладают реальные твердые тела и которое проявляется в их способности оказывать сопротивление упругому и пластическому деформированию поверхности тела или отрыву частиц вещества с поверхности, или одновременной комбинации из этих трех действий. Все шкалы твердости являются шкалами порядка. Методы измерения твердости делятся на две группы: определения твердости образца по размерам царапины на его поверхности и определения твердости по размеру вмятины на его поверхности.

К первой группе, не связанной с применением технических средств, относятся шкалы относительной твердости минералов Мооса, Брейтгаупта, Хрущева. В этих шкалах эталонными мерами служат сами обозначенные в спецификации шкал минералы. Процедура определения твердости в баллах сводится к нахождению пары известных (табл. 11.1) минералов, один из которых царапает исследуемый минерал, а другой – им царапается. Эти шкалы, несмотря на невысокую точность, удобны для предварительной оценки твердости различных минералов непосредственно в полевых условиях, в геологоразведке.

Таблица 11.1

Минералы	Показатели твердости по:		
	Моосу	Брейтгаупту	Хрущеву
Тальк	1	1	0,9
Гипс	2	2	2,3
Слюда	–	3	–
Известковый шпат	3	4	3,3
Плавиковый шпат (флюрит)	4	5	4,0
Апатит	5	6	5,7
Роговая обманка	–	7	–
Полевой шпат	6	8	6,5
Кварц	7	9	7,3
Топаз	8	10	7,9
Корунд	9	11	8,9
Алмаз	10	12	15,1

Ко второй группе относятся широко применяемые в технике шкалы, основанные либо на внедрении в испытуемый материал стандартного

индентора, либо на царапании его поверхности стандартным наконечником, либо на использовании упругих свойств материала. Наиболее распространенные шкалы твердости основаны на измерении геометрических размеров (диаметра, диагонали, глубины) отпечатка индентора, полученного под воздействием определенной нагрузки. Это шкалы Бринелля, Виккерса и Роквелла.

Твердость по Бринеллю определяют по измерению диаметра отпечатка, оставленного на поверхности испытуемого материала твердосплавным шариком (индентором) при вдавливании его в материал нормированной силой. После снятия усилия по формулам или таблицам находят значение числа твердости.

Шкала Виккерса отличается от шкалы Бринелля тем, что индентором служит не шарик, а алмазный наконечник в виде правильной четырехгранной пирамиды (причем обязательно из южноафриканского алмаза, поскольку твердость алмазов из различных месторождений несколько отличается друг от друга). Измеряется диагональ отпечатка, по которой определяется значение числа твердости.

По шкале Роквелла фиксируется глубина погружения индентора в материал под воздействием двух последовательно прилагаемых нагрузок – предварительной и основной. В качестве индентора используется закаленный шарик либо алмазный конус. Несколько позднее появились приборы, воспроизводящие шкалы Супер-Роквелла. Они применяются для определения твердости образцов малой толщины и тонких поверхностных слоев.

Твердость закаленных и упругих материалов определяется методом измерений высоты отскока (шкала Шора D) или скорости отскока (шкалы Либа) бойка от поверхности материала. Для металлов, стекла, резины и т.д. применяются разные варианты шкал Шора.

Шкалы Бринелля, Виккерса, Роквелла и Супер-Роквелла, Шора D, Либа, Мартенса, инструментального идентирования представлены в эталонной базе России государственными первичными эталонами. Все эти эталоны шкал твердости хранятся и применяются во ВНИИФТРИ. Имеются модификации шкал Роквелла для измерений твердости пластмасс, твердых сплавов, абразивного инструмента и т.п. Существуют и другие шкалы твердости, применяемые несколько реже. Упомянем очень кратко наиболее известные из них: шкала измерений твердости металлов на пределе текучести вдавливанием шара; международные шкалы твердости резины. Твердость широкой номенклатуры твердых материалов (включая лакокрасочные покрытия) определяется методом разрушения по узкому следу (царапанием алмазным наконечником). Сводка названий и обозначений измеряемых величин в шкалах твердости представлена в табл. 11.2.

Таблица 11.2

Сведения о шкалах твердости

Объект измерений	Наименование измеряемой величины	Обозначение
Металлы и сплавы	Числа твердости по шкалам:	
	Бринелля, ГОСТ 9012-59	HB
	Роквелла, ГОСТ 9013-59, ГОСТ 22975-78	HRC
	Виккерса, ГОСТ 2999-75, ГОСТ Р ИСО 6507-1-2007	HV
	Шора, ГОСТ 23273-78	HSD
	Либа, ГОСТ Р 8.969-2019	HLD, HLS и др.
	Мартенса, ГОСТ Р 8.748-2011	HM
	Инструментального идентирования, ЗГОСТ Р 8.748-2011	H_{IT}
	Твердость на пределе текучести по ГОСТ 22762-77	$H_{0,2}$
Минералы	Числа твердости (баллы) по шкале Мооса	–
Резина	Числа твердости по международной шкале Шора А (ГОСТ 263-75)	IRHD
Металлы	Числа микротвердости царапанием по ГОСТ 21318-75	H □p и H_Vp
Лакокрасочные покрытия	Твердость по ГОСТ 5233-89	–
Древесностру-жечные плиты	Твердость по ГОСТ 11843-76	H
Каменные угли и антрациты	Числа микротвердости по ГОСТ 21206-75	H
Абразивные материалы	Степень твердости в дискретной шкале по ГОСТ 19202-80	–
Пластмассы	Твердость по шкалам Роквелла по ГОСТ 24622-91	H_R
	По шкале Шора А, ГОСТ 24621-91	HSA
	Твердость по ГОСТ 4670-2015	HK

Напомним, что к любым шкалам твердости – шкалам порядка – не применимы понятия: единица измерения, размерность, среднее арифметическое ряда наблюдения, СКО. Результаты измерений в этих шкалах выражаются числами твердости и другими числовыми показателями твердости, которые являются порядковыми (неархимедовыми) величинами (раздел 2). Нет необходимости сопровождать эти числа какими-либо символами, имитирующими единицы измерений. Также беспочвенны какие-либо рассуждения о размерности чисел твердости. В документах, к сожалению, довольно часто обозначения чисел твердости (HB, HRC, HV и др.) пишут после их численных значений, да еще с добавлением «ед» (единиц!). Правильная запись, например, HRC = …(число). За результат измерений чисел твердости нужно принимать не среднее арифметическое, а медиану ряда наблюдений, и в качестве неопределённости результата измерений использовать размах ряда наблюдений.

Шкалы измерений цвета

Существующие шкалы измерений цвета (колориметрия, цветовые измерения, цветоведение) предназначены для идентификации и предсказания зрительных впечатлений (мыслеобразов), возникающих у человека с нормальным цветовым зрением при восприятии световых стимулов, испускаемых источниками, или отражаемого (пропускаемого) телами (объектами) оптического излучения. Сразу отметим, что цветные мыслеобразы могут возникать у человека и при отсутствии световых стимулов, например, цветные сны – результат работы воображения и др.

Обычно суждения строятся так, что цвет приписывается материальным объектам. Например, говорят «лампа синего света», «красное платье», «бежевая краска», «рыжий кот» и т.п. Однако в действительности сами по себе излучающие, отражающие и пропускающие свет (электромагнитное излучение) объекты имеют только спектральные характеристики излучения, отражения и пропускания, а цветовое ощущение возникает у человека при восприятии оптических изображений объектов на сетчатке глаз. Поэтому воспринимаемый цвет несамосветящих объектов зависит еще от спектрального распределения освещающего излучения. Цветовые ощущения также зависят от предварительной адаптации зрения, окружающего цветового фона, уровней яркости в сумеречной области зрения, угловых размеров объектов и др. В дальнейшем изложении будем иметь в виду все эти обстоятельства, раскрывающие смысл понятия и термина «цвет».

Цвета отличаются, прежде всего, качественно (бессмысленно, например, утверждать, что красный цвет больше синего). Поэтому шкалы измерений цвета являются шкалами наименований, однако, упорядоченными по признаку близости (сходства) цветов. Кроме того, качественно

неразличимые цвета (одинаковой цветности) могут отличаться количественно по светлоте (яркости).

Множество всевозможных цветов гораздо многообразнее подмножеств спектральных цветов (соответствующих монохроматическому свету с различными длинами волн и наблюдаемых в радуге) и ахроматических цветов (серых, включая белый и черный). Смешение двух или более цветов дает новый цвет, причем получение многих цветов возможно в результате использования различных композиций смешиваемых цветов (метамеризм). Все наблюдаемые цвета можно получить путем смешения в соответствующих пропорциях трех определенно выбранных цветов. Под смешением цветов понимают какой-либо способ объединения цветовых стимулов, например, освещение белого отражающего экрана двумя или более цветными излучениями.

Воспринимаемый цвет объектов зависит от многих факторов: спектрального распределения излучения источника света; уровней яркости наблюдаемого источника или освещенности объекта; формы, размеров и зависимости от длины волны спектрального коэффициента отражения (пропускания) объекта, расстояния до него; цвета, яркости и размеров фона наблюдения; а также от предшествующей зрительной адаптации и психологического состояния наблюдателя, устойчивых представлений об определенном цвете объектов. Поэтому в моделях, используемых для построения шкал измерения цвета, используются привычные для человека четко оговоренные условия наблюдения. При описании воспринимаемого цвета выделяют три его взаимосвязанных атрибута: цветовой тон (оттенок цвета), насыщенность (уровень проявления цветового тона) и светлота (уровень яркости).

На рис. 11.1 представлено расположение спектрально чистых (радужных) цветов (обозначены длинами волн монохроматических излучений) по контуру, охватывающему все множество цветностей.

Основой математических моделей описания множества цветов является экспериментально установленный факт: любой цвет можно представить как смесь определенных количеств трех линейно независимых цветов (цветов, каждый из которых не может быть получен смешением каких-либо количеств двух других цветов). Таких систем линейно независимых цветов существует много, но для построения шкал измерения цвета (в колориметрии) используются лишь некоторые стандартизованные на государственном или международном уровнях. Три таких стандартных цвета называются основными цветами, определяющими цветовую координатную систему, в которой каждому цвету соответствует три числа (координаты), являющиеся количествами основных цветов в эквивалентной по цвету смеси. Цветовой координатной системой определяется абстрактное неэвклидово

трехкоординатное цветовое пространство, в котором каждому цвету соответствует вектор, идущий из начала координат в точку с соответствующими координатами. Смешиванию цветов соответствует сложение соответствующих им векторов по правилам векторного сложения. Цветовые координатные системы стандартизуются для так называемого среднего стандартного колориметрического наблюдателя в определенных неизменных условиях. Такие системы позволяют построить шкалы измерения цвета стимулов (источников света, предметов и др. объектов), приемлемые для большинства людей с нормальным цветным зрением в обычных условиях наблюдения. Индивидуальные особенности цветочувствительности и изменения цветовосприятия при изменении условий наблюдения этими системами не учитываются.

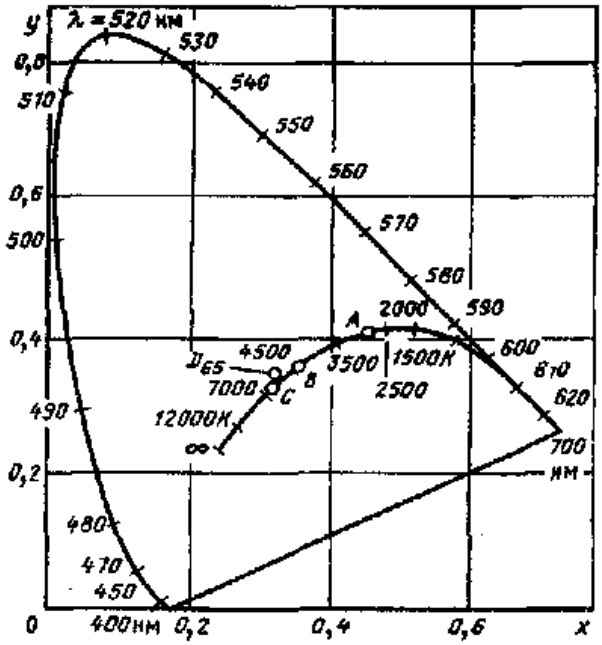


Рис. 11.1

За единичные основные цвета принимают такие их количества, которые в смеси дают некоторый заданный (опорный, чаще всего белый) цвет. Линии, соединяющие точки единичных основных цветов, образуют цветовой треугольник, а точки, лежащие в плоскости этого треугольника, характеризуют качественный аспект цвета, называемый цветностью. Положение точки цветности в треугольнике определяется любыми двумя (из трех) координатами цветности, так как каждая из них по определению равна частному от деления одной из цветовых координат на сумму всех трех цветовых координат. Таким образом, сумма трех координат цветности всегда равна единице.

Координаты цветов монохроматических излучений одинаковой мощности в любой цветовой координатной системе называются ординатами кривых сложения (удельными координатами), а совокупность этих координат определяет три функции сложения цветов. Функции сложения взаимосвязаны с функциями спектральной чувствительности рецепторов (колбочек) в сетчатке глаза человека.

Цвет несамосветящих объектов зависит от условий освещения, и одинакового цвета объекты, например, при освещении лампой накаливания могут оказаться разноцветными на дневном свете. Поэтому для однозначного толкования результатов цветовых измерений в колориметрии пользуются стандартизованными по спектральному распределению излучения источниками. Международная комиссия по освещению (МКО) рекомендует стандартные излучения A, B, C и D_{65}. Источник света А по спектральному распределению излучения соответствует излучению черного тела при термодинамической температуре 2856 К. Источник света В имитирует прямое солнечное излучение с коррелированной цветовой температурой около 4870 К. Источник света С имитирует дневной свет с коррелированной цветовой температурой около 6770 К. Источник света D_{65} уточненно имитирует среднюю фазу дневного света с коррелированной цветовой температурой 6500 К. Источник А рекомендуется реализовать газонаполненной лампой накаливания с вольфрамовой нитью, источники В и С – так же, как А, со специальными светофильтрами. Принятых рекомендаций по реализации источника D_{65} пока нет.

МКО стандартизовано несколько шкал измерений цвета – колориметрических систем. В стандартной колориметрической системе МКО 1931 г. для полей зрения от 1° до 4° координаты цвета *X, Y, Z* определяются для источников света формулами:

$$X = \int \Phi_{e,\lambda}(\lambda)\bar{x}(\lambda)d\lambda\,,\ Y = \int \Phi_{e,\lambda}(\lambda)\bar{y}(\lambda)d\lambda\,,\ Z = \int \Phi_{e,\lambda}(\lambda)\bar{z}(\lambda)d\lambda\,;$$

для несамосветящих объектов формулами:

$$X = \int \Phi_{e,\lambda}(\lambda)\rho(\lambda)\bar{x}(\lambda)d\lambda\,,\ Y = \int \Phi_{e,\lambda}(\lambda)\rho(\lambda)\bar{y}(\lambda)d\lambda\,,\ Z = \int \Phi_{e,\lambda}(\lambda)\rho(\lambda)\bar{z}(\lambda)d\lambda\,.$$

Здесь: $\Phi_{e,\lambda}(\lambda)$ – спектральная плотность потока излучения, $\rho(\lambda)$ – спектральный коэффициент отражения или спектральный коэффициент пропускания $\tau(\lambda)$ для просвечивающих объектов, λ – длина волны, $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$, $\bar{z}(\lambda)$ – стандартизованные функции сложения цветов (рис. 11.2, ГОСТ 13088-67, публикация МКО № 15). Координата *Y* в этой системе равна яркости наблюдаемого объекта, так как функция сложения $\bar{y}(\lambda)$ совпадает с функцией относительной спектральной световой эффективности монохроматического излучения для дневного зрения $V(\lambda)$, основополагающей для световых измерений (ГОСТ8.332-78).

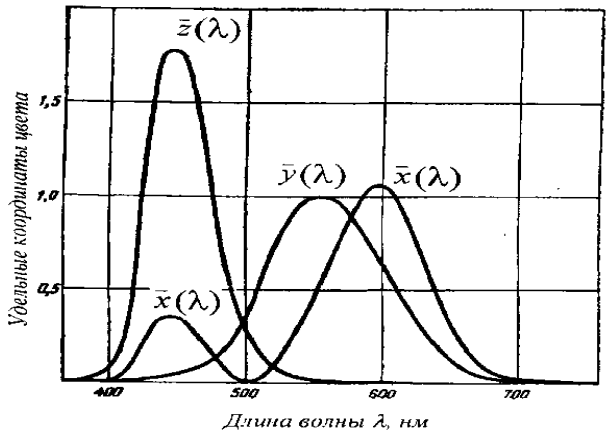


Рис. 11.2. Удельные координаты цвета $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$, $\bar{z}(\lambda)$ монохроматичских стимулов постоянной мощности, рекомендованные МКО (1931 г.)

Координаты цветности определяются по формулам:

$$x = \frac{X}{X+Y+Z}, \quad y = \frac{Y}{X+Y+Z}, \quad z = \frac{Z}{X+Y+Z}.$$

Заметим, что бессмысленно придавать координатам цветности какой-либо количественный смысл, так как они указывают только положение точки на модельном цветовом треугольнике.

Координаты цвета и цветности измеряются с помощью трехканальных колориметров, спектрофотометров и спектрорадиометров. Обеспечение единства измерений в колориметрии опирается на государственный первичный эталон координат цвета и координат цветности, который построен на основе спектроколориметра и набора эталонных прозрачных мер цвета.

Существуют шкалы цветов, основанные на обозначениях их системами названий или других символов (сочетаний букв и цифр). Чаще всего исходными для образования таких шкал наименований являются семь цветов радуги (красный, оранжевый, желтый, зеленый, голубой, синий, фиолетовый) и пурпурный цвет. Комбинации этих и других названий составляют сотни и даже тысячи наименований цветов (человек может различать до 10 миллионов цветов). В таких шкалах цветовое пространство делится на ряд блоков, которые обозначаются в соответствии с общепринятой цветовой терминологией или комбинациями символов (кодом). Так, например, в системе Евроколор код цвета составляет семизначное число (первые три цифры соответствуют цветовому тону, четвертая и пятая – светлоте, шестая и седьмая – насыщенности цвета). В известной системе Манселла код цвета составляется из буквенных символов и цифр. К сожалению,

общепринятой на мировом уровне системы названий и символических обозначений цветов пока нет.

Такие символические шкалы наименований цветов воспроизводятся в виде атласов цветов, состоящих из необходимого числа стандартизованных цветных образцов. Специализированный для полиграфии атлас цветов содержит 1358 материальных образцов цвета.

Цветовые измерения также широко применяются в световой и цветовой сигнализации, в частности на транспорте, в регулировании движения на дорогах, в навигации. На соответствующие методы цветовых измерений существует значительное число национальных и международных стандартов.

Акустические шкалы

Механические колебательные процессы, проявляющиеся в газовых средах как акустические звуки, в жидких средах как гидроакустические сигналы, в твердых средах как упругие волны, характеризуются многими параметрами, измеряемыми в шкалах: частот (Гц), давлений (Па), мощности (Вт), скорости распространения (м/с), интенсивности (Вт/м^2), амплитуды колебаний (м), колебательных скоростей (м/с), ускорений (м/с^2) и т.д. Некоторые параметры этих процессов принято измерять в логарифмических шкалах с фиксированным нулем (в дБ), используя общепринятые для них опорные значения.

Звук (акустические колебания) как физическое явление, характеризуемое определенными параметрами – интенсивностью, частотой, спектром частот и т.д., воздействуя на слуховые органы человека, вызывает психофизиологические слуховые ощущения. Физическим параметрам и характеристикам звука или их сочетаниям соответствуют характерные ощущения, такие как громкость, высота тона, тембр и др., которые называются параметрами ощущения. Диапазон воспринимаемых слухом человека звуков по звуковому давлению составляет, примерно, от $2 \cdot 10^{-5}$ Па (порог слышимости) до 200 Па (болевой порог), в частотном диапазоне приблизительно от 20 Гц до 20 кГц. Слух человека подчиняется фундаментальному психофизиологическому закону Вебера-Фехнера, согласно которому уровень ощущения от воспринимаемых звуков пропорционален логарифму величины, характеризующей раздражение (стимул). Экспериментальными и теоретическими исследованиями психофизиологических свойств слуха, выполненными различными исследователями на протяжении многих десятилетий, установлен ряд количественных соотношений между физическими параметрами и характеристиками звуков (стимулов) и параметрами ощущения их человеком. Эти соотношения выражены эмпирическими формулами и специальными акустическими (биофизическими) шкалами измерений.

Отметим, что эти шкалы установлены для отологически нормального лица в возрасте от 18 до 25 лет. Естественно, что для других возрастных групп, а также для лиц, обладающих некоторыми отклонениями слуха от нормы, эти шкалы носят приближенный характер.

Шкала уровней громкости и шкала громкости

Интенсивности звука по восприятию соответствует ощущение громкости. Громкость – величина, количественно характеризующая слуховое ощущение воспринимаемого человеком звука. Частотно-амплитудная характеристика слуховой (акустической) чувствительности человека нелинейна: при неизменной частоте ощущение громкости чистого тона (синусоидального сигнала) растет не пропорционально интенсивности звука (звукового давления). В то же время звуки разной частоты, но одинаковой интенсивности могут восприниматься как звуки разной громкости. Сравнением на слух громкости звуков произвольной частоты и интенсивности с громкостью звука чистого тона частотой 1000 Гц, имеющего известный уровень интенсивности (в децибелах относительно среднеквадратического значения звукового давления $2 \cdot 10^{-5}$ Па, соответствующего порогу слуха на частоте 1000 Гц), получено семейство кривых (рис. 11.3), для каждой из которых уровень интенсивности звука сравнения (тона 1000 Гц) остается неизменным, т.е. является параметром кривой.

Звуки разной частоты и уровня, соответствующие какой-либо кривой, на слух воспринимаются как равногромкие. Это семейство кривых, называемых нормальными кривыми равной громкости, образует своеобразную двухмерную шкалу уровней громкости, логарифмическую единицу измерений, в которой присвоено наименование «фон». Отсюда второе название этих кривых – изофоны. Число фонов, обозначающих уровень громкости какого-либо звука заданной частоты, по определению равно числу децибел равногромкого с ним звука чистого тона частотой 1000 Гц.

Эта шкала позволяет определить уровень громкости в фонах любого синусоидального звука, если известны уровень его звукового давления в дБ относительно $2 \cdot 10^{-5}$ Па и частота. Так, например, звук частотой 125 Гц имеет уровень звукового давления 55 дБ. На рис. 11.3 точка, соответствующая частоте 125 Гц и уровню звукового давления 55 дБ, находится на одной из изофон, перемещаясь по которой к частоте 1000 Гц, находим, что равногромкий звук с частотой 1000 Гц должен иметь уровень звукового давления 50 дБ. Это и есть искомый уровень громкости L, равный 50 фонам. Шкалу уровней громкости приходится считать шкалой порядка, так как уровни громкости в фонах напрямую складывать нельзя и установить пропорциональность уровней громкости невозможно.

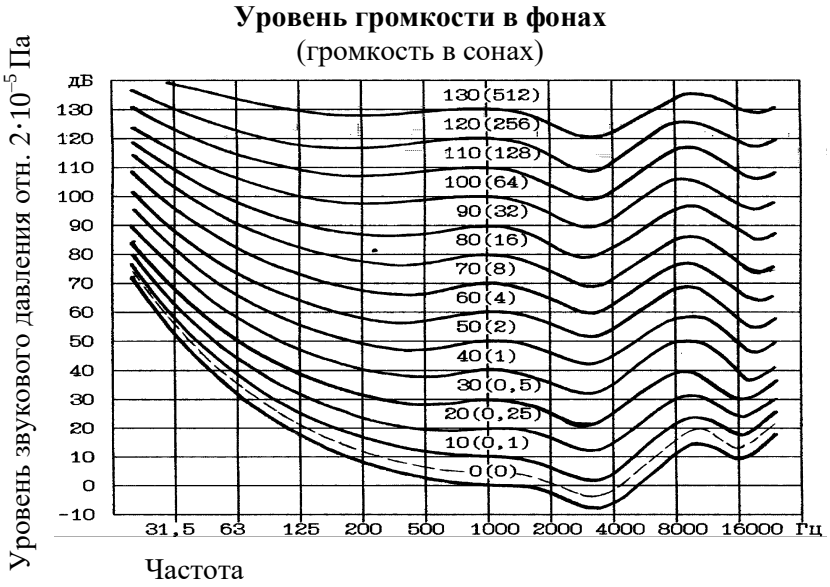


Рис. 11.3. Нормальные кривые равной громкости

Существует более общая экспериментально установленная шкала измерений громкости, позволяющая находить общую громкость нескольких звуков разных частот или шумов. В этой шкале принята единица измерений – сон, равная громкости звука частотой 1000 Гц при уровне 40 дБ (40 фон). Эмпирическое соотношение между значениями L шкалы уровней громкости в фонах и значениями N шкалы громкости в сонах в пределах от 20 до 120 фон определяется зависимостью

$$N = 2^{0,1(L-40)}.$$

Приведенные на рис. 11.3 нормальные кривые равной громкости в фонах одновременно являются кривыми постоянной громкости в сонах и справедливы только для чистых тонов. Но через эмпирические алгоритмы (номограммы для сложения шумов в октавных или третьоктавных полосах), регламентированные на международном уровне, эти шкалы положены в основу методов измерений уровней громкости в фонах и громкости в сонах любых сложных звуков (акустических шумов).

Шкалы уровня звука

При нормировании акустических шумов в целях охраны здоровья человека и ряде других случаев возникает необходимость их оценки одним числом. Простейшей физической характеристикой акустического шума является его полный (суммарный) уровень звукового давления (в дБ относительно среднеквадратического значения звукового давления

$2 \cdot 10^{-5}$ Па). Но чувствительность слуха человека зависит как от частоты, так и от интенсивности звука. Поэтому для получения результатов измерений шума, в достаточной для практики мере соответствующих восприятию его человеком, средства измерений должны иметь частотно-амплитудные характеристики, близкие к характеристикам органа слуха. В современных средствах измерений акустических шумов стандартизованы четыре шкалы для измерений уровней звука, обозначаемые индексами A, B, C и D. Соответствующие этим шкалам относительные частотные характеристики средств измерений приведены на рис. 11.4.

Результаты измерений акустического шума по шкале A соответствуют ощущению при восприятии человеком шумов малой громкости ориентировочно от 20 до 55 фон, по шкалам B – средней 55–85 фон и по шкале C – большой громкости 85–140 фон и называются уровнями звука A, B и C. Шкала D используется при оценке раздражающего действия на человека шума от пролетающего над ним самолета. Результаты измерений уровня звука по шкалам A, B, C и D обозначаются добавлением в скобках за единицей измерений – децибел – индекса шкалы: дБ(A), дБ(B), дБ(C), дБ(D). Тем не менее на практике принято упрощено нормировать допустимые уровни акустических шумов в жилых и общественных помещениях, в промышленности и на транспорте независимо от их громкости в значениях уровней звука по шкале A, т.е. в дБ(A), что зафиксировано в ряде международных стандартов.

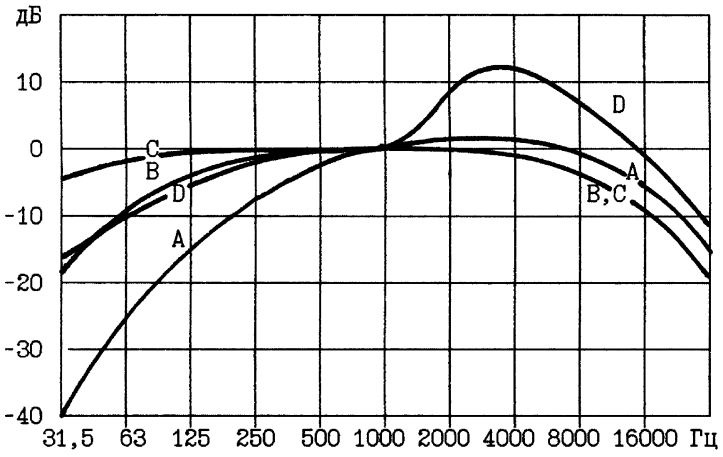


Рис. 11.4. Относительные частотные характеристики, образующие шкалы A, B, C и D уровней звука

Если сравнить частотные характеристики A, B, C и D с нормальными кривыми равной громкости (рис. 11.4) для чистых тонов, можно обнаружить некоторое сходство между последними и перевернутыми относительными частотными характеристиками A, B, C и D.

Шкалы измерений раздражающего действия шума

Акустические шумы разного частотного состава неодинаково воспринимаются человеком. Одни шумы переносятся спокойно, другие неприятны для слуха и вызывают раздражающее действие. Проблема оценки степени раздражающею действия шума на человека возникла в связи с необходимостью нормирования шумов от самолетов в окрестностях аэропортов. По аналогии с измерениями громкости и уровня громкости степень раздражающего действия или неприятности шума оценивается по двум шкалам: шкале шумности и шкале уровней воспринимаемого шума.

В шкале шумности, являющейся приближенной аддитивной шкалой отношений, за единицу измерений принята единица – ной, аналогичная сону.

Аудиометрические шкалы

Измерение остроты или степени потери слуха, т.е. отклонения порога слышимости конкретного индивидуума от среднестатистического нормального слушателя, в медицинской практике осуществляется с помощью прибора – аудиометра. Степень остроты или потери слуха на той или иной частоте определяют измерениями порога слышимости исследуемого индивидуума при подаче звукового сигнала непосредственно в ухо с помощью головного телефона (наушника), поэтому среднестатистический нормальный порог слышимости, установленный для чистых тонов стандартом ИСО (ГОСТ Р ИСО 389-1-2011. ГСИ. Акустика. Опорный нуль для калибровки аудиометрической аппаратуры. Часть 1. Опорные эквивалентные пороговые уровни звукового давления чистых тонов для прижимных телефонов), в этих условиях несколько отличается от порога в свободном звуковом поле. При аудиометрических измерениях потери слуха на каждой частоте (обычно на частотах октавного ряда в диапазоне от 125 до 8000 Гц) определяют отклонение (в дБ) от стандартизованного нормального порога, т.е. за нулевой уровень на каждой частоте принимают значения нормального порога слышимости, поэтому аудиометрическая шкала потери слуха по воздушной проводимости фактически имеет вид, показанный на рис. 11.5.

Поскольку человек способен воспринимать звуки не только ухом (воздушная проводимость), но и через кости черепа (костная проводимость), аудиометры позволяют выполнять измерения потери слуха и по костной проводимости путем возбуждения звуковых колебаний в кости черепа пациента с помощью костного вибратора. Шкала потери слуха по костной проводимости (в дБ относительно $1 \cdot 10^{-6}$ Н) в этом случае имеет такой же вид, как и при воздушной проводимости. Пороги слышимости,

от которых отсчитывают потерю слуха при аудиометрических измерениях, по костной проводимости для чистых тонов и по воздушной проводимости при наличии узкополосного маскирующего шума, установлены стандартом ИСО (ГОСТ Р ИСО 389-3-2011. ГСИ. Акустика. Опорный нуль для калибровки аудиометрической аппаратуры. Часть 3. Опорные эквивалентные пороговые уровни силы костных вибраторов для чистых тонов).

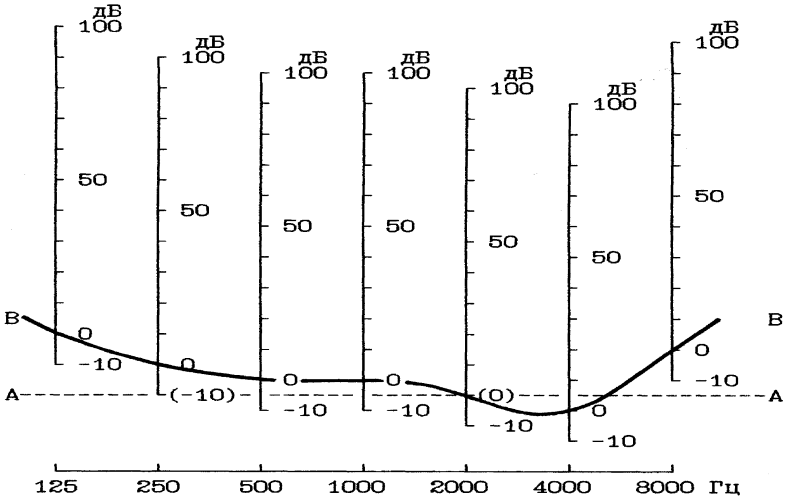


Рис. 11.5. Аудиометрическая шкала определения потери слуха (А-А соответствует звуковому давлению $2 \cdot 10^{-5}$ Па, В-В аудиометрический нормальный порог слуха – 0 дБ)

Таким образом, в аудиометрии применяются три шкалы измерений: шкала потери слуха по воздушной проводимости на чистых тонах, шкала потери слуха по костной проводимости и шкала потери слуха по воздушной проводимости при наличии узкополосных маскирующих шумов. Потеря слуха пациентом во всех трех шкалах измеряется в дБ, но начала отсчетов (плавающие нули шкал) в каждой шкале и на каждой частоте свои.

Псофометрические шкалы

В телефонных и радиолиниях связи всегда присутствуют широкополосные шумы, мешающие правильному восприятию передаваемой информации. Шумы линий связи оцениваются суммарным среднеквадратическим напряжением в вольтах (шкала отношений) или суммарным уровнем помех в дБ относительно 0,775 В на согласованном оконечном сопротивлении нагрузки линии при отсутствии полезного сигнала.

Степень мешающего действия шума зависит от соотношения его мощности и мощности полезного сигнала, а также от неодинакового восприятия слухом частотных составляющих шума, воспроизводимых телефоном или громкоговорителем. Для системы «ухо–громкоговоритель» максимальное мешающее действие имеют составляющие шума в диапазоне 2–5 кГц, а для систем «ухо–телефон» максимум приходится на частотные составляющие в районе 800 Гц. Международные консультативные комитеты по телефонии и телеграфии (МККТТ) и по радиосвязи (МККР) установили соответствующие весовые или, как их принято называть, «псофометрические» (по-гречески «*псофс*» – шум) коэффициенты для всех частотных составляющих шума помехи относительно составляющих с частотами 800 Гц для телефонной и 1000 Гц для радиосвязи. Суммарный уровень напряжения шумовых помех с учетом этих весовых коэффициентов называется псофометрическим уровнем напряжения и измеряется на согласованной оконечной нагрузке линии связи с помощью псофометра – широкополосного измерителя уровня, снабженного корректирующими фильтрами в соответствии с псофометрическими коэффициентами.

Физико-химические шкалы измерений

Шкала pH водных растворов

Водородный показатель pH – десятичный логарифм концентрации $C_{н+}$ (точнее, активности) ионов водорода в растворе, взятый с обратным знаком: $pH = – \lg C_{н+}$, где $C_{н+}$ выражено в грамм-ионах на литр.

Водородный показатель является условно безразмерностной величиной и количественно характеризует кислотность или щелочность водных растворов, которые существенно влияют на направление и скорость химических и биохимических процессов. Для кислых растворов ($C_{н+} > C_{он-}$) водородный показатель $pH < 7$; а для щелочных растворов $pH > 7$. При температуре 22 °С водородный показатель чистой воды (нейтральных растворов) $pH = 7$. При повышении температуры диссоциация воды усиливается, концентрация ионов увеличивается, а pH уменьшается, поэтому чистая вода при температуре 100 °С имеет $pH \approx 6$, при температурах менее 22 °С в чистой воде $pH > 7$.

Для обеспечения единства измерения водородного показателя шкала pH стандартизована на международном (Рекомендация МР54, МОЗМ) и государственном (ГОСТ 8.134-2014) уровнях. Стандартизованная шкала pH реализована во ВНИИФТРИ в виде государственного эталона и поверочной схемы. Для pH-метрии имеются стандарт-титры для приготовления эталонных буферных растворов (ГОСТ 8.135-2004).

Физико-химические шкалы порядка

Существует большое разнообразие физико-химических свойств, которые описываются шкалами порядка. Результаты измерений в них выражаются порядковыми величинами (раздел 2): числами, баллами, степенями, уровнями и т.д. В табл. 11.3 представлены сведения о некоторых стандартизованных и реально применяемых таких шкалах измерений.

Таблица 11.3

Числа и баллы некоторых физико-химических шкал порядка

Объект измерений	Наименование измеряемой величины
Топливо для двигателей	Октановые числа по ГОСТ 8226-2015 и ГОСТ 511-2015 (моторным методом)
Топливо дизельное	Цетановое число по ГОСТ 3122-67 и ГОСТ 12525-85 Цетановый индекс по ГОСТ 27768-88
Нефтепродукты	Кислотность и кислотное число по ГОСТ 5985-79 Йодное число по ГОСТ 2070-82
Нефтепродукты и смазочные масла	Число нейтрализации по ГОСТ 29255-91 методом цветного индикаторного титрования Степень чистоты по ГОСТ 12275-66 Смазочная способность масел (интегральный уровень СК3)
Топливо остаточное	Бромное число фракции по ГОСТ Р 50837.2-95 Число пептизации по ГОСТ Р 50837.5-95
Парафины и церезины нефтяные	Индекс пенетрации по ГОСТ 25771-83
Углеводы ароматические бензольного ряда	Бромное число по ГОСТ 2706.11-74
Материалы лакокрасочные	Кислотное число по ГОСТ 23955-80 Условная светостойкость по ГОСТ 21903-76
Смолы лаковые алкидные и полиэфирные	Гидроксильное число по ГОСТ 26194-84
Отвердители ангидридные для эпоксидных смол	Общее кислотное число кислоты по ГОСТ 25523-82
Метанол-яд технический	Перманганатное число по ГОСТ 25742.5-83

Целлюлоза	Медное число по ГОСТ 9418-75 Число Каппа по ГОСТ 10070-74 Хлорное число по ГОСТ 29215-91 (ИСО 3260-82)
Латекс каучуковый натуральный	Число КОН по ГОСТ 28864-90
Глина бентонитовая для тонкой и строительной керамики	Бентонитовое число по ГОСТ 21282-93
Масла растительные и натуральные жирные кислоты	Кислотное число по ГОСТ 5476-80 Иодное число по ГОСТ 5475-69 Перекисное число по ГОСТ 26593-85 Число омыления по ГОСТ 5478-2014
Подсолнечник	Кислотное число по ГОСТ 26597-89 с применением pH-метрии
Спирты высшие жирные	Число омыления и эфирное число по ГОСТ 26549-85 Карбонильное число по ГОСТ 26592-85
Кислоты синтетические жирные	Эфирное число по ГОСТ 22385-94 фотометрическим методом
Зерновые культуры, зерно и продукты его переработки	Число падения по ГОСТ ISO 3093-2016 и ГОСТ 27676-88
Кондитерские изделия	Перекисное, кислотное и йодное числа жира по МИ 2586-2000
Пластмассы	Показатель текучести расплава термопластов по ГОСТ 11645-73

Шкалы определения качества воды

Вода, играющая исключительную роль в биосфере и промышленных технологиях, особенно показательна по разнообразию типов шкал, характеризующих ее свойства и потребительские качества. Измеряют: состав питьевой воды (ГОСТ 2874-82), жесткость (ГОСТ Р 52029-2003, ГОСТ 31865-2012), вязкость (ГОСТ 21727-76), мутность (ИСО 7027-84) и др. Ниже приведены только некоторые из существующих шкал и методов измерения показателей, характеризующих качество воды. Нормы погрешности измерений показателей состава и свойств воды установлены в ГОСТ 27384-87.

Шкалы жесткости воды

Жесткостью воды называется (ГОСТ 31865-2012) совокупность свойств, обусловленных концентрацией в ней щелочноземельных элементов, преимущественно ионов кальция (Ca^{2+}) и магния (Mq^{2+}).

Жесткость воды выражается в градусах жесткости (°Ж). Градус жесткости соответствует концентрации щелочноземельного элемента, численно равной $^1/_2$ его моля, выраженной в мг/дм^3 (г/м^3). Жесткость воды Ж в °Ж при раздельном количественном определении ионов щелочноземельных элементов вычисляют по формуле:

$$Ж = \Sigma (C_i / C_{iэ}),$$

где C_i – концентрация щелочноземельного элемента в пробе воды, мг/дм^3 (г/м^3), $C_{iэ}$ – концентрация щелочноземельного элемента, численно равная $^1/_2$ его моля, выраженная в мг/дм^3 (г/м^3). В ряде стран жесткость воды принято оценивать в градусах.

Соотношения размеров национальных единиц жесткости воды, принятых в других странах, приведены в табл. 11.4.

Таблица 11.4

Страна	Обозначение единицы жесткости	По ГОСТ 31865-2012	Германия	Велико-британия	Франция	США
По ГОСТ 31865-2012	°Ж	1	2,80	3,51	5,00	50,04
Германия		0,357	1	1,25	1,78	17,84
Велико-британия	°Clark	0,285	0,80	1	1,43	14,3
Франция	°F	0,20	0,56	0,70	1	10
США	ppm	0,02	0,056	0,070	0,10	1

Примечание. При расчетах учитывают, что:
°Ж > 20,04 мг Ca^{2+} или 12,15 Mg^{2+} в 1 дм^3 воды;
°DH = 10 мг CaO в 1 дм^3 воды;
°F = 10 мг $CaCO_3$ в 1 дм^3 воды;
ppm = 1 мг $CaCO_3$ в 1 дм^3 воды;
°Clark = 10 мг $CaC0_3$ в 0,7 дм^3 воды.

Единицей жесткости воды по ГОСТ 6055-86 является моль на кубический метр (моль/м^3), соответствующий раствору с массовой концентрацией эквивалентов ионов кальция 20,04 г/м^3 и ионов магния 12,153 г/м^3.

Оценку жесткости пресной воды обычно проводят по шкале порядка:

очень мягкая	до 1,5 моль/м^3
мягкая	от 1,5 до 3 моль/м^3
умеренно (средне) жесткая	от 3 до 6 моль/м^3
жесткая	от 6 до 9 моль/м^3
очень жесткая	более 9 моль/м^3

Метод определения запаха воды. Запах определяют при температуре воды 20 и 60 °С. Определяют характер и интенсивность запаха, характер запаха воды определяют ощущением воспринимаемого запаха (землистый, хлорный, нефтепродуктов и др. – шкалы наименований). Интенсивность запаха воды оценивают по пятибалльной системе (шкале порядка, табл. 11.5):

Таблица 11.5

Интенсивность запаха	Характер проявления запаха	Оценка интенсивности запаха, балл
Нет	Запах не ощущается	0
Очень слабая	Запах не ощущается потребителем, но обнаруживается при лабораторном исследовании	1
Слабая	Запах замечается потребителем, если обратить на это его внимание	2
Заметная	Запах легко замечается и вызывает неодобрительный отзыв о воде	3
Отчетливая	Запах обращает на себя внимание и заставляет воздержаться от питья	4
Очень сильная	Запах настолько сильный, что делает воду непригодной к употреблению	5

Метод определения вкуса воды. Определяют характер и интенсивность вкуса и привкуса. Различают четыре основные вида вкуса (в физико-химической шкале наименований): соленый, кислый, сладкий, горький (шкала наименований). Все другие виды вкусовых ощущений называются привкусами. Характер вкуса или привкуса определяют ощущением воспринимаемого вкуса или привкуса. Испытываемую воду набирают в рот малыми порциями, не проглатывая, задерживая 3–5 с. Интенсивность вкуса и привкуса определяют при 20 °С по пятибалльной системе, полностью аналогичной системе оценивания интенсивности запаха (в таблице слово «запах» заменено на «вкус и привкус»).

Метод определения цветности воды. Цветность воды определяют фотометрически – путем сравнения проб испытуемой жидкости с растворами, имитирующими цвет природной воды. Сравнение выполняется на фотоэлектроколориметре (ФЭК) с синим светофильтром (λ = 413 нм). ФЭК градуируется в «градусах цветности» по «шкале цветности» – водными растворами солей и серной кислоты, приготовленными по определенному рецепту (шкала порядка).

Метод определения мутности воды. Мутность воды определяют фотометрическим путем сравнения проб исследуемой воды со стандартными суспензиями из каолина или трепела. Сравнение выполняется на ФЭК с зеленым светофильтром (λ = 530 нм). ФЭК градуируется по приготовленным по рецепту суспензиям с определенными концентрациями в мг/л. Содержание мутности определяют в мг/л.

Физико-химические шкалы наименований

К этой группе относятся шкалы идентификации химических элементов, веществ, материалов, видов продукции, объектов (качественный химический анализ и другие процедуры идентификации), шкалы вкуса и запаха и т.п. Существуют также процедуры идентификации сложных химических неорганических и органических соединений для различных экспертных заключений, например, принадлежность нефти к определенному месторождению, образцов почвы – к определенной местности и т.д.

Особо следует отметить шкалы ощущения вкуса и запаха человеком. Общих принципов стандартизации этих шкал пока не разработано потому, что в отличие от цветовых ощущений, для которых построена структурированная эмпирическая трехмерная модель множества цветовых ощущений, такие модели для ощущений запаха и вкуса не построены. Более того, даже не установлена мерность этих качественных свойств. Однако некоторые классификационные признаки для этих шкал достаточно однозначно установлены. Так, запахи и вкус, с некоторой неопределенностью, делятся на три больших класса: приятные, неприятные и нейтральные (без запаха, безвкусные объекты). Далее различают основные вкусы объектов: сладкий, горький, соленый, кислый, жгучий, пряный, безвкусный. Название запахов чаще всего происходит от названия соответствующих объектов: запах луковый, чесночный, огуречный, рыбный, свежей древесины, жасминовый, сиреневый, черемуховый и т.д. При этом для конкретных запахов и вкусов существуют различные количественные градации их по насыщенности, уровню, силе (шкалы порядка), например, несоленый, слабо соленый, средне соленый, соленый, крепко соленый. Различные специфицированные шкалы вкуса и запаха широко применяются в органолептических методах измерений при контроле качеств и пищевых продуктов, воды, вина, парфюмерных изделий, изделий бытовой химии и др.

Шкала качества передачи речи по системам связи

Качество передачи речи (табл. 11.6) по трактам радиотелефонной связи и по цифровым каналам систем низкочастотной передачи речи оценивается по шкале порядка, содержащей пять классов.

Таблица 11.6

Класс качества	Характеристики класса качества	Нормы разборчивости, %	
		Звуков D	Слов W
I	Понимание передаваемой речи без малейшего напряжения внимания	91 и более	98 и более
II	Понимание передаваемой речи без затруднений	85–90	94–97
III	Понимание передаваемой речи с напряжением внимания без переспросов и повторений	78–84	89–93
IV	Понимание передаваемой речи с большим напряжением внимания, переспросами и повторениями	61–77	70–88
V	Полная неразборчивость связного текста, срыв связи	60 и менее	69 и менее

Разборчивость звуков D и слов W по каналам связи определяется методом артикуляционных измерений бригадой слушателей при передаче специально подобранной таблицы слогов и слов, читаемых диктором. Канал связи первого класса должен обеспечивать разборчивость не менее 98 % слов. Пятый класс – полная неразборчивость речи – соответствует распознаванию менее 69 % слов. Методы артикуляционных измерений в трактах связи и оценка их результатов регламентированы ГОСТ 16600-72 и ГОСТ Р 51061-97.

Таблица 11.7

Температурные шкалы

Название шкалы	Обозначение	Обозначение ед. измер.	Реперные точки	Формулы перевода
Кельвина	T	K	0 K – абсолютный ноль, 273,16 K – тройная точка воды	$T = 273{,}15 + t_C$, 1 K = 1 °C
Цельсия	t_C	°C	0 °C – таяние льда, 100 °C – кипение воды	$t_C = T - 273{,}15$ 1 °C = 1 K
Реомюра	t_R	°R	0 °R – таяние льда, 80 °R – кипение воды	$T = 273{,}15 + 1{,}25 \cdot t_R$, $t_C = 1{,}25 \cdot t_R$, 1 °R = 1,25 °C
Фаренгейта	t_F	°F	0 °F – смесь льда с нашатырем, 32 °F – таяния льда	$t_C = \frac{5}{9}(t_F - 32)$ $1°F = \frac{5}{9}°C$
Ренкина	t_{Ra}	°Ra	0 °Ra – абсолютный ноль, 1 °Ra = 1 °F	$T = \frac{5}{9}\ t_{Ra}$

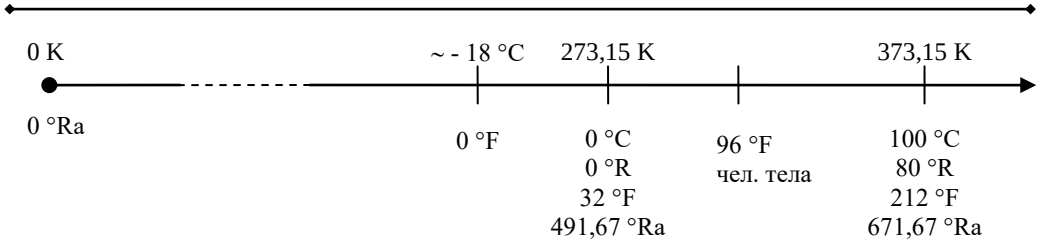


Рис. 11.6

Шкала порядка для оценки знаний учеников (Положение для постоянного определения или оценки успехов в науках [42])

ВЫСОЧАЙШЕ УТВЕРЖДЕНО
8 декабря 1834 г.

Успехи воспитанников в науках проистекают: или от простого страдательного понимания, или от прилежания, или от сильного развития умственных способностей, а следовательно, и должны быть оцениваемы сколько можно приблизительно к этому образом.

Этот всеобъемлющий и постоянный масштаб освобождает преподавателя от той односторонности, которая бывает следствием сравнения учеников одного и того же курса между собой; он определяет правила для единообразного суждения в разные времена и в разных местах.

Пять степеней, для сего принимаемых, разграничиваются следующим образом:

1 степень (успехи слабые)

Ученик едва прикоснулся к науке, по действительному ли недостатку природных способностей, требуемых для успеха в оной, или потому, что совершенно не радел при наклонностях к чему-либо иному.

2 степень (успехи посредственные)

Ученик знает некоторые отрывки от преподанной науки, но и те присвоил себе одной памятью. Он не проник в ее основание и в связь частей, составляющих полное целое. Посредственность сия, может быть, происходит от некоторой слабости природных способностей, особливо от слабости того самомышления, которого он не мог заменить трудом и постоянным упражнением.

Отличные дарования при легкомыслии и празднолюбии влекут за собою те же последствия.

3 степень (успехи удовлетворительные)

Ученик знает науку в том виде, как она была ему преподана; он постигает даже отношение всех частей к целому в изложенном ему порядке, но он ограничивается книгой или словами учителя, приходит в замешательство от соприкосновения вопросов, предлагаемых на тот конец, чтобы он сблизил между собой отдаленнейшие точки; даже выученное применяет он не иначе, как с трудом и напряжением.

На сей степени останавливаются одаренные гораздо более памятью, нежели самомышлением; но они прилежанием своим доказывают любовь к науке.

4 степень (успехи хорошие)

Ученик отчетливо знает преподанное учение, он умеет изъяснить все части из начал, постигает взаимную связь и легко применяет усвоенные истины к обыкновенным случаям. Тут действующий разум ученика не уступает памяти, и он почитает невозможным выучить что-либо, не понимая. Один недостаток прилежания и упражнения препятствует таковому ученику подняться выше. С другой стороны, и то правда, что самомышление в каждом человеке имеет известную степень силы, за которую черту при всех напряжениях перейти невозможно.

5 степень (успехи отличные)

Ученик владеет наукой: весьма ясно и определенно отвечает на вопросы, легко сравнивает различные части, сближает самые отдаленные точки учения, разбирает новые и сложные предлагаемые ему случаи, знает слабые стороны учения, места, где сомневаться, и что можно возразить против теории. Все сие показывает, что ученик сделал преподанную науку неотъемлемым своим достоянием; что уроки послужили ему только полем для упражнений самостоятельности, и что размышление при помощи книг, к той науке относящихся, распространило познания его далее, нежели позволяло нередко одностороннее воззрение учителя на вещи. Только необыкновенный ум, при помощи хорошей памяти, в соединении с пламенной любовью к наукам, а следовательно, и с неутомимым прилежанием, может подняться на такую высоту в области знания.

Составил Генерального штаба
генерал-майор Н.П. Глиноецкий

С.-Петербург, 1832 г.

12. ОРГАНИЗАЦИОННОЕ И НОРМАТИВНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЕДИНСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

Единство измерений – состояние измерений, при котором их результаты выражены в допущенных к применению в РФ единицах величин, а показатели точности измерений не выходят за установленные границы. Результаты измерений могут быть выражены также в значениях по установленным шкалам измерений.

Единство измерений в стране достигается в результате функционирования **Государственной системы обеспечения единства измерений** (**ГСИ**, ГОСТ Р 8.000-2000 [10]). Единство измерений на международном уровне осуществляется на основе Метрической конвенции, сотрудничества в Генеральной конференции по мерам и весам (ГКМВ) и Международных метрологических организациях (см. главу 14 и учебное пособие [50]).

ГСИ – государственная система управления субъектами, нормами, средствами и видами деятельности по обеспечению заданного уровня единства измерений в РФ. ГСИ содержит комплекс общегосударственных правовых, нормативных, организационных, технических и экономических условий для решения задач по обеспечению единства измерений (ОЕИ) и представления возможности всем субъектам деятельности оценивать правильность выполняемых измерений и уровень их влияния на результаты деятельности, основанной на результатах измерений. В ГСИ обозначают три подсистемы: организационную, нормативно-правовую и техническую. Основу **технической подсистемы ГСИ** составляет государственная **эталонная база**, содержащая более 160 государственных первичных эталонов и большое число аттестованных государственных вторичных и рабочих эталонов (см. главу 9).

Основные нормативные правовые акты и документы

В разделе 1 представлены основные законодательные акты по метрологии: статья 71 Конституции Российской Федерации (РФ) и Федеральный закон «Об обеспечении единства измерений», устанавливающие основные организационные, экономические и правовые положения по метрологической деятельности в стране. В настоящем разделе даны более подробные сведения о действующих в РФ положениях законодательной метрологии.

Статья 71 Конституции РФ гласит: «В ведении Российской Федерации находятся:

….

р) метеорологическая служба, стандарты, эталоны, метрическая система и исчисление времени; геодезия и картография; …».

В соответствии с Федеральным законом Российской Федерации «Об обеспечении единства измерений» от 26 июня 2008 г. № 102-ФЗ [3] законодательство РФ об обеспечении единства измерений (ОЕИ) основывается на Конституции РФ и включает в себя настоящий федеральный закон, другие федеральные законы, регулирующие отношения в области обеспечения единства измерений, а также принимаемые в соответствии с ними иные нормативные правовые акты РФ. К таким законам относятся:

- Федеральный закон Российской Федерации «О техническом регулировании» от 27 декабря 2002 г. № 184-ФЗ [4];
- Федеральный закон Российской Федерации «Об исчислении времени» от 3 июня 2011 г. № 107-ФЗ [37] (Статья 7. Обеспечение единства измерений при осуществлении деятельности по исчислению времени);
- Федеральный закон «О геодезии и картографии» от 26 декабря 1995 г. № 209-ФЗ [38] (Статья 7. Обеспечение единства измерений при осуществлении геодезической и картографической деятельности);
- Федеральный закон Российской Федерации «О связи» от 7 июля 2003 г. № 126-ФЗ [39] (Статья 54. Оплата услуг связи);
- Федеральный закон «Об аккредитации в национальной системе аккредитации» от 28 декабря 2013 г. № 412-ФЗ [40].

Если международным договором РФ установлены иные правила, чем те, которые предусмотрены законодательством РФ об обеспечении единства измерений (ОЕИ), то в соответствующем контексте применяются правила международного договора.

Нормативные документы в области ОЕИ входят в государственную систему стандартизации (см. Федеральный закон РФ от 29 июня 2015 г. № 162-ФЗ «О стандартизации в Российской Федерации» [41]) в виде национальных стандартов (ГОСТ Р 8. …), международных и межгосударственных стандартов, принятых в РФ в качестве национальных (ГОСТ 8. …), правил, положений, рекомендаций, инструкций и других документов, общее число которых превышает 3000.

Функции федерального органа исполнительной власти по выработке государственной политики и нормативно-правовому регулированию, оказанию государственных услуг, управлению государственным имуществом в области обеспечения единства измерений и федеральному государственному метрологическому надзору осуществляют Минпромторг и подведомственный ему Росстандарт.

Сфера государственного регулирования обеспечения единства измерений распространяется на измерения, к которым установлены обязательные метрологические требования и которые выполняются при осуществлении деятельности и выполнении работ в установленных законом областях [3, ст. 1, п. 3]. К сфере государственного регулирования ОЕИ относятся также измерения, предусмотренные Федеральным

законом Российской Федерации от 27 декабря 2002 г. № 184-ФЗ «О техническом регулировании», техническими регламентами и иными нормативными правовыми актами. Сфера государственного регулирования ОЕИ распространяется также на единицы величин, эталоны, стандартные образцы и средства измерений, к которым установлены обязательные требования. Обязательные требования к измерениям, эталонам, стандартным образцам и средствам измерений устанавливаются законодательством Российской Федерации об ОЕИ и о техническом регулировании. Обязательные требования к единицам величин, выполнению работ и (или) оказанию услуг по ОЕИ устанавливаются законодательством Российской Федерации об ОЕИ.

Особенности ОЕИ при осуществлении деятельности в области обороны и безопасности государства и в области использования атомной энергии устанавливаются Правительством Российской Федерации (Постановление Правительства РФ от 02.10.2009 г. № 780 «Об особенностях обеспечения единства измерений при осуществлении деятельности в области обороны и безопасности Российской Федерации»; Постановление Правительства РФ от 30.12.2012 г. № 1488 «Об утверждении Положения об особенностях обеспечения единства измерений при осуществлении деятельности в области использования атомной энергии»).

Требования к измерениям

Измерения, относящиеся к сфере государственного регулирования ОЕИ, должны выполняться по первичным референтным методикам (методам) измерений, референтным методикам (методам) измерений и другим аттестованным методикам (методам) измерений, за исключением методик (методов) измерений, предназначенных для выполнения **прямых измерений**, с применением средств измерений утвержденного типа, прошедших поверку. Результаты измерений должны быть выражены в единицах величин, допущенных к применению в РФ. Методики (методы) измерений, предназначенные для выполнения прямых измерений, вносятся в эксплуатационную документацию на средства измерений. Подтверждение соответствия этих методик (методов) измерений обязательным метрологическим требованиям к измерениям осуществляется в процессе утверждения типов средств измерений. В остальных случаях подтверждение соответствия методик (методов) измерений обязательным метрологическим требованиям к измерениям осуществляется путем **аттестации методик (методов) измерений**. Сведения об аттестованных методиках (методах) измерений передаются в Федеральный информационный фонд по ОЕИ.

Федеральные органы исполнительной власти определяют измерения, относящиеся к сфере государственного регулирования ОЕИ, и устанавливают к ним **обязательные метрологические требования**, в том числе показатели точности измерений. При установлении обязательных метрологических требований могут использоваться результаты измерений, полученные с применением референтных методик (методов) измерений, а также первичных референтных методик (методов) измерений. Перечень измерений, относящихся к сфере государственного регулирования ОЕИ, утвержден постановлением Правительства РФ от 16 ноября 2020 г. № 1847.

Аттестацию первичных референтных методик (методов) измерений, референтных методик (методов) измерений и методик (методов) измерений, относящихся к сфере государственного регулирования, проводят юридические лица и индивидуальные предприниматели, аккредитованные в соответствии с законодательством РФ об аккредитации в национальной системе аккредитации на проведение аттестации методик (методов) измерений (Федеральный закон от 28 декабря 2013 г. № 412-ФЗ «Об аккредитации в национальной системе аккредитации»; Приказ Министерства экономического развития от 30 мая 2014 г. № 326 «Об утверждении критериев аккредитации, перечня документов, подтверждающих соответствие заявителя, аккредитованного лица критериям аккредитации, и перечня документов в области стандартизации, соблюдение требований которых заявителями, аккредитованными лицами обеспечивает их соответствие критериям аккредитации»).

Порядок аттестации первичных референтных методик (методов) измерений, референтных методик (методов) измерений и методик (методов) измерений и их применения установлен приказом Минпромторга РФ от 15.12.2015 № 4091 «Об утверждении Порядка аттестации первичных референтных методик (методов) измерений, референтных методик (методов) измерений, методик (методов) измерений и их применения»). Первичные референтные методики (методы) измерений и референтные методики (методы) измерений утверждаются Росстандартом.

Требования к единицам величин

В РФ применяются единицы величин Международной системы единиц, принятые Генеральной конференцией по мерам и весам (ГКМВ) и рекомендованные к применению Международной организацией законодательной метрологии (МОЗМ). Правительством РФ могут быть допущены к применению в РФ наравне с единицами величин Международной системы единиц внесистемные единицы величин. Наименования единиц

величин, допускаемых к применению в РФ, их обозначения, правила написания, а также правила их применения установлены постановлением Правительства РФ от 31 октября 2009 г. № 879 «Положение о единицах величин, допускаемых к применению в Российской Федерации». Действует также межгосударственный стандарт ГОСТ 8.417-2002 «ГСИ. Единицы величин». Характеристики и параметры продукции, поставляемой на экспорт, в том числе средств измерений, могут быть выражены в единицах величин, предусмотренных договором (контрактом), заключенным с заказчиком. Единицы величин передаются средствам измерений, техническим системам и устройствам с измерительными функциями от эталонов единиц величин и стандартных образцов.

В РФ также действует ОКЕИ (Общероссийский классификатор единиц измерения) – Классификатор ОК 015-94 (МК 002-97) с изменением № 15 от 1 июля 2020 г. (приказ Росстандарта от 23.06.2020 г. № 296-ст) (подробнее см. главу 4).

Требования к эталонам

Государственные эталоны образуют эталонную базу Российской Федерации. **Государственные первичные эталоны** (ГПЭ) не подлежат приватизации.

Сведения о государственных эталонах вносятся в Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений. ГПЭ содержатся и применяются в государственных научных метрологических институтах (ГНМИ). ГПЭ подлежат утверждению Росстандартом.

ГПЭ подлежат сличению с эталонами Международного бюро мер и весов (МБМВ) и национальными эталонами иностранных государств. Ответственность за своевременное представление ГПЭ на сличение несет ГНМИ, содержащий данный ГПЭ.

В РФ по закону должны применяться эталоны, прослеживаемые к ГПЭ соответствующих единиц или шкал измерений. В случае отсутствия соответствующих ГПЭ должна быть обеспечена **прослеживаемость** средств измерений, применяемых в сфере государственного регулирования ОЕИ к национальным эталонам иностранных государств.

Конструкция эталонов должна обеспечивать ограничение доступа к определенным частям эталонов (включая программное обеспечение) в целях предотвращения несанкционированной настройки и вмешательства, которые могут привести к искажению воспроизведения, хранения и передачи единицы или шкалы измерений.

Порядок утверждения, содержания, сличения и применения ГПЭ, порядок передачи единиц от государственных эталонов, порядок установления обязательных требований к эталонам, используемым для ОЕИ в

сфере государственного регулирования ОЕИ, порядок оценки соответствия этим требованиям, а также порядок их применения установлен постановлением Правительства РФ от 23 сентября 2010 г. № 734 «Об эталонах единиц величин, используемых в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений» и приказом Минпромторга РФ от 11.02.2020 № 456 «Об утверждении требований к содержанию и построению государственных поверочных схем и локальных поверочных схем, в том числе к их разработке, утверждению и изменению, требований к оформлению материалов первичной аттестации и периодической аттестации эталонов единиц величин, используемых в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений, формы свидетельства об аттестации эталона единицы величины, формы извещения о непригодности эталона единицы величины, требований к оформлению правил содержания и применения эталона единицы величины».

Действуют также нормативные документы: Рекомендация по метрологии Р50.2.078-2011 «ГСИ. Порядок подготовки к утверждению государственных первичных эталонов единиц величин», ГОСТ Р 8.885-2015 «ГСИ. Эталоны. Основные положения», ГОСТ Р 8.809-2012 «ГСИ. Эталоны первичные государственные. Создание, утверждение, содержание и применение», ГОСТ 8.381-2009 «ГСИ. Эталоны. Способы выражения точности».

Требования к стандартным образцам

Стандартные образцы предназначены для воспроизведения, хранения и передачи характеристик состава или свойств веществ (материалов), выраженных в значениях единиц величин, допущенных к применению в РФ. В сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений применяются стандартные образцы утвержденных типов.

Требования к средствам измерений

В сфере государственного регулирования ОЕИ к применению допускаются средства измерений утвержденного типа, прошедшие поверку, а также обеспечивающие соблюдение установленных законодательством РФ об ОЕИ обязательных требований, включая обязательные метрологические требования к измерениям, обязательные метрологические и технические требования к средствам измерений, и установленных законодательством РФ о техническом регулировании обязательных требований. В состав обязательных требований к средствам измерений в необходимых случаях включаются также требования к их составным частям, программному обеспечению и условиям эксплуатации

средств измерений. При применении средств измерений должны соблюдаться обязательные требования к условиям их эксплуатации.

Конструкция средств измерений должна обеспечивать ограничение доступа к определенным частям средств измерений (включая программное обеспечение) в целях предотвращения несанкционированных настройки и вмешательства, которые могут привести к искажениям результатов измерений.

Действует «Административный регламент по предоставлению Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии государственной услуги по отнесению технических средств к средствам измерений», утвержденный приказом Министерства промышленности и торговли РФ от 25.06.2013 г.

Порядок отнесения технических средств к средствам измерений установлен приказом Министерства промышленности и торговли РФ от 15.12.2015 № 4092 «Об утверждении Порядка отнесения технических средств к техническим системам и устройствам с измерительными функциями». Обязательные требования к техническим системам и устройствам с измерительными функциями, а также формы оценки их соответствия указанным требованиям устанавливаются законодательством РФ о техническом регулировании. ОЕИ при разработке, производстве и эксплуатации технических систем и устройств с измерительными функциями осуществляется в соответствии с законодательством РФ об ОЕИ.

Формы государственного регулирования в области обеспечения единства измерений

Государственное регулирование в области ОЕИ осуществляется в следующих формах:

- утверждение типа стандартных образцов или типа средств измерений;
- поверка средств измерений;
- метрологическая экспертиза;
- федеральный государственный метрологический надзор;
- аттестация методик (методов) измерений;
- аккредитация юридических лиц и индивидуальных предпринимателей на выполнение работ и (или) оказание услуг в области обеспечения единства измерений.

Утверждение типа стандартных образцов или типа средств измерений

Тип стандартных образцов или **тип средств измерений**, применяемых в сфере государственного регулирования ОЕИ, подлежит обязательному утверждению. При утверждении типа средств измерений

устанавливаются **показатели точности, интервал между поверками** средств измерений, а также **методика поверки** данного типа средств измерений.

Решение об утверждении типа стандартных образцов или типа средств измерений принимается Росстандартом на основании положительных результатов испытаний стандартных образцов или средств измерений в целях утверждения типа. Утверждение типа удостоверяется свидетельством об утверждении типа стандартных образцов или типа средств измерений, выдаваемым Росстандартом. В течение срока действия свидетельства об утверждении типа средств измерений интервал между поверками средств измерений может быть изменен только Росстандартом.

На каждый экземпляр средств измерений утвержденного типа на сопроводительные документы к указанным средствам измерений и на сопроводительные документы к стандартным образцам утвержденного типа наносится знак утверждения их типа. Конструкция средства измерений должна обеспечивать возможность нанесения этого знака в месте, доступном для просмотра. Если особенности конструкции средства измерений не позволяют нанести этот знак непосредственно на средство измерений, он наносится только на сопроводительные документы.

Испытания стандартных образцов или средств измерений в целях утверждения типа проводятся юридическими лицами, аккредитованными в соответствии с законодательством РФ об аккредитации в национальной системе аккредитации на выполнение испытаний в целях утверждения типа. Сведения об утвержденных типах стандартных образцов и типах средств измерений вносятся в Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений.

Порядок выполнения соответствующих работ и необходимые нормативные положения установлены приказом Министерства промышленности и торговли РФ от 28 августа 2020 г. № 2905 «Об утверждении порядка проведения испытаний стандартных образцов или средств измерений в целях утверждения типа, порядка утверждения типа стандартных образцов или типа средств измерений, внесения изменений в сведения о них, порядка выдачи сертификатов об утверждении типа стандартных образцов или типа средств измерений, формы сертификатов об утверждении типа стандартных образцов или типа средств измерений, требований к знакам утверждения типа стандартных образцов или типа средств измерений и порядка их нанесения».

Юридические лица и индивидуальные предприниматели, осуществляющие разработку, выпуск из производства, ввоз на территорию РФ, продажу и использование на территории РФ не предназначенных для применения в сфере государственного регулирования ОЕИ стандартных

образцов и средств измерений, могут в добровольном порядке представлять их на утверждение типа стандартных образцов или типа средств измерений.

Испытания стандартных образцов или средств измерений в целях утверждения типа – работы по определению метрологических и технических характеристик однотипных стандартных образцов или средств измерений.

Утверждение типа стандартных образцов или типа средств измерений – документально оформленное в установленном порядке решение о признании соответствия типа стандартных образцов или типа средств измерений метрологическим и техническим требованиям (характеристикам) на основании результатов испытаний стандартных образцов или средств измерений в целях утверждения типа.

Испытания стандартных образцов или средств измерений в целях утверждения типа и утверждение их типа **не относят к сертификации**; сертификация средств измерений является другой процедурой, осуществляемой в соответствии с положениями Федерального закона «О техническом регулировании».

Сертификация продукции, *сертификация* – деятельность по подтверждению соответствия продукции (услуг и иных объектов) установленным требованиям. Сертификация продукции может быть обязательной и добровольной.

Добровольная сертификация средств измерений, *добровольная сертификация* – сертификация, проводимая на добровольной основе по инициативе изготовителя (исполнителя), продавца (поставщика) или потребителя средств измерений.

Обязательная сертификация средств измерений осуществляется в целях обеспечения их безопасности.

Сертификационные испытания средств измерений – контрольные испытания средств измерений, проводимые с целью установления соответствия характеристик их свойств национальным и (или) международным нормативным документам.

Поверка средств измерений

Средства измерений (СИ), предназначенные для применения в сфере государственного регулирования ОЕИ, до ввода в эксплуатацию и после ремонта подлежат первичной поверке, а в процессе эксплуатации – периодической поверке. Юридические лица и индивидуальные предприниматели обязаны своевременно представлять такие СИ на поверку. Положения, относящиеся к поверке, к используемым государственным и локальным поверочным схемам (см. приказ Минпромторга от 11 февраля 2020 г. № 456) изложены также в разделе 10.

Поверку СИ осуществляют аккредитованные в соответствии с законодательством РФ об аккредитации в национальной системе аккредитации на проведение поверки СИ юридические лица и индивидуальные предприниматели. Правительством РФ (постановление от 20 апреля 2010 г. № 250) установлен перечень СИ, поверка которых осуществляется только аккредитованными в соответствии с законодательством РФ об аккредитации в национальной системе аккредитации **государственными региональными центрами метрологии** (ГРЦМ).

Порядок проведения поверки СИ, требования к знаку поверки и содержанию свидетельства о поверке утвержден приказом Министерства промышленности и торговли РФ от 31 июля 2020 г. № 2510. Сведения о результатах поверки СИ, предназначенных для применения в сфере государственного регулирования ОЕИ, передаются в Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений проводящими поверку СИ юридическими лицами и индивидуальными предпринимателями. СИ, не предназначенные для применения в сфере государственного регулирования ОЕИ, могут подвергаться поверке в добровольном порядке.

Метрологическая экспертиза

Содержащиеся в проектах нормативных правовых актов РФ требования к измерениям, стандартным образцам и средствам измерений подлежат обязательной метрологической экспертизе (МЭ). Заключения обязательной МЭ в отношении указанных требований рассматриваются подготавливающими и принимающими эти акты федеральными органами исполнительной власти. Обязательная МЭ содержащихся в проектах нормативных правовых актов РФ требований к измерениям, стандартным образцам и средствам измерений проводится государственными научными метрологическими институтами (ГНМИ).

Обязательная МЭ стандартов, проектной, конструкторской, технологической документации и других объектов проводится также в порядке и случаях, предусмотренных законодательством РФ. Указанную экспертизу проводят аккредитованные в соответствии с законодательством РФ об аккредитации в национальной системе аккредитации на выполнение обязательной МЭ юридические лица и индивидуальные предприниматели.

Порядок проведения обязательной МЭ установлен приказом Министерства промышленности и торговли РФ от 30.07.2015 № 2167 «Об утверждении Порядка проведения обязательной метрологической экспертизы содержащихся в проектах нормативных правовых актов

Российской Федерации требований к измерениям, стандартным образцам и средствам измерений».

В добровольном порядке может проводиться МЭ продукции, проектной, конструкторской, технологической документации и других объектов, в отношении которых законодательством РФ не предусмотрена обязательная МЭ.

Различают метрологическую экспертизу документации (технических заданий, проектов конструкторских и технологических документов, различных программ) и метрологическую экспертизу объектов (например, макетов сложных средств измерений, испытательных бассейнов).

Федеральный государственный метрологический надзор

Федеральный государственный метрологический надзор (ФГМН) осуществляется за:

• соблюдением обязательных требований в сфере государственного регулирования ОЕИ к измерениям, единицам измерений, а также к эталонам, стандартным образцам, средствам измерений при их выпуске из производства, ввозе на территорию РФ, продаже и применении на территории РФ;

• наличием и соблюдением аттестованных методик (методов) измерений.

ФГМН распространяется на деятельность юридических лиц и индивидуальных предпринимателей, осуществляющих:

• измерения, относящиеся к сфере государственного регулирования ОЕИ;

• выпуск из производства предназначенных для применения в сфере государственного регулирования ОЕИ эталонов, стандартных образцов и средств измерений, а также их ввоз на территорию РФ, продажу и применение на территории РФ;

• расфасовку товаров.

Юридические лица, индивидуальные предприниматели представляют **уведомления** о начале своей деятельности по производству эталонов, стандартных образцов и средств измерений в порядке, установленном Федеральным законом от 26 декабря 2008 года № 294-ФЗ «О защите прав юридических лиц и индивидуальных предпринимателей при осуществлении государственного контроля (надзора) и муниципального контроля».

ФГМН осуществляется уполномоченными федеральными органами исполнительной власти (органами государственного надзора) согласно их компетенции в порядке, установленном постановлением Правительства РФ от 6 апреля 2011 г. № 246 «Об осуществлении федерального

государственного метрологического надзора». К отношениям, связанным с осуществлением ФГМН, организацией и проведением проверок юридических лиц, индивидуальных предпринимателей, применяются положения Федерального закона от 26 декабря 2008 г. № 294-ФЗ «О защите прав юридических лиц и индивидуальных предпринимателей при осуществлении государственного контроля (надзора) и муниципального контроля». Права и обязанности должностных лиц при осуществлении ФГМН установлены в статье 17 Федерального закона «Об обеспечении единства измерений» от 26 июня 2008 г. № 102-ФЗ.

Калибровка средств измерений

Средства измерений, не предназначенные для применения в сфере государственного регулирования ОЕИ, могут в добровольном порядке подвергаться калибровке. Калибровка средств измерений выполняется с использованием эталонов соответствующих единиц или шкал измерений, метрологическая прослеживаемость которых подтверждена (см. главу 10). Выполняющие калибровку средств измерений юридические лица и индивидуальные предприниматели в добровольном порядке могут быть аккредитованы в области ОЕИ.

Результаты калибровки средств измерений, выполненной юридическими лицами или индивидуальными предпринимателями, аккредитованными в соответствии с законодательством РФ об аккредитации в национальной системе аккредитации, могут быть использованы при поверке средств измерений в сфере государственного регулирования ОЕИ. Порядок признания результатов калибровки при поверке и требования к содержанию сертификата калибровки, включая прослеживаемость, установлены постановлением Правительства РФ от 2 апреля 2015 г. № 311 «Об утверждении Положения о признании результатов калибровки при поверке средств измерений в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений».

Положения, относящиеся к процедуре калибровки, изложены в разделе 10. Калибровка должна осуществляться по согласованной с заказчиком методике калибровки, содержащей бюджет **неопределенности измерений** при калибровке.

Аккредитация в области обеспечения единства измерений

Аккредитация в области ОЕИ осуществляется в целях официального признания компетентности юридического лица или индивидуального предпринимателя выполнять работы и (или) оказывать услуги по ОЕИ в соответствии с законом. К указанным работам и (или) услугам относятся:

- аттестация методик (методов) измерений, относящихся к сфере государственного регулирования ОЕИ;
- испытания стандартных образцов или средств измерений в целях утверждения типа;
- поверка средств измерений;
- обязательная метрологическая экспертиза стандартов, продукции, проектной, конструкторской, технологической документации и других объектов, проводимая в случаях, предусмотренных законодательством РФ.

Аккредитация в области ОЕИ осуществляется в соответствии с Федеральным законом РФ от 28 декабря 2013 г. № 412-ФЗ «Об аккредитации в национальной системе аккредитации» [40] и нормативным документом «Критерии аккредитации и перечень документов, подтверждающих соответствие заявителя и аккредитованного лица критериям аккредитации», утвержденным приказом Минэкономразвития России от 30.05.2014 г. № 326. Критерии аккредитации на деятельность в области ОЕИ связаны с системами менеджмента качества (ГОСТ Р ИСО 9000. Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь). Система менеджмента качества заявителя должна соответствовать требованиям ГОСТ ИСО/МЭК 17025. Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий.

Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений

Нормативные правовые акты РФ, нормативные документы, информационные базы данных, международные документы, международные договоры РФ в области ОЕИ, сведения об аттестованных методиках (методах) измерений, единый перечень измерений, относящихся к сфере государственного регулирования ОЕИ, сведения о государственных эталонах, применяемых в сфере государственного регулирования ОЕИ, сведения об утвержденных типах стандартных образцов или типах средств измерений, сведения о результатах поверки средств измерений образуют Федеральный информационный фонд по ОЕИ. Ведение Федерального информационного фонда по ОЕИ и предоставление содержащихся в нем сведений организует Росстандарт. Порядок создания и ведения этого фонда установлен Приказом Министерства промышленности и торговли РФ от 20.08.2013 г. № 1328 «Об утверждении Порядка создания и ведения Федерального информационного фонда по обеспечению единства измерений, передачи сведений в него».

Организационные основы обеспечения единства измерений

Деятельность по обеспечению единства измерений (ОЕИ**)** основывается на законодательстве РФ об ОЕИ и осуществляется:

• федеральными органами исполнительной власти (ФОИВ), осуществляющими функции по выработке государственной политики и нормативно-правовому регулированию, оказанию государственных услуг, управлению государственным имуществом в области ОЕИ и федеральному государственному метрологическому надзору;

• подведомственными федеральному органу исполнительной власти, осуществляющему функции по оказанию государственных услуг и управлению государственным имуществом в области ОЕИ, государственными научными метрологическими институтами (ГНМИ) и государственными региональными центрами метрологии (ГРЦМ);

• Государственной службой времени, частоты и определения параметров вращения Земли (ГСВЧ), Государственной службой стандартных справочных данных о физических константах и свойствах веществ и материалов (ГСССД), Государственной службой стандартных образцов состава и свойств веществ и материалов (ГССО), руководство которыми осуществляет ФОИВ, осуществляющий функции по оказанию государственных услуг и управлению государственным имуществом в области ОЕИ;

• метрологическими службами, а также аккредитованными в соответствии с законодательством РФ об аккредитации в национальной системе аккредитации юридическими лицами и индивидуальными предпринимателями.

ГСВЧ, ГСССД, ГССО осуществляют деятельность в соответствии с положениями о них, утвержденными Правительством РФ.

Основными задачами ФОИВ, осуществляющих функции по выработке государственной политики и нормативно-правовому регулированию, оказанию государственных услуг, управлению государственным имуществом в области ОЕИ и государственному метрологическому надзору, **являются**:

- разработка государственной политики и нормативно-правовое регулирование в области ОЕИ, а также координация деятельности по нормативно-правовому регулированию в данной области;
- организация взаимодействия с органами государственной власти иностранных государств и международными организациями в области ОЕИ;
- реализация государственной политики в области ОЕИ;
- координация деятельности по реализации государственной политики в области ОЕИ;

- осуществление федерального государственного метрологического надзора и координация деятельности по его осуществлению.

Уполномоченными Правительством РФ ФОИВ являются Минпромторг России, на который возложена обязанность по выработке государственной политики и нормативно-правовому регулированию в области ОЕИ, и подведомственное Минпромторгу Агентство по техническому регулированию и метрологии (Росстандарт), выполняющее функции по оказанию государственных услуг и управлению государственным имуществом в области ОЕИ, осуществлению государственного метрологического надзора, а также по межрегиональной и межотраслевой координации деятельности в области ОЕИ и взаимодействию с международными организациями в сфере ОЕИ.

Межрегиональные территориальные управления *(МТУ)* – территориальные органы Росстандарта осуществляют федеральный государственный метрологический надзор за выпуском, состоянием и применением средств измерений, аттестованными методиками измерений эталонами, соблюдением метрологических правил и норм, а также государственный метрологический надзор за количеством товаров, отчуждаемых при совершении торговых операций и за количеством фасованных товаров и др.

ОЕИ в сфере обороны и безопасности государства организовано и осуществляется в подсистеме, организационную основу которой составляет Метрологическая служба Вооруженных Сил РФ, метрологические службы федеральных органов исполнительной власти сферы обороны и безопасности государства, метрологические воинские части и подразделения.

Основными задачами ГНМИ являются:

- проведение фундаментальных и прикладных научных исследований, экспериментальных разработок и осуществление научно-технической деятельности в области ОЕИ;
- разработка, совершенствование, содержание, сличение и применение государственных первичных эталонов;
- передача единиц и шкал измерений от государственных первичных эталонов;
- участие в разработке проектов нормативных документов в области ОЕИ;
- проведение обязательной метрологической экспертизы содержащихся в проектах нормативных правовых актов Российской Федерации требований к измерениям, стандартным образцам и средствам измерений;
- создание и ведение Федерального информационного фонда по ОЕИ и предоставление содержащихся в нем документов и сведений;
- участие в международном сотрудничестве в области метрологии.

ГНМИ могут также выполнять иные работы и (или) оказывать иные услуги по ОЕИ.

В РФ функционируют ГНМИ:

• Всероссийский НИИ метрологии им. Д.И. Менделеева (ВНИИМ, г. С.-Петербург) и его филиалы:

- Всероссийский НИИ расходометрии, ВНИИР, г. Казань,
- Уральский НИИ метрологии, УНИИМ, г. Екатеринбург;

• Всероссийский НИИ физико-технических и радиотехнических измерений (ВНИИФТРИ, п. Менделеево Московской области) и его филиалы:

- Западно-Сибирский, г. Новосибирск,
- Восточно-Сибирский, г. Иркутск,
- Дальневосточный, г. Хабаровск,
- Камчатский, г. Петропавловск-Камчатский;

• Всероссийский НИИ оптико-физических измерений (ВНИИОФИ, г. Москва);

• Всероссийский НИИ метрологической службы (ВНИИМС, г. Москва).

ГРЦМ создаются в форме федеральных бюджетных учреждений или федеральных автономных учреждений для выполнения работ и (или) оказания услуг в целях обеспечения реализации полномочий ФОИВ, осуществляющего функции по оказанию государственных услуг и управлению государственным имуществом в области ОЕИ, на территории РФ. **Основными задачами ГРЦМ являются**:

- совершенствование, содержание и применение государственных эталонов, используемых для обеспечения прослеживаемости;
- участие в оказании государственных услуг по ОЕИ в соответствии с областью аккредитации;
- проведение поверки средств измерений, входящих в перечень средств измерений, поверка которых осуществляется только аккредитованными в области ОЕИ ГРЦМ, а также других средств измерений в соответствии с установленной областью аккредитации;
- передача единиц и шкал измерений от государственных эталонов.

ГРЦМ могут также выполнять иные работы и (или) оказывать иные услуги по ОЕИ.

Государственная служба времени, частоты и определения параметров вращения Земли (ГСВЧ) осуществляет научно-техническую и метрологическую деятельность по воспроизведению национальной шкалы времени и эталонных частот, по определению параметров вращения Земли, а также по обеспечению потребности государства, включая решение задач спутниковой навигации, в эталонных сигналах времени и частоты, в информации о параметрах вращения Земли и точном значении

московского времени и календарной дате. На ГНМИ ВНИИФТРИ возложены функции Главного метрологического центра ГСВЧ.

ГССО осуществляет деятельность по разработке, испытанию и внедрению стандартных образцов (СО) состава и свойств веществ и материалов в целях ОЕИ на основе применения указанных стандартных образцов, а также по ведению соответствующих разделов Федерального информационного фонда по ОЕИ. В ГССО входят производители СО (НИИ и промышленные предприятия). Их деятельность опирается на развитую нормативную базу и координируется филиалом ГНМИ ВНИИМ им. Д.И. Менделеева – УНИИМ, г. Екатеринбург. В Государственном реестре зарегистрированы многие тысячи типов государственных стандартных образцов (ГСО) чёрных и цветных металлов, минерального сырья, газовых смесей, водных растворов, ГСО для пищевой и фармацевтической промышленности, медицины, сельского хозяйства.

ГСССД осуществляет деятельность по разработке и внедрению стандартных справочных данных о физических константах и свойствах веществ и материалов в науке и технике в целях ОЕИ на основе применения указанных стандартных справочных данных, а также по ведению соответствующих разделов Федерального информационного фонда по ОЕИ. ГСССД осуществляет межрегиональную и межотраслевую координацию работ по разработке и внедрению стандартных справочных данных (ССД) о физических константах (ФК) и свойствах веществ и материалов в науке и технике. Фонд таблиц ССД является составной частью фонда аттестованных в ГСССД справочных данных (АСД). Фонд АСД помимо ССД включает также таблицы рекомендуемых справочных данных (РСД) и «Методики ГСССД». Фонд АСД насчитывает многие сотни документов. Каждый документ содержит от нескольких десятков до нескольких сотен и тысяч значений свойств. Осуществление деятельности ГСССД возложено на ГНМИ ВНИИМС, г. Москва.

Метрологические службы

ФОИВ и государственные корпорации, осуществляющие функции в областях деятельности, указанных в частях 3 и 4 статьи 1 Федерального закона «Об обеспечении единства измерений» от 26 июня 2008 г. № 102-ФЗ (ФЗ № 102), создают в установленном порядке метрологические службы (МС) в целях организации деятельности по ОЕИ в пределах своей компетенции. Положения о МС утверждаются руководителями ФОИВ или государственных корпораций, создавших МС, по согласованию с ФОИВ, осуществляющим функции по выработке государственной политики и нормативно-правовому регулированию в области ОЕИ (с Минпромторгом РФ).

Юридические лица и индивидуальные предприниматели, осуществляющие деятельность в областях, указанных в частях 3 и 4 статьи 1 ФЗ № 102, могут создавать МС в добровольном порядке. Положения о таких МС утверждаются руководителями этих юридических лиц или индивидуальными предпринимателями. Другими федеральными законами может быть установлена обязательность создания МС.

Ответственность за нарушение законодательства Российской Федерации об обеспечении единства измерений

Юридические лица, их руководители и работники, индивидуальные предприниматели, допустившие нарушения законодательства РФ об ОЕИ, необоснованно препятствующие осуществлению федерального государственного метрологического надзора и (или) не исполняющие в установленный срок предписаний федеральных органов исполнительной власти, осуществляющих **федеральный государственный метрологический надзор**, об устранении выявленных нарушений, несут ответственность в соответствии с законодательством РФ.

За нарушения законодательства РФ об ОЕИ должностные лица ФОИВ, осуществляющих функции по выработке государственной политики и нормативно-правовому регулированию, оказанию государственных услуг, управлению государственным имуществом в области ОЕИ, а также ФОИВ, осуществляющих государственный метрологический надзор, и подведомственных им организаций несут ответственность в соответствии с законодательством РФ. Действия (бездействие) должностных лиц могут быть обжалованы в соответствии с законодательством РФ. Обжалование действий (бездействия) должностных лиц не приостанавливает исполнения их предписаний, за исключением случаев, установленных законодательством РФ.

Финансирование в области обеспечения единства измерений

За счет средств федерального бюджета финансируются расходы на:

- разработку, совершенствование, содержание государственных первичных эталонов, а также разработку и совершенствование государственных первичных референтных методик (методов) измерений;
- разработку и совершенствование государственных эталонов;
- фундаментальные исследования в области метрологии;
- выполнение работ, связанных с деятельностью Государственной службы времени, частоты и определения параметров вращения Земли, Государственной службы стандартных справочных данных о физических константах и свойствах веществ и материалов, Государственной службы стандартных образцов состава и свойств веществ и материалов;

• разработку утверждаемых федеральными органами исполнительной власти нормативных документов в области ОЕИ;

• выполнение работ по федеральному государственному метрологическому надзору;

• проведение сличения государственных первичных эталонов с эталонами Международного бюро мер и весов и национальными эталонами иностранных государств;

• уплату взносов РФ в международные организации по метрологии;

• создание и ведение Федерального информационного фонда по обеспечению единства измерений.

Работы и (или) услуги по проведению обязательной метрологической экспертизы содержащихся в проектах нормативных правовых актов РФ требований к измерениям, стандартным образцам и средствам измерений, по передаче единиц от государственных эталонов и поверке средств измерений, входящих в перечень средств измерений, поверка которых осуществляется только аккредитованными в области ОЕИ государственными региональными центрами метрологии (ГРЦМ), оплачиваются по регулируемым ценам в порядке, установленном постановлением Правительства РФ от 22.12.2009 № 1057 «О порядке оплаты работ и (или) услуг по обеспечению единства измерений по регулируемым ценам».

Работы и (или) услуги по проведению испытаний стандартных образцов или средств измерений в целях утверждения типа, аттестации методик (методов) измерений, метрологической экспертизы, по поверке средств измерений, не вошедших в перечень средств измерений, оплачиваемых по регулируемым ценам, калибровке средств измерений оплачиваются заинтересованными лицами в соответствии с условиями заключенных договоров (контрактов), если иное не предусмотрено законодательством РФ.

ГРЦМ в пределах установленного государственного задания оказывают государственные услуги и (или) выполняют работы в области ОЕИ для граждан и юридических лиц за плату по регулируемым ценам в порядке, установленном Правительством РФ, и на одинаковых при оказании одних и тех же услуг условиях.

13. ВЗАИМОСВЯЗЬ МЕТРОЛОГИИ С ТЕХНИЧЕСКИМ РЕГУЛИРОВАНИЕМ

Техническое регулирование

Основы технического регулирования установлены Федеральным законом РФ «О техническом регулировании» от 27.12. 2002 г. № 184-ФЗ [4] (далее – закон № 184-ФЗ). В этом законе дано определение:

техническое регулирование – правовое регулирование отношений в области установления, применения и исполнения **обязательных требований к продукции** или к продукции и связанным с требованиями к продукции **процессам** проектирования (включая изыскания), производства, строительства, монтажа, наладки, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации, а также в области **применения на добровольной основе требований к продукции**, процессам проектирования (включая изыскания), производства, строительства, монтажа, наладки, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации, выполнению работ или оказанию услуг и правовое регулирование отношений в области **оценки соответствия**.

Требования к функционированию единой сети связи РФ, связанные с обеспечением целостности, устойчивости функционирования указанной сети связи и ее безопасности, отношения, связанные с обеспечением целостности единой сети связи РФ и использованием радиочастотного спектра, соответственно устанавливаются и регулируются законодательством РФ в области связи (Федеральный закон РФ «О связи» от 7 июля 2003 г. № 126-ФЗ [39]).

В законе № 184-ФЗ также даны определения и других основных понятий, часть которых представлена ниже:

безопасность продукции и связанных с ней процессов производства, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации (далее – безопасность) – состояние, при котором **отсутствует недопустимый риск**, связанный с причинением **вреда** жизни или здоровью граждан, имуществу физических или юридических лиц, государственному или муниципальному имуществу, окружающей среде, жизни или здоровью животных и растений;

декларирование соответствия – форма подтверждения соответствия продукции требованиям технических регламентов;

декларация о соответствии – документ, удостоверяющий соответствие выпускаемой в обращение продукции требованиям технических регламентов;

заявитель – физическое или юридическое лицо, которое для подтверждения соответствия принимает декларацию о соответствии или обращается за получением сертификата соответствия, получает сертификат;

знак обращения на рынке – обозначение, служащее для информирования приобретателей, в том числе потребителей, о соответствии выпускаемой в обращение продукции требованиям **технических регламентов**;

знак соответствия – обозначение, служащее для информирования приобретателей, в том числе потребителей, о соответствии объекта сертификации требованиям системы **добровольной сертификации или национальному стандарту**;

идентификация продукции – установление тождественности характеристик продукции ее существенным признакам;

контроль (надзор) за соблюдением требований технических регламентов – проверка выполнения юридическим лицом или индивидуальным предпринимателем требований технических регламентов к продукции или к продукции и связанным с требованиями к продукции процессам проектирования (включая изыскания), производства, строительства, монтажа, наладки, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации и принятие мер по результатам проверки;

международный стандарт – стандарт, принятый международной организацией;

орган по сертификации – юридическое лицо или индивидуальный предприниматель, аккредитованные в соответствии с законодательством РФ об аккредитации в национальной системе аккредитации для выполнения работ по сертификации;

оценка соответствия – прямое или косвенное определение соблюдения требований, предъявляемых к объекту;

подтверждение соответствия – документальное удостоверение соответствия продукции или иных объектов, процессов проектирования (включая изыскания), производства, строительства, монтажа, наладки, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации, выполнения работ или оказания услуг требованиям технических регламентов, документам по стандартизации или условиям договоров;

продукция – результат деятельности, представленный в материально-вещественной форме и предназначенный для дальнейшего использования в хозяйственных и иных целях;

риск – вероятность причинения вреда жизни или здоровью граждан, имуществу физических или юридических лиц, государственному или муниципальному имуществу, окружающей среде, жизни или здоровью животных и растений с учетом тяжести этого вреда;

сертификация – форма осуществляемого органом по сертификации подтверждения соответствия объектов требованиям технических регламентов, документам по стандартизации или условиям договоров;

сертификат соответствия – документ, удостоверяющий соответствие объекта требованиям технических регламентов, документам по стандартизации или условиям договоров;

система сертификации – совокупность правил выполнения работ по сертификации, ее участников и правил функционирования системы сертификации в целом;

технический регламент – документ, который принят международным договором РФ, подлежащим ратификации в порядке, установленном законодательством РФ, или в соответствии с международным договором РФ, ратифицированным в порядке, установленном законодательством РФ, или указом Президента РФ, или постановлением Правительства РФ, или нормативным правовым актом ФОИВ по техническому регулированию и устанавливает обязательные для применения и исполнения требования к объектам технического регулирования (продукции или к продукции и связанным с требованиями к продукции процессам проектирования (включая изыскания), производства, строительства, монтажа, наладки, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации);

форма подтверждения соответствия – определенный порядок документального удостоверения соответствия продукции или иных объектов, процессов проектирования (включая изыскания), производства, строительства, монтажа, наладки, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации, выполнения работ или оказания услуг требованиям технических регламентов, положениям документов по стандартизации или условиям договоров;

схема подтверждения соответствия – перечень действий участников подтверждения соответствия, результаты которых рассматриваются ими в качестве доказательств соответствия продукции и иных объектов установленным требованиям;

региональная организация по стандартизации – организация, членами (участниками) которой являются национальные органы (организации) по стандартизации государств, входящих в один географический регион мира и (или) группу стран, находящихся в соответствии с международными договорами в процессе экономической интеграции;

стандарт иностранного государства – стандарт, принятый национальным (компетентным) органом (организацией) по стандартизации иностранного государства;

региональный стандарт – стандарт, принятый региональной организацией по стандартизации;

свод правил иностранного государства – свод правил, принятый компетентным органом иностранного государства;

региональный свод правил – свод правил, принятый региональной организацией по стандартизации.

Федеральные органы исполнительной власти (ФОИВ) вправе издавать в сфере технического регулирования акты только рекомендательного характера, за исключением особо оговоренных в законодательстве случаев.

В отношении оборонной продукции (работ, услуг), поставляемой по государственному оборонному заказу; продукции (работ, услуг), используемой в целях защиты сведений, составляющих государственную тайну или относимых к охраняемой в соответствии с законодательством РФ иной информации ограниченного доступа; продукции (работ, услуг), сведения о которой составляют государственную тайну; продукции, для которой устанавливаются требования, связанные с обеспечением безопасности в области использования атомной энергии; процессов проектирования (включая изыскания), производства, строительства, монтажа, наладки, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации, утилизации, захоронения соответственно указанной продукции обязательными требованиями наряду с требованиями технических регламентов являются **требования, установленные государственными заказчиками**, ФОИВ, уполномоченными в области обеспечения безопасности, обороны, внешней разведки, противодействия техническим разведкам и технической защиты информации, государственного управления использованием атомной энергии, государственного регулирования безопасности при использовании атомной энергии, и (или) государственными контрактами (договорами). **Особенности технического регулирования** в указанной части устанавливаются Президентом РФ, Правительством РФ в соответствии с их полномочиями.

Особенности технического регулирования в области обеспечения безопасности зданий и сооружений устанавливаются Федеральным законом «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений».

Технические регламенты

Технические регламенты (ТР) принимаются в целях:

- **защиты** жизни или здоровья граждан, имущества физических или юридических лиц, государственного или муниципального имущества;
- **охраны** окружающей среды, жизни или здоровья животных и растений;
- **предупреждения** действий, вводящих в заблуждение приобретателей и потребителей;
- **обеспечения** энергетической эффективности и ресурсосбережения.

Принятие ТР в иных целях не допускается.

ТР с учетом степени риска причинения вреда устанавливают минимально необходимые требования, обеспечивающие:

- **безопасность** излучений; биологическую безопасность; взрывобезопасность; механическую безопасность; пожарную безопасность; безопасность продукции (технических устройств, применяемых на опасном производственном объекте); термическую безопасность; химическую безопасность; электрическую безопасность; радиационную безопасность населения;
- **электромагнитную совместимость** в части обеспечения безопасности работы приборов и оборудования;
- **единство измерений**;
- другие виды безопасности, соответствующие указанным выше целям.

Требования ТР не могут служить препятствием предпринимательской деятельности в большей степени, чем это минимально необходимо для выполнения целей безопасности.

ТР должен содержать перечень и (или) описание объектов технического регулирования, требования к этим объектам и правила их идентификации в целях применения ТР. ТР также должен содержать правила и формы оценки соответствия, определяемые с учетом степени риска, предельные сроки оценки соответствия в отношении каждого объекта технического регулирования и (или) требования к терминологии, упаковке, маркировке или этикеткам и правилам их нанесения. ТР должен содержать требования энергетической эффективности и ресурсосбережения. Оценка соответствия проводится в формах государственного контроля (надзора), испытания, регистрации, подтверждения соответствия, приемки и ввода в эксплуатацию объекта, строительство которого закончено, и в иной форме. Содержащиеся в ТР обязательные требования имеют прямое действие на всей территории РФ и могут быть изменены только путем внесения изменений и дополнений в соответствующий ТР. Не включенные в ТР требования не могут носить обязательный характер.

ТР должен содержать обобщенные и (или) конкретные требования к характеристикам продукции или к продукции и связанным с требованиями к продукции процессам проектирования (изыскания), производства, строительства, монтажа, наладки, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации, но не должен содержать требований к конструкции и исполнению, за исключением случаев, когда отсутствие требований к конструкции и исполнению с учетом степени риска причинения вреда не обеспечивает достижение установленных целей безопасности. В ТР с учетом степени риска причинения вреда могут содержаться **специальные требования**, **обеспечивающие защиту отдельных категорий граждан** (несовершеннолетних, беременных жен-

щин, кормящих матерей, инвалидов). ТР применяются одинаковым образом и в равной мере независимо от вида нормативного правового акта, которым они приняты, страны и (или) места происхождения продукции.

ТР не может содержать требования к продукции, причиняющей вред жизни или здоровью граждан, накапливаемый при длительном использовании этой продукции и зависящий от других факторов, не позволяющих определить степень допустимого риска. В этих случаях ТР может содержать требование, касающееся информирования приобретателя, в том числе потребителя, о возможном вреде и о факторах, от которых он зависит.

Международные стандарты должны использоваться полностью или частично в качестве основы для разработки проектов ТР, за исключением случаев, если международные стандарты или их разделы были бы неэффективными или не подходящими для достижения установленных целей, в том числе вследствие климатических и географических особенностей РФ, технических и (или) технологических особенностей. Национальные стандарты РФ могут использоваться полностью или частично в качестве основы для разработки проектов ТР. **ТР может содержать специальные требования**, применяемые в отдельных местах происхождения продукции. ТР устанавливают также минимально необходимые ветеринарно-санитарные и фитосанитарные меры.

ТР, принимаемый постановлением Правительства РФ или нормативным правовым актом ФОИВ по техническому регулированию, **вступает в силу не ранее чем через шесть месяцев со дня его официального опубликования**.

Правительством РФ или ФОИВ по техническому регулированию **до дня вступления в силу ТР утверждается** в соответствии с требованиями законодательства РФ в области обеспечения единства измерений **перечень документов по стандартизации, содержащих правила и методы исследований (испытаний) и измерений, в том числе правила отбора образцов, необходимые для применения и исполнения принятого ТР и осуществления оценки соответствия.** В случае отсутствия указанных документов по стандартизации применительно к отдельным требованиям ТР утверждаются такие правила и методы. **Проекты указанных правил и методов** разрабатываются с использованием документов по стандартизации, публикуются в печатном издании ФОИВ по техническому регулированию и **размещаются в информационной системе общего пользования не позднее чем за тридцать дней до дня утверждения указанных правил и методов**.

Порядок разработки, принятия, изменения и отмены ТР

ТР принимается федеральным законом или постановлением Правительства РФ. Разработчиком проекта ТР может быть любое лицо.

О разработке проекта ТР публикуется уведомление для его публичного обсуждения в течение не менее двух месяцев. Затем разработчик дорабатывает проект ТР с учетом полученных замечаний. ФОИВ по техническому регулированию публикует уведомления о разработке проекта ТР и завершении публичного обсуждения этого проекта.

Проект постановления Правительства РФ о ТР должен быть опубликован и направлен на экспертизу не позже чем за тридцать дней до дня его рассмотрения на заседании Правительства РФ. Экспертиза проектов ТР осуществляется экспертными комиссиями по техническому регулированию. Заключения этих комиссий подлежат обязательному опубликованию.

В случае несоответствия ТР интересам национальной экономики Правительство РФ или ФОИВ по техническому регулированию обязаны начать процедуру внесения изменений в ТР или отмены ТР.

В исключительных случаях (при возникновении обстоятельств, приводящих к непосредственной угрозе и необходимости незамедлительного принятия соответствующего нормативного правового акта о ТР) Президент РФ вправе издать ТР без его публичного обсуждения.

ФОИВ в сфере стандартизации не позднее, чем за тридцать дней до дня вступления в силу технического регламента, утверждается, опубликовывается и размещается в информационной системе общего пользования перечень документов по стандартизации, в результате применения которых на добровольной основе обеспечивается соблюдение требований принятого технического регламента. В этот перечень могут включаться национальные стандарты РФ и своды правил, а также международные стандарты, региональные стандарты, региональные своды правил, стандарты иностранных государств и своды правил иностранных государств при условии регистрации указанных стандартов и сводов правил в Федеральном информационном фонде технических регламентов и стандартов. В национальных стандартах РФ и сводах правил могут указываться требования технических регламентов, для соблюдения которых на добровольной основе применяются национальные стандарты РФ и (или) своды правил.

Применение на добровольной основе стандартов и (или) сводов правил, включенных в указанный перечень документов по стандартизации, является достаточным условием соблюдения требований соответствующих технических регламентов. В случае применения таких стандартов и (или) сводов правил для соблюдения требований

технических регламентов оценка соответствия требованиям технических регламентов может осуществляться на основании подтверждения их соответствия таким стандартам и (или) сводам правил. Неприменение таких стандартов и (или) сводов правил не может оцениваться как несоблюдение требований технических регламентов. В этом случае допускается применение предварительных национальных стандартов РФ, стандартов организаций и (или) иных документов для оценки соответствия требованиям технических регламентов.

Документы по стандартизации, включенные в перечень, подлежат ревизии и в необходимых случаях пересмотру и (или) актуализации не реже чем один раз в пять лет.

Стандартизация

Деятельность по стандартизации осуществляется в соответствии с **Федеральным законом РФ «О стандартизации в Российской Федерации»** от 29.06.2015 г. № 162-ФЗ [41] (далее – закон № 162-ФЗ). Этот закон устанавливает правовые основы стандартизации в РФ, в том числе функционирования национальной системы стандартизации, и направлен на проведение единой государственной политики в сфере стандартизации. Закон регулирует отношения в сфере стандартизации, включая отношения, возникающие при разработке (ведении), утверждении, изменении (актуализации), отмене, опубликовании и применении только предусмотренных законом следующих документов по стандартизации:

1) документы национальной системы стандартизации;

2) общероссийские классификаторы;

3) стандарты организаций, в том числе технические условия;

4) своды правил;

5) документы по стандартизации, которые устанавливают обязательные требования в отношении объектов стандартизации, предусмотренных настоящим Федеральным законом.

Основные понятия в сфере стандартизации

В законе № 162-ФЗ также даны следующие определения основных понятий:

1) ***документ по стандартизации*** – документ, в котором для добровольного и многократного применения устанавливаются общие характеристики объекта стандартизации, а также правила и общие принципы в отношении объекта стандартизации, за исключением случаев, если обязательность применения документов по стандартизации устанавливается настоящим Федеральным законом;

2) ***документы, разрабатываемые и применяемые в национальной системе стандартизации*** *(далее – документы национальной системы стандартизации)*, – национальный стандарт РФ (далее – **национальный стандарт**), в том числе основополагающий национальный стандарт РФ (далее – **основополагающий национальный стандарт**), и предварительный национальный стандарт РФ (далее – **предварительный национальный стандарт**), а также **правила стандартизации**, **рекомендации по стандартизации**, **информационно-технические справочники**;

3) ***информационно-технический справочник*** – документ национальной системы стандартизации, утвержденный ФОИВ в сфере стандартизации, содержащий систематизированные данные в определенной области и включающий в себя описание технологий, процессов, методов, способов, оборудования и иные данные;

4) ***национальная система стандартизации*** – механизм обеспечения согласованного взаимодействия участников работ по стандартизации (ФОИВ, осуществляющий функции по выработке государственной политики и нормативно-правовому регулированию в сфере стандартизации, ФОИВ в сфере стандартизации, другие ФОИВ, Государственная корпорация по атомной энергии «Росатом» и иные государственные корпорации в соответствии с установленными полномочиями в сфере стандартизации, технические комитеты по стандартизации, проектные технические комитеты по стандартизации, комиссия по апелляциям, юридические лица, в том числе общественные объединения, зарегистрированные на территории РФ, физические лица – граждане РФ) на основе принципов стандартизации при разработке (ведении), утверждении, изменении (актуализации), отмене, опубликовании и применении документов по стандартизации, предусмотренных настоящим Федеральным законом, с использованием нормативно-правового, информационного, научно-методического, финансового и иного ресурсного обеспечения;

5) ***национальный стандарт*** – документ по стандартизации, который разработан техническим комитетом по стандартизации или проектным техническим комитетом по стандартизации, утвержден ФОИВ в сфере стандартизации, и **в котором для всеобщего применения устанавливаются общие характеристики объекта стандартизации, а также правила и общие принципы в отношении объекта стандартизации**;

6) ***объект стандартизации*** – продукция (работы, услуги) (далее – продукция), процессы, системы менеджмента, терминология, условные обозначения, исследования (испытания) и измерения (включая отбор образцов) и методы испытаний, маркировка, процедуры оценки соответствия и иные объекты;

7) ***общероссийский классификатор технико-экономической и социальной информации*** (далее – общероссийский классификатор) – документ по стандартизации, распределяющий технико-экономическую и социальную информацию в соответствии с ее классификацией (классами, группами, видами и другим) и являющийся обязательным для применения в государственных информационных системах и при межведомственном обмене информацией в порядке, установленном федеральными законами и иными нормативными правовыми актами РФ;

8) ***основополагающий национальный стандарт*** – национальный стандарт, разработанный и утвержденный ФОИВ в сфере стандартизации, устанавливающий общие положения, касающиеся выполнения работ по стандартизации, а также виды национальных стандартов;

9) ***правила стандартизации*** – документ национальной системы стандартизации, разработанный и утвержденный ФОИВ в сфере стандартизации, содержащий положения организационного и методического характера, которые дополняют или конкретизируют отдельные положения основополагающих национальных стандартов, а также определяют порядок и методы проведения работ по стандартизации и оформления результатов таких работ;

10) ***предварительный национальный стандарт*** – документ по стандартизации, который разработан техническим комитетом по стандартизации или проектным техническим комитетом по стандартизации, утвержден ФОИВ в сфере стандартизации и в котором для всеобщего применения устанавливаются общие характеристики объекта стандартизации, а также правила и общие принципы в отношении объекта стандартизации **на ограниченный срок в целях накопления опыта** в процессе применения предварительного национального стандарта для возможной последующей разработки на его основе национального стандарта;

11) ***рекомендации по стандартизации*** – документ национальной системы стандартизации, утвержденный ФОИВ в сфере стандартизации и содержащий информацию организационного и методического характера, касающуюся проведения работ по стандартизации и способствующую применению соответствующего национального стандарта, либо положения, которые предварительно проверяются на практике до их установления в национальном стандарте или предварительном национальном стандарте;

12) ***свод правил*** – документ по стандартизации, утвержденный ФОИВ или Государственной корпорацией по атомной энергии «Росатом» и **содержащий правила и общие принципы в отношении процессов в целях обеспечения соблюдения требований технических регламентов**;

13) ***стандарт организации*** – документ по стандартизации, утвержденный юридическим лицом, в том числе государственной корпорацией, саморегулируемой организацией, а также индивидуальным предпринимателем для совершенствования производства и обеспечения качества продукции, выполнения работ, оказания услуг;

14) ***стандартизация*** – деятельность по разработке (ведению), утверждению, изменению (актуализации), отмене, опубликованию и применению документов по стандартизации и иная деятельность, направленная на достижение упорядоченности в отношении объектов стандартизации;

15) ***технические условия*** – вид стандарта организации, утвержденный изготовителем продукции (далее – изготовитель) или исполнителем работы, услуги (далее – исполнитель).

Цели, задачи и принципы стандартизации

Стандартизация направлена на достижение следующих целей: содействие социально-экономическому развитию РФ; содействие интеграции РФ в мировую экономику и международные системы стандартизации в качестве равноправного партнера; улучшение качества жизни населения страны; обеспечение обороны страны и безопасности государства; техническое перевооружение промышленности; повышение качества продукции, выполнения работ, оказания услуг и повышение конкурентоспособности продукции российского производства. Цели стандартизации достигаются путем реализации многих задач, включающих предупреждение действий, вводящих потребителя продукции в заблуждение, а также **обеспечение единства измерений и сопоставимости их результатов.**

Стандартизация в РФ основывается на следующих принципах: **добровольность применения** документов по стандартизации; **обязательность применения** документов по стандартизации в отношении объектов стандартизации, предусмотренных настоящим Федеральным законом; обеспечение комплексности и системности стандартизации, преемственности деятельности в сфере стандартизации; обеспечение соответствия общих характеристик, правил и общих принципов, устанавливаемых в документах национальной системы стандартизации, современному уровню развития науки, техники и технологий, передовому отечественному и зарубежному опыту и др.

Правовое регулирование отношений в сфере стандартизации осуществляется настоящим Федеральным законом, другими федеральными законами и принимаемыми в соответствии с ними иными нормативными правовыми актами РФ. Применение документов по стандартизации **для целей технического регулирования** устанавливается в соответствии

с законом № 184-ФЗ. Применение международных стандартов, региональных стандартов и региональных сводов правил, стандартов иностранных государств и сводов правил иностранных государств, иных документов по стандартизации иностранных государств осуществляется в соответствии с международными договорами РФ и настоящим Федеральным законом.

Порядок стандартизации в отношении оборонной продукции (товаров, работ, услуг) по государственному оборонному заказу, продукции, используемой в целях защиты сведений, составляющих **государственную тайну** или относимых к охраняемой в соответствии с законодательством РФ иной информации ограниченного доступа, продукции, сведения о которой составляют государственную тайну, продукции, для которой устанавливаются требования, связанные с **обеспечением безопасности в области использования атомной энергии**, а также в отношении процессов и иных объектов стандартизации, связанных с такой продукцией, устанавливается Правительством РФ.

Государственная политика РФ в сфере стандартизации

Направлениями государственной политики РФ в сфере стандартизации являются:

1) определение сфер государственного регулирования, приоритетных направлений развития национальной системы стандартизации;

2) принятие и реализация документов стратегического планирования, в том числе государственных программ РФ и государственных программ субъектов РФ, а также федеральных целевых программ, ведомственных целевых программ, иных программ, предусматривающих разработку документов по стандартизации;

3) расширение применения документов по стандартизации в деятельности органов государственной власти и организаций;

4) подготовка кадрового состава в сфере стандартизации;

5) другие направления в сфере стандартизации в соответствии с законодательными актами РФ и иными нормативными правовыми актами РФ.

Участники работ по стандартизации

• ФОИВ, осуществляющий функции по выработке государственной политики и нормативно-правовому регулированию в сфере стандартизации (Министерство промышленности и торговли РФ).

• ФОИВ в сфере стандартизации (Росстандарт).

• Уполномоченные ФОИВ, Государственная корпорация по атомной энергии «Росатом» и иные государственные корпораций в сфере стандартизации.

Технические комитеты по стандартизации (ТК), создаваемые ФОИВ в сфере стандартизации. Номера и наименования некоторых действующих ТК по стандартизации представлены в следующем перечне (таб. 13.1) (непосредственно к сфере обеспечения единства измерений относятся ТК 53, ТК 180 и ТК 206).

Таблица 13.1

ТК по стандартизации

№ ТК	Наименование ТК
17	Звуко- и видеозапись для целей вещания
21	Услуги связи, информатизации, организация и управление связью
22	**Информационные технологии**
30	**Электромагнитная совместимость технических средств**
33	Электротехника
37	Электрооборудование для передачи, преобразования и распределения электроэнергии
38	Электроизоляционные материалы
44	Аккумуляторы и батареи
46	Кабельные изделия
47	Передвижные электростанции
51	Система конструкторской документации
53	**Основные нормы и правила по обеспечению единства измерений**
55	Терминология
64	**Радиоэлектронные измерительные приборы**
65	Разработка и постановка продукции на производство
87	Кинофотоматериалы, магнитные носители
117	Стандартные напряжения, токи и частоты
119	Надежность в технике
132	Техническая диагностика
169	Изделия квантовой электроники
180	**Государственная служба стандартных справочных данных**
183	Вибрация и удар
184	**Обеспечение промышленной чистоты**
204	Спички и общетехнические требования в деревообработке
206	**Эталоны и поверочные схемы**

210	Технологическое обеспечение создания изделий
225	Средства механизации и автоматизации управленческого и инженерно-технического труда
233	**Измерительная аппаратура для электрических и электромагнитных величин**
234	Системы тревожной сигнализации и противокриминальной защиты
303	**Изделия электронной техники, материалы и оборудование**
306	Измерения и управление в промышленных процессах
319	Надежность и стойкость ЭРИ и РЭА военного назначения
321	**Ракетная и ракетно-космическая техника**
335	**Методы испытаний агропромышленной продукции на безопасность**
352	**Системы и аппаратура обработки и передачи информации**
363	**Радионавигация**
404	**Геодезия и картография**
407	**Средства отображения информации**
426	**Измерение влажности твердых и сыпучих веществ**
452	Безопасность аудио-, видео-, электронной аппаратуры, оборудования информационных технологий и телекоммуникационного оборудования
461	Информационно-коммуникационные технологии в образовании (ИКТО)
480	**Связь**
900	**Стандартизация**

По решению ФОИВ в сфере стандартизации могут создаваться на временной основе проектные ТК по стандартизации.

Комиссия по апелляциям создается при ФОИВ в сфере стандартизации.

Документы национальной системы стандартизации

Документы национальной системы стандартизации не должны противоречить международным договорам РФ, федеральным законам, актам Президента РФ, актам Правительства РФ, нормативным правовым актам ФОИВ и нормативным правовым актам Государственной корпорации по атомной энергии «Росатом», изданным в соответствии с установленными полномочиями. Разработчиками документов национальной системы стандартизации являются участники работ по стандартизации. При разработке национальных стандартов международные стандарты

используются в качестве основы, за исключением случаев, если такое использование признано невозможным вследствие несоответствия требований международных стандартов климатическим и географическим особенностям РФ, техническим и (или) технологическим особенностям или по иным основаниям, либо РФ выступала против утверждения международного стандарта или отдельного его положения.

Основополагающие национальные стандарты и правила стандартизации разрабатываются и утверждаются ФОИВ в сфере стандартизации в порядке, установленном ФОИВ, осуществляющим функции по выработке государственной политики и нормативно-правовому регулированию в сфере стандартизации. Разработка документов национальной системы стандартизации должна осуществляться в соответствии с основополагающими национальными стандартами. Утверждение основополагающих национальных стандартов осуществляется при условии их публичного обсуждения и обеспечения процедур консенсуса.

Национальные стандарты и предварительные национальные стандарты разрабатываются на основе:

- результатов научных исследований (испытаний) и измерений;
- положений международных стандартов, региональных стандартов, региональных сводов правил, стандартов иностранных государств, сводов правил иностранных государств, стандартов организаций и технических условий, которые содержат новые и (или) прогрессивные требования к объектам стандартизации и способствуют повышению конкурентоспособности продукции (работ, услуг);
- приобретенного практического опыта применения новых видов продукции, процессов и технологий.

Рекомендации по стандартизации разрабатываются в целях предварительной проверки на практике отдельных положений организационного и методического характера применительно к соответствующему объекту стандартизации в порядке, установленном ФОИВ, осуществляющим функции по выработке государственной политики и нормативно-правовому регулированию в сфере стандартизации. Рекомендации по стандартизации не могут противоречить положениям национальных стандартов.

Разработка, утверждение, применение, изменение (актуализация) и отмена **информационно-технических справочников** осуществляются в случаях и в порядке, которые предусмотрены федеральными законами и принимаемыми в соответствии с ними нормативными правовыми актами Правительства РФ или актами уполномоченных им ФОИВ.

Порядок разработки, ведения, изменения и применения **общероссийских классификаторов** устанавливается Правительством РФ.

Таблица 13.2

Общетехнические системы национальных и межгосударственных стандартов

Система стандартов	Обозна-чение	Категория стандартов
Государственная система стандартизации Российской Федерации	**ГСС**	**ГОСТ Р1***
Единая система конструкторской документации	**ЕСКД**	**ГОСТ 2****
Единая система технологической документации	ЕСТД	ГОСТ 3
Система показателей качества продукции	СПКП	ГОСТ 4
Комплексная система общих технических требований и комплексная система контроля качества	КСОТТ КСКК	ГОСТ 4
Единая система классификации и кодирования технико-экономической и социальной информации	ЕСКК ТЭСИ	ГОСТ 6 ГОСТ Р6
Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу	СИБИД	ГОСТ 7
Государственная система обеспечения единства измерений	**ГСИ**	**ГОСТ 8 ГОСТ Р8**
Единая система защиты от коррозии, старения и биоповреждений	ЕСЗКСБ	ГОСТ 9
Система стандартов безопасности труда	**ССБТ**	**ГОСТ 12 ГОСТ Р12**
Репрография		ГОСТ 13 ГОСТ Р13
Единая система технологической подготовки производства	ЕСТПП	ГОСТ14
Система разработки и постановки продукции на производство	СРПП	ГОСТ 15 ГОСТ Р15
Система стандартов в области охраны природы и улучшения использования природных ресурсов	ССОП	ГОСТ 17 ГОСТ Р17
Единая система программной документации	ЕСПД	ГОСТ 19
Система проектной документации для строительства	СПДС	ГОСТ Р21 ГОСТ 21
Система стандартов безопасности при чрезвычайных ситуациях	ССБЧС	ГОСТ Р22
Обеспечение износостойкости изделий		ГОСТ 23
Единая система стандартов автоматизированных систем управления		ГОСТ 24
Система стандартов «Надежность в технике»	ССНТ	ГОСТ 27
Система стандартов эргономических требований и эргономического обеспечения	ССЭТО	ГОСТ 29

* – национальные стандарты; ** – межгосударственные стандарты.

Стандарты организаций разрабатываются организациями самостоятельно, исходя из необходимости их применения для обеспечения целей стандартизации. **Технические условия** (ТУ) разрабатываются изготовителем и (или) исполнителем и применяются в соответствии с условиями, установленными в договорах (контрактах). Стандарты организаций и ТУ разрабатываются с учетом соответствующих документов национальной системы стандартизации. Порядок разработки, утверждения, учета, изменения, отмены и применения стандартов организаций и ТУ устанавливается организациями самостоятельно с учетом применимых принципов стандартизации. Проект стандарта организации, а также проект ТУ перед их утверждением может представляться в соответствующий ТК по стандартизации или проектный ТК по стандартизации для проведения экспертизы и подготовки соответствующего заключения.

Порядок разработки, утверждения, опубликования, изменения и отмены **сводов правил** устанавливается Правительством РФ.

ФОИВ в сфере стандартизации разрабатывает, утверждает и вносит изменения в **программу национальной стандартизации** и **перспективные программы стандартизации по приоритетным направлениям,** которые согласуются между собой по целям, задачам, срокам и направлениям стандартизации.

Порядок разработки и утверждения национального стандарта

Разработчик национального стандарта (далее – разработчик) направляет уведомление о разработке проекта национального стандарта в ФОИВ в сфере стандартизации, который размещает это уведомление на своем официальном сайте в информационно-телекоммуникационной сети Интернет. Разработчик должен обеспечить доступность проекта национального стандарта заинтересованным лицам для ознакомления и по их требованию предоставлять им копию проекта национального стандарта в электронной форме или на бумажном носителе.

Разработчик проводит публичное обсуждение проекта национального стандарта, составляет перечень полученных замечаний, дорабатывает проект национального стандарта с учетом полученных замечаний. Срок публичного обсуждения проекта национального стандарта не может быть менее чем **шестьдесят дней**. Уведомление о завершении публичного обсуждения проекта национального стандарта размещается ФОИВ по стандартизации на своем официальном сайте. После этого разработчик должен обеспечить доступность доработанного проекта национального стандарта и перечня полученных замечаний заинтересованным лицам для ознакомления. Проект национального стандарта и перечень полученных

замечаний **представляются разработчиком в ТК по стандартизации** или проектный ТК по стандартизации в соответствии с их компетенцией для проведения в течение не более девяноста дней экспертизы и подготовки мотивированного предложения об утверждении проекта национального стандарта. Предложение ТК или проектного ТК об отклонении проекта национального стандарта принимается в случаях нарушения порядка его разработки.

ТК или проектный ТК представляет в ФОИВ по стандартизации мотивированное предложение об утверждении проекта национального стандарта в качестве национального стандарта или об утверждении проекта национального стандарта в качестве предварительного национального стандарта, или об отклонении проекта национального стандарта. Информация об утверждении национального стандарта, предварительного национального стандарта, об отклонении проекта национального стандарта размещается на официальном сайте ФОИВ. Решение ФОИВ в сфере стандартизации об отклонении проекта национального стандарта может быть обжаловано в суде только после его обжалования в досудебном порядке.

Применение документов национальной системы стандартизации

Документы национальной системы стандартизации применяются на добровольной основе одинаковым образом и в равной мере независимо от страны и (или) места происхождения продукции (товаров, работ, услуг), если иное не установлено законодательством РФ.

Условия применения международных стандартов, региональных стандартов, межгосударственных стандартов, региональных сводов правил, стандартов иностранных государств, сводов правил иностранных государств, в результате применения которых на добровольной основе обеспечивается соблюдение требований утвержденного технического регламента или которые содержат правила и методы исследований (испытаний) и измерений, в том числе правила отбора образцов, необходимые для применения и исполнения утвержденного технического регламента и осуществления оценки соответствия, **устанавливаются** в соответствии с Федеральным законом от 27 декабря 2002 г. № 184-ФЗ «**О техническом регулировании»**.

Применение национального стандарта является обязательным для изготовителя и (или) исполнителя **в случае публичного заявления** о соответствии продукции национальному стандарту, в том числе в случае применения обозначения национального стандарта в маркировке, в эксплуатационной или иной документации и (или) маркировки продукции знаком национальной системы стандартизации.

Нормативные правовые акты РФ могут содержать ссылки на официально опубликованные национальные стандарты и информационно-технические справочники.

Информационное обеспечение национальной системы стандартизации реализуется посредством ведения Федерального информационного фонда стандартов, создания и эксплуатации федеральных информационных систем, необходимых для его функционирования, официального опубликования, издания и распространения документов национальной системы стандартизации и общероссийских классификаторов. Федеральный информационный фонд стандартов является государственным информационным ресурсом.

Подтверждение соответствия

Подтверждение соответствия осуществляется в целях:

• удостоверения соответствия продукции, процессов проектирования (включая изыскания), производства, строительства, монтажа, наладки, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации, работ, услуг или иных объектов техническим регламентам (ТР), документам по стандартизации, условиям договоров;

• содействия приобретателям, в том числе потребителям, в компетентном выборе продукции, работ, услуг;

• повышения конкурентоспособности продукции, работ, услуг на российском и международном рынках;

• создания условий для обеспечения свободного перемещения товаров по территории РФ, а также для осуществления международного экономического, научно-технического сотрудничества и международной торговли.

Подтверждение соответствия осуществляется **на основе принципов**:

• доступности информации о порядке осуществления подтверждения соответствия заинтересованным лицам;

• недопустимости применения обязательного подтверждения соответствия к объектам, в отношении которых не установлены требования ТР;

• установления перечня форм и схем обязательного подтверждения соответствия в отношении определенных видов продукции в соответствующем ТР;

• уменьшения сроков осуществления обязательного подтверждения соответствия и затрат заявителя;

• недопустимости принуждения к осуществлению добровольного подтверждения соответствия, в том числе в определенной системе добровольной сертификации;

• защиты имущественных интересов заявителей, соблюдения коммерческой тайны в отношении сведений, полученных при осуществлении подтверждения соответствия;

• недопустимости подмены обязательного подтверждения соответствия добровольной сертификацией.

Подтверждение соответствия применяется равным образом и в равной мере независимо от страны и (или) места происхождения продукции, осуществления процессов, выполнения работ и оказания услуг, видов или особенностей сделок и (или) лиц, которые являются изготовителями, исполнителями, продавцами, приобретателями.

Формы подтверждения соответствия

Подтверждение соответствия на территории РФ может носить добровольный или обязательный характер. Добровольное подтверждение соответствия осуществляется в форме добровольной сертификации. Обязательное подтверждение соответствия осуществляется в формах: принятия декларации о соответствии (далее – декларирование соответствия); обязательной сертификации.

Добровольное подтверждение соответствия

Добровольное подтверждение соответствия осуществляется по инициативе заявителя на условиях договора между заявителем и **органом по сертификации**. Добровольное подтверждение соответствия может осуществляться для установления соответствия документам по стандартизации, системам добровольной сертификации, условиям договоров. Объектами добровольного подтверждения соответствия являются продукция, процессы производства, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации, работы и услуги, а также иные объекты, в отношении которых документами по стандартизации, системами добровольной сертификации и договорами устанавливаются требования.

Орган по сертификации: осуществляет подтверждение соответствия объектов добровольного подтверждения соответствия; выдает сертификаты соответствия на объекты, прошедшие добровольную сертификацию; предоставляет заявителям право на применение **знака соответствия**, если он предусмотрен в этой системе; приостанавливает или прекращает действие выданных им сертификатов соответствия.

Система добровольной сертификации может быть создана юридическим лицом и (или) индивидуальным предпринимателем или несколькими юридическими лицами и (или) индивидуальными предпринимателями. Система добровольной сертификации может быть зарегистрирована ФОИВ по техническому регулированию. Рекомендации

по содержанию и форме документов, представляемых на регистрацию системы добровольной сертификации, содержатся в приказе Росстандарта от 25.02.2005 № 27-ст. Порядок регистрации системы добровольной сертификации и размер платы за регистрацию устанавливаются Правительством РФ. Плата за регистрацию системы добровольной сертификации подлежит зачислению в федеральный бюджет. ФОИВ по техническому регулированию ведет единый реестр зарегистрированных систем добровольной сертификации.

Объекты сертификации, сертифицированные в системе добровольной сертификации, могут маркироваться знаком соответствия системы добровольной сертификации. Порядок применения такого знака соответствия устанавливается правилами соответствующей системы добровольной сертификации.

Обязательное подтверждение соответствия

Обязательное подтверждение соответствия проводится только в случаях, установленных соответствующим ТР, и исключительно на соответствие требованиям ТР. Объектом обязательного подтверждения соответствия может быть только продукция, выпускаемая в обращение на территории РФ. Форма и схемы (см. табл. 13.3) обязательного подтверждения соответствия могут устанавливаться только ТР с учетом степени риска недостижения целей ТР.

Декларация о соответствии и сертификат соответствия имеют равную юридическую силу и действуют на всей территории РФ в отношении каждой единицы продукции, выпускаемой в обращение на территории РФ во время действия декларации о соответствии или сертификата соответствия, в течение срока годности или срока службы продукции, установленных в соответствии с законодательством РФ.

Работы по обязательному подтверждению соответствия подлежат оплате на основании договора с заявителем. Стоимость работ по обязательному подтверждению соответствия продукции определяется независимо от страны и (или) места ее происхождения, а также лиц, которые являются заявителями.

На основе представленных основных схем сертификации в ТР и в правилах систем добровольной сертификации при необходимости могут устанавливаться отдельные модификации основных схем, отражающие особенности сертификации отдельных видов продукции.

Таблица 13.3

Общий состав (набор) схем сертификации
(ГОСТ Р 53603-2009. Национальный стандарт РФ. Оценка соответствия. Схемы сертификации продукции в Российской Федерации [43])

№ схемы	Элемент схемы сертификации (модуль)			Примечание
	Исследование, испытание продукции	Оценка производства (системы качества)	Инспекционный контроль	
1с	Испытание образцов продукции	–	–	
2с	Испытание образцов продукции	Анализ состояния производства	–	
3с	Испытание образцов продукции	–	Испытание образцов продукции	
4с	Испытание образцов продукции	Анализ состояния производства	Испытание образцов продукции и анализ состояния производства	
5с	Испытание образцов продукции	Оценка системы качества	Контроль системы качества, испытание образцов продукции	
6с	Испытание партии	–	–	
7с	Испытание образцов продукции	–	–	
8с	Исследование проекта продукции	Анализ состояния производства	Испытание образцов продукции и анализ состояния производства	
9с	Исследование проекта продукции	Оценка системы качества	Контроль системы качества, испытание образцов продукции	

10с	Исследование проекта продукции, испытание образцов продукции	Оценка системы качества	Контроль системы качества, испытание образцов продукции	
11с	Исследование типа	–	Испытание образцов продукции	
12с	Исследование типа	Анализ состояния производства	Испытание образцов продукции и анализ состояния производства	
13с	Исследование типа	–	–	При сертификации типа
14с	Исследование проекта продукции	–	–	При сертификации проекта

Примечание. В таблице не показан анализ представленной документации для идентификации продукции и использования его в качестве дополнительных доказательств соответствия.

Декларирование соответствия

Декларирование соответствия осуществляется по одной из следующих схем:

- принятие декларации о соответствии на основании собственных доказательств;
- принятие декларации о соответствии на основании собственных доказательств, доказательств, полученных с участием органа по сертификации и (или) аккредитованной испытательной лаборатории (центра) (далее – третья сторона).

При декларировании соответствия заявителями могут быть: зарегистрированные в соответствии с законодательством РФ на ее территории юридические или физические лица, либо лица, выполняющие функции иностранного изготовителя. Круг заявителей устанавливается соответствующим ТР.

Схема декларирования соответствия с участием третьей стороны устанавливается в ТР в случае, если отсутствие третьей стороны приводит к недостижению целей подтверждения соответствия.

При декларировании соответствия заявитель на основании собственных доказательств самостоятельно формирует по установленным требованиям доказательственные материалы в целях подтверждения соответствия продукции требованиям ТР. В качестве доказательственных материалов используются техническая документация, результаты собственных исследований (испытаний) и измерений и (или) другие документы, послужившие основанием для подтверждения соответствия продукции требованиям ТР.

Декларация о соответствии оформляется на русском языке. Форма декларации о соответствии утверждается ФОИВ по техническому регулированию. Оформленная заявителем декларация о соответствии подлежит регистрации в электронной форме в едином реестре деклараций о соответствии в уведомительном порядке. Ведение единого реестра деклараций о соответствии осуществляет ФОИВ, уполномоченный Правительством РФ.

Декларация о соответствии и доказательственные материалы хранятся у заявителя в течение десяти лет со дня окончания срока действия такой декларации в случае, если иной срок их хранения не установлен ТР. Заявитель обязан представить декларацию о соответствии либо регистрационный номер декларации о соответствии и доказательственные материалы по требованию ФОИВ, уполномоченного на осуществление государственного контроля (надзора) за соблюдением требований ТР.

Обязательная сертификация

Обязательная сертификация осуществляется органом по сертификации на основании договора с заявителем. Схемы сертификации, применяемые для сертификации определенных видов продукции, и круг заявителей устанавливаются соответствующим ТР. Соответствие продукции требованиям ТР подтверждается сертификатом соответствия, выдаваемым заявителю органом по сертификации. Сертификат соответствия выдается на серийно выпускаемую продукцию, на отдельно поставляемую партию продукции или на единичный экземпляр продукции. Срок действия сертификата соответствия определяется соответствующим ТР и исчисляется со дня внесения сведений о сертификате соответствия в единый реестр сертификатов соответствия. Форма сертификата соответствия утверждается ФОИВ по техническому регулированию.

Единый перечень продукции, подлежащей обязательной сертификации, установлен постановлением Правительства РФ от 01.12.2009 г. № 982.

Организация обязательной сертификации

Обязательная сертификация осуществляется органом по сертификации, аккредитованным в соответствии с законодательством РФ об аккредитации в национальной системе аккредитации.

Орган по сертификации:

• привлекает на договорной основе для проведения исследований (испытаний) и измерений аккредитованные испытательные лаборатории (центры);

• осуществляет контроль за объектами сертификации, если такой контроль предусмотрен соответствующей схемой обязательной сертификации и договором;

• ведет реестр выданных им сертификатов соответствия;

• информирует соответствующие органы государственного контроля (надзора) за соблюдением требований ТР о продукции, поступившей на сертификацию, но не прошедшей ее;

• выдает сертификаты соответствия, приостанавливает или прекращает действие выданных им сертификатов соответствия и информирует об этом ФОИВ, организующий формирование и ведение единого реестра сертификатов соответствия, и органы государственного контроля (надзора) за соблюдением требований ТР;

• обеспечивает предоставление заявителям информации о порядке проведения обязательной сертификации; определяет стоимость работ по сертификации, выполняемых в соответствии с договором с заявителем;

• в порядке, установленном соответствующим ТР, принимает решение о продлении срока действия сертификата соответствия;

• осуществляет отбор образцов для целей сертификации и представляет их для проведения исследований (испытаний) и измерений в аккредитованные испытательные лаборатории (центры) или поручает осуществить такой отбор аккредитованным испытательным лабораториям (центрам);

• подготавливает заключение, на основании которого заявитель вправе принять декларацию о соответствии по результатам проведенных исследований (испытаний), измерений типовых образцов выпускаемой в обращение продукции и технической документации на данную продукцию.

Порядок формирования и ведения единого реестра сертификатов соответствия, порядок предоставления содержащихся в указанном реестре сведений и оплаты за их предоставление, а также ФОИВ, организующий формирование и ведение указанного реестра, определяется Правительством РФ. Порядок выдачи бланков сертификатов соответствия устанавливается Правительством РФ.

Исследования (испытания) продукции при осуществлении обязательной сертификации проводятся аккредитованными испытательными лабораториями (центрами) (АИЛ) в пределах своей области аккредитации

на условиях договоров с органами по сертификации. Органы по сертификации не вправе предоставлять АИЛ сведения о заявителе. АИЛ оформляет результаты исследований (испытаний) соответствующими протоколами, на основании которых орган по сертификации принимает решение о выдаче или об отказе в выдаче сертификата соответствия. АИЛ обязана обеспечить достоверность результатов исследований (испытаний) и измерений.

Аккредитация органов по сертификации и испытательных лабораторий (центров), выполняющих работы по оценке (подтверждению) соответствия, осуществляется национальным органом по аккредитации в соответствии с законодательством РФ об аккредитации в национальной системе аккредитации.

Знак обращения на рынке

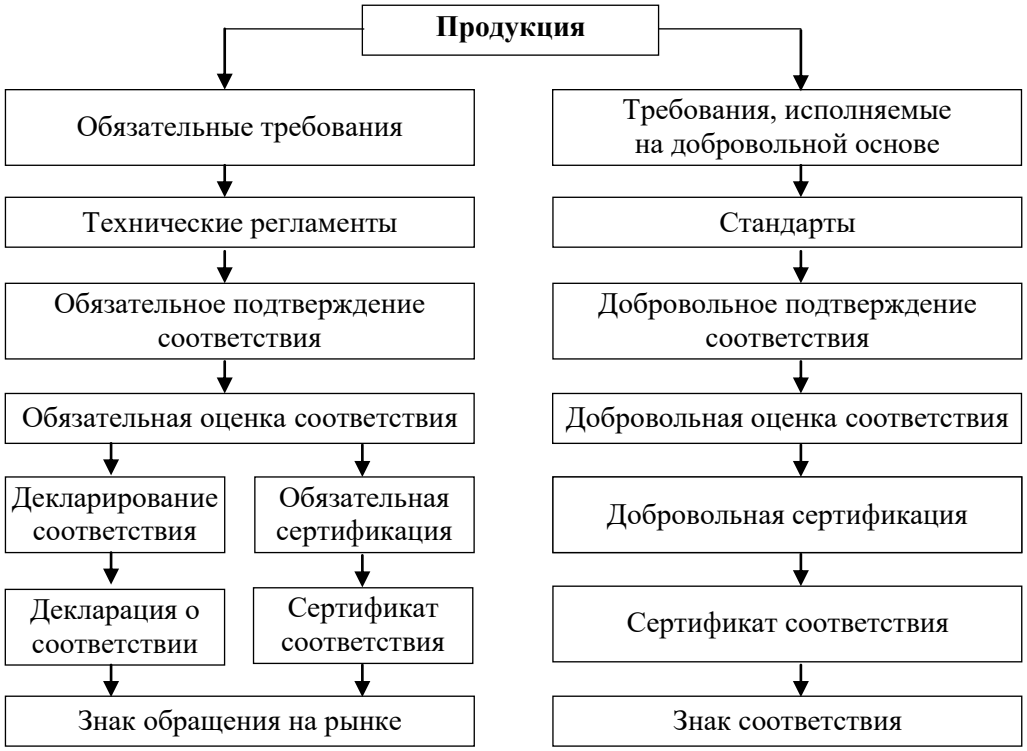


Рис. 13.1

Продукция, соответствие которой требованиям ТР подтверждено в предусмотренном порядке, маркируется знаком обращения на рынке. Изображение знака обращения на рынке устанавливается Правительством РФ. Данный знак не является специальным защищенным знаком и наносится в информационных целях. Маркировка знаком обращения на

рынке осуществляется заявителем самостоятельно любым удобным для него способом. Особенности маркировки продукции знаком обращения на рынке устанавливаются ТР. Продукция, соответствие которой требованиям ТР не подтверждено, не может быть маркирована знаком обращения на рынке. Общая система подтверждения соответствия представлена на рис 13.1

Права и обязанности заявителя в области обязательного подтверждения соответствия

Заявитель вправе:

• выбирать форму и схему подтверждения соответствия, предусмотренные для определенных видов продукции соответствующим ТР;

• обращаться для осуществления обязательной сертификации в любой орган по сертификации, область аккредитации которого распространяется на продукцию, которую заявитель намеревается сертифицировать;

• обращаться в орган по аккредитации с жалобами на неправомерные действия органов по сертификации и АИЛ в соответствии с законодательством РФ;

• использовать техническую документацию для подтверждения соответствия продукции требованиям ТР.

Заявитель обязан:

• обеспечивать соответствие продукции требованиям ТР;

• выпускать в обращение продукцию, подлежащую обязательному подтверждению соответствия, только после осуществления такого подтверждения соответствия;

• указывать в сопроводительной документации сведения о сертификате соответствия или декларации о соответствии;

• предъявлять в органы государственного контроля (надзора) за соблюдением требований ТР, а также заинтересованным лицам документы, свидетельствующие о подтверждении соответствия продукции требованиям ТР (декларацию о соответствии, сертификат соответствия или их копии) либо регистрационный номер сертификата соответствия или декларации о соответствии;

• приостанавливать или прекращать реализацию продукции, если действие сертификата соответствия или декларации о соответствии приостановлено либо прекращено;

• извещать орган по сертификации об изменениях, вносимых в техническую документацию или технологические процессы производства сертифицированной продукции;

• приостанавливать производство продукции, которая прошла подтверждение соответствия и не соответствует требованиям ТР, на основании решений органов государственного контроля (надзора) за соблюдением требований ТР;

• приостанавливать или прекращать реализацию продукции, если срок действия сертификата соответствия или декларации о соответствии истек, за исключением продукции, выпущенной в обращение на территории РФ во время действия декларации о соответствии или сертификата соответствия, в течение срока годности или срока службы продукции, установленных в соответствии с законодательством РФ.

Условия ввоза в Российскую Федерацию продукции, подлежащей обязательному подтверждению соответствия

Для помещения продукции, подлежащей обязательному подтверждению соответствия, под таможенные процедуры, предусматривающие возможность отчуждения или использования этой продукции в соответствии с ее назначением на территории РФ, в таможенные органы одновременно с таможенной декларацией заявителем представляются декларация о соответствии или сертификат соответствия либо документы об их признании. Представление указанных документов не требуется в случае помещения продукции под таможенную процедуру отказа в пользу государства.

Полученные за пределами территории РФ документы о подтверждении соответствия, знаки соответствия, протоколы исследований (испытаний) и измерений продукции могут быть признаны в соответствии с международными договорами РФ.

Федеральным законом № 184-ФЗ предусмотрен государственный контроль (надзор) за соблюдением требований ТР, информирование о нарушении требований ТР и отзыв продукции, ответственность за нарушение правил выполнения работ по сертификации.

Федеральный информационный фонд технических регламентов и стандартов

Технические регламенты, а также национальные стандарты РФ, международные стандарты, региональные стандарты, своды правил, региональные своды правил, стандарты иностранных государств и своды правил иностранных государств, в результате применения которых на добровольной основе обеспечивается соблюдение требований принятого ТР или которые содержат правила и методы исследований (испытаний) и измерений, в том числе правила отбора образцов, необходимые для применения и исполнения принятого ТР и осуществления оценки соответствия, составляют Федеральный информационный фонд технических регламентов и стандартов.

Федеральный информационный фонд технических регламентов и стандартов является государственным информационным ресурсом.

Порядок создания и ведения этого фонда, а также правила пользования этим фондом устанавливаются Правительством РФ. Федеральным законом № 184-ФЗ предусмотрен порядок регистрации ТР и других документов в этом фонде.

Порядок финансирования за счет средств федерального бюджета расходов в области технического регулирования

За счет средств федерального бюджета финансируются расходы на проведение на федеральном уровне государственного контроля (надзора) за соблюдением требований ТР.

За счет средств федерального бюджета могут финансироваться расходы на:

• создание и ведение Федерального информационного фонда ТР и стандартов;

• разработку в соответствии с поручениями Президента РФ или Правительства РФ проектов ТР и необходимых перечней документов по стандартизации, в результате применения которых на добровольной основе обеспечивается соблюдение требований ТР;

• разработку сводов правил;

• разработку правил и методов исследований (испытаний) и измерений, в том числе правил отбора образцов для проведения исследований (испытаний) и измерений, необходимых для применения и исполнения ТР;

• разработку нормативных документов ФОИВ;

• регистрацию систем добровольной сертификации и ведение единого реестра зарегистрированных систем добровольной сертификации;

• ведение единого реестра сертификатов соответствия и единого реестра деклараций о соответствии;

• осуществление учета и анализа случаев причинения вреда вследствие нарушения требований ТР;

• проведение экспертизы проектов ТР.

Порядок финансирования указанных расходов определяется Правительством РФ.

Испытания и контроль качества продукции. Основные термины и определения (ГОСТ 16504-81 [44]*)*

Испытания – экспериментальное определение количественных и (или) качественных характеристик свойств объекта испытаний как результата воздействия на него при его функционировании, при моделировании объекта и (или) воздействий.

Примечание. Определение включает оценивание и (или) контроль.

Экспериментальное определение характеристик свойств объекта при испытаниях может проводиться путем использования измерений, анализов, диагностирования, органолептических методов, путем регистрации определенных событий при испытаниях (отказы, повреждения) и т.д. Характеристики свойств объекта при испытаниях могут оцениваться, если задачей испытаний является получение количественных или качественных оценок, а могут контролироваться, если задачей испытаний является только установление соответствия характеристик объекта заданным требованиям. В этом случае испытания сводятся к контролю. Поэтому ряд видов испытаний являются контрольными, в процессе которых решается задача контроля.

Важнейшим признаком любых испытаний является принятие на основе их результатов определенных решений о соответствии испытанной продукции установленным в НТД требованиям. Другим признаком испытаний является задание определенных условий испытаний (реальных или модулируемых), под которыми понимается совокупность воздействий на объект и режимов функционирования объекта. Определение характеристик объекта при испытаниях может производиться как при функционировании объекта, так и при отсутствии функционирования, при наличии воздействий, до или после их приложения.

Условия испытаний – совокупность воздействующих факторов и (или) режимов функционирования объекта при испытаниях. К условиям испытаний относятся внешние воздействующие факторы как естественные, так и искусственно создаваемые, а также внутренние воздействия, вызываемые функционированием объекта (например, нагрев, вызываемый трением или прохождением электрического тока) и режимы функционирования объекта, способы и место его установки, монтажа, крепления, скорость перемещения и т.п.

Средство испытаний – техническое устройство, вещество и (или) материал для проведения испытаний (рис. 13.2).

Рис. 13.2

Понятием «средство испытаний» охватываются любые технические средства, применяемые при испытаниях. Сюда относится, прежде всего, испытательное оборудование, под которым понимаются средства

воспроизведения условий испытаний. В средства испытаний включаются средства измерений, как встроенные в испытательное оборудование, так и применяемые при испытаниях для измерений тех или иных характеристик объекта или контроля условий испытаний. К средствам испытаний следует относить также вспомогательные технические устройства для крепления объекта испытаний, регистрации и обработки результатов. К средствам испытаний относятся также основные и вспомогательные вещества и материалы (реактивы и т.п.), применяемые при испытаниях.

Испытательное оборудование – средство испытаний, представляющее собой техническое устройство для воспроизведения условий испытаний.

Результат испытаний – оценка характеристик свойств объекта, установления соответствия объекта заданным требованиям по данным испытаний, результаты анализа качества функционирования объекта в процессе испытаний.

Воспроизводимость результатов испытаний – по ГОСТ Р 51672-2000. Метрологическое обеспечение испытаний продукции для целей подтверждения соответствия. Основные положения.

Воспроизводимость результатов испытаний, кроме методики испытаний, может в значительной степени зависеть от свойств объекта испытаний. Если объектом является, например, партия изделий, подвергаемая выборочным испытаниям, то такие испытания у поставщика и потребителя могут проводиться на различных образцах, выбранных из данной партии, и в этом случае неоднородность изделий может существенно, иногда решающим образом, влиять на воспроизводимость результатов испытаний. В такой же степени воспроизводимость результатов испытаний может зависеть, например, от непостоянства характеристик объекта между повторными испытаниями.

Технический контроль – проверка соответствия объекта установленным техническим требованиям.

Контроль качества продукции – контроль количественных и (или) качественных характеристик свойств продукции.

Измерительный контроль – контроль, осуществляемый с применением средств измерений.

Органолептический контроль – контроль, при котором первичная информация воспринимается органами чувств. Органолептический контроль основывается на восприятиях органами чувств (зрения, слуха, обоняния, вкуса и осязания) такой информации, которая не представлена в численном выражении. Решение относительно объекта контроля принимается в таком случае только по результатам анализа чувственных восприятий (например, оценка цветовых оттенков, оценка запаха и т.п.). При органолептическом контроле могут применяться средства контроля,

не являющиеся измерительными, но увеличивающие разрешающую способность или восприимчивость органов чувств.

В ходе разработки продукции проводится ***метрологическая экспертиза*** конструкторской и технологической документации – анализ и оценка технических решений по выбору параметров, подлежащих измерению, установлению норм точности измерений и обеспечению методами и средствами измерений процессов разработки, изготовления, испытания и применения продукции.

Аттестация испытательного оборудования (ГОСТ Р 8.568-97 [45]) – определение нормированных точностных характеристик испытательного оборудования (ИО), их соответствия требованиям НД и установление пригодности этого ИО к эксплуатации. Основная цель аттестации ИО – подтверждение возможности воспроизведения условий испытаний в пределах допускаемых отклонений и установление пригодности использования ИО в соответствии с его назначением. При вводе в эксплуатацию в данном испытательном подразделении ИО подвергают первичной аттестации. В процессе эксплуатации ИО подвергают периодической аттестации. При положительных результатах аттестации в паспорте (формуляре) делают соответствующую отметку, а на ИО прикрепляют бирку с указанием даты проведенной аттестации и срока последующей периодической аттестации.

Подтверждение соответствия воспроизводимых ИО условий испытаний в пределах допускаемых отклонений необходимо выполнять с учетом неопределенности измерений величин, характеризующих условия испытаний.

Конкретные результаты измерений в любых метрологических ситуациях однозначно могут быть охарактеризованы неопределенностью измерения (см. РМГ 91-2019 [31]). Применение понятия погрешности к результатам измерений возможно только в теоретических рассуждениях.

Государственные (национальные) первичные эталоны характеризуются границами составляющих погрешностей, которые используются для оценки неопределенности результатов измерений при сличении и при передаче от них размеров единиц.

В аттестованных методиках измерений (МИ) устанавливают совокупность операций и правил, выполнение которых обеспечивает получение результата измерения с погрешностью, не превышающей установленных пределов (норм) погрешностей измерений или целевых неопределенностей измерений (см. РМГ 91-2019 [31]). Результаты измерения по этим МИ не требуется сопровождать конкретной характеристикой точности. Результаты измерения по МИ, точность которых определяют в процессе их применения, рекомендуется сопровождать оценками неопределенности измерения.

При калибровке средств измерений (СИ) устанавливают при определенных условиях соотношение между значением величины по показаниям СИ и соответствующим значениям, реализуемым с помощью

эталона. Калибровка не является процедурой подтверждения соответствия. По результатам измерений, характеризуемых неопределенностью, при калибровке могут быть оценены поправки (систематические составляющие погрешностей) к показаниям конкретных экземпляров СИ или уточнены реализуемые СИ значения. Это относится и к результатам градуировки СИ в процессе калибровки.

Нормирование метрологических характеристик СИ осуществляют, опираясь на понятие «погрешность». При этом используют пределы допускаемых погрешностей разных экземпляров СИ данного утвержденного типа (см. РМГ 91-2019 [31]).

При поверке СИ (подтверждении их соответствия установленным требованиям) используют эталоны и оперируют установленными для СИ нормами пределов их погрешностей (более подробно см. раздел 10). Рекомендации по установлению критериев подтверждении соответствия (решающих правил) при поверке СИ с учетом неопределенности выполняемых при этом измерений представлены в работе [48] и МИ 3620-2019 [49].

При аттестации испытательного оборудования (ИО) необходимо определять находится ли результат измерения исследуемого параметра ИО в пределах поля допустимых отклонений задаваемых значений этого параметра с учетом расширенной неопределенности измерения по принципам, изложенным в ГОСТ Р ИСО 10576-1-2006. Статистические методы. Руководство по оценке соответствия установленным требованиям. Часть 1. Общие принципы [46], а также в Руководстве [47].

При подтверждении соответствия продукции по [46, 47] определяют, находится ли результат измерения исследуемого параметра в пределах поля допустимых значений этого параметра (рис. 13.3) с учетом расширенной неопределенности измерения, в которой должны быть учтены составляющие неопределенности, обусловленные допустимыми отклонениями параметров условий испытаний. Для оценки неопределенностей измерений рекомендуется использовать способы, изложенные в стандартах [18–21].

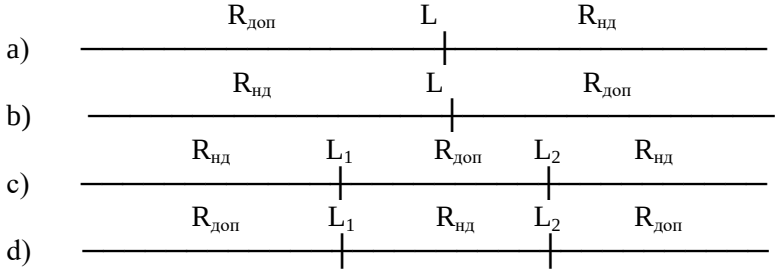


Рис. 13.3. Варианты разделения значений измеряемой величины на области допустимых $R_{доп}$ и недопустимых $R_{нд}$ значений. L, L_1, L_2 – пределы поля допуска

Единая система допусков и посадок
(ЕСДП,** ГОСТ 25346-89, ГОСТ 25347-82, ГОСТ 25348-82)

Термины согласно **ГОСТ 25346-89** «Основные нормы взаимозаменяемости. Единая система допусков и посадок. Общие положения, ряды допусков и основных отклонений».

Вал – термин, условно применяемый для обозначения наружных элементов деталей, включая и нецилиндрические элементы.

Отверстие – термин, условно применяемый для обозначения внутренних элементов деталей, включая и нецилиндрические элементы.

Основной вал – вал, верхнее отклонение которого равно нулю.

Основное отверстие – отверстие, нижнее отклонение которого равно нулю.

Размер – числовое значение линейной величины (диаметра, длины и т.п.) в выбранных единицах измерения.

Действительный размер – размер элемента, установленный измерением с допускаемой точностью.

Номинальный размер – размер, относительно которого определяются отклонения.

Отклонение – алгебраическая разность между размером (действительным или предельным размером) и соответствующим номинальным размером.

Квалитет – совокупность допусков, рассматриваемых как соответствующие одному уровню точности для всех номинальных размеров (квалитеты в машиностроении установлены по геометрической прогрессии со знаменетелем – корень пятой степени из десяти: $\sqrt[5]{10} \approx \mathbf{1,6}$).

Посадка – характер соединения двух деталей, определяемый разностью их размеров до сборки.

Зазор – это разность между размерами отверстия и вала до сборки, если отверстие больше размера вала.

Натяг – разность между размерами вала и отверстия до сборки, если размер вала больше размера отверстия.

Допуск посадки – сумма допусков отверстия и вала, составляющих соединение.

Допуск T – разность между наибольшим и наименьшим предельными размерами или алгебраическая разность между верхним и нижним отклонениями.

Стандартный допуск IT – любой из допусков, устанавливаемых данной системой допусков и посадок.

Поле допуска – поле, ограниченное наибольшим и наименьшим предельными размерами и определяемое размером допуска и его положением относительно номинального размера.

Посадка с зазором – посадка, при которой всегда образуется зазор в соединении, т.е. наименьший предельный размер отверстия больше наибольшего предельного размера вала или равен ему.

Посадка с натягом – посадка, при которой всегда образуется натяг в соединении, т.е. наибольший предельный размер отверстия меньше наименьшего предельного размера вала или равен ему.

Переходная посадка – посадка, при которой возможно получение как зазора, так и натяга в соединении, в зависимости от действительных размеров отверстия и вала.

Посадки в системе отверстия – посадки, в которых требуемые зазоры и натяги получаются сочетанием различных полей допусков валов с полем допуска основного отверстия.

Посадки в системе вала – посадки, в которых требуемые зазоры и натяги получаются сочетанием различных полей допусков отверстий с полем допуска основного вала.

Поля допусков и соответствующие им предельные отклонения установлены различными диапазонами номинальных размеров: **до 1 мм, от 1 до 500 мм, свыше 500 до 3150 мм** – ГОСТ 25347-82; **свыше 3150 до 10.000 мм** – ГОСТ 25348-82.

По ГОСТ 25346-89 установлено 20 квалитетов (01, 0, 1, 2, ... 18). Квалитеты от 01 до 5 предназначены преимущественно для калибров. Допуски и предельные отклонения, установленные в стандарте, относятся к размерам деталей при температуре +20 °С.

Установлено **27** основных отклонений валов и **27** основных отклонений отверстий. Основное отклонение – одно из двух предельных отклонений (верхнее или нижнее), определяющее положение поля допуска относительно нулевой линии. Основным является отклонение, ближайшее к нулевой линии. Основные отклонения отверстий обозначаются прописными буквами латинского алфавита, валов – строчными.

Назначение посадок. Посадки выбирают в зависимости от назначения и условий работы оборудования и механизмов, их точности, условий сборки. При этом необходимо учитывать и возможность достижения точности при различных методах обработки изделия. В первую очередь должны применяться предпочтительные посадки. В основном применяют посадки в системе отверстия. Посадки системы вала целесообразны при использовании некоторых стандартных деталей (например, подшипников качения) и в случаях применения вала постоянного диаметра по всей длине для установки на него нескольких деталей с различными посадками. Допуски отверстия и вала в посадке не должны отличаться более, чем на 1–2 квалитета. Больший допуск, как правило, назначают для отверстия. Зазоры и натяги следует рассчитывать

для большинства типов соединений, в особенности для посадок с натягом, подшипников жидкостного трения и других посадок.

Имеются также стандарты:

• ГОСТ 24642-81 «Основные нормы взаимозаменяемости. Допуски формы и расположения поверхностей. Основные термины и определения»;

• ГОСТ 24643-81 «Основные нормы взаимозаменяемости. Допуски формы и расположения поверхностей. Числовые значения»;

• ГОСТ 2.307-68 «Единая система конструкторской документации. Нанесение размеров и предельных отклонений»;

• ГОСТ 2.308-79 «Единая система конструкторской документации. Указание на чертежах допусков формы и расположения поверхностей»;

• ГОСТ 14140-81 «Основные нормы взаимозаменяемости. Допуски расположения осей отверстий для крепежных деталей»;

• ГОСТ 25349-82 «Основные нормы взаимозаменяемости. Единая система допусков и посадок. Поля допусков деталей из пластмасс»;

• ГОСТ 30893.1-2002 (ИСО 2768-1-89) «Основные нормы взаимозаменяемости. Общие допуски. Предельные отклонения линейных и угловых размеров с неуказанными допусками»;

• ГОСТ 30893.2-2002 (ИСО 2768-2-89) «Основные нормы взаимозаменяемости. Общие допуски. Допуски формы и расположения поверхностей, не указанные индивидуально»;

• ГОСТ25142-82 «Шероховатость поверхности. Термины и определения»;

• ГОСТ 2789-73 «Шероховатость поверхности. Параметры и характеристики».

ПРЕДПОЧТИТЕЛЬНЫЕ ЧИСЛА И РЯДЫ ПРЕДПОЧТИТЕЛЬНЫХ ЧИСЕЛ

(ГОСТ 8032-84)

В стандарте установлены предпочтительные числа и ряды предпочтительных чисел, которые должны применяться при установлении градаций и отдельных значений параметров технических объектов (продукции, условий ее существования, технологических процессов и др.), а также ряды чисел (в том числе содержащих непредпочтительные числа), применяемые в случаях, когда использование рядов предпочтительных чисел невозможно или нецелесообразно (далее – предпочтительные ряды чисел). Стандарт не распространяется на параметры технических объектов, естественная закономерность изменения значений которых отличается от закономерностей образования рядов, установленных стандартом.

1. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Предпочтительные числа получают на основе геометрической прогрессии, i-й член которой равен $g_i = \pm 10^{\frac{i}{R}}$ (знаменатель прогрессии $Q = \sqrt[R]{10}$), где R = 5, 10, 20, 40, 80 и 160, а i принимает целые значения в интервале от 0 до R. Значение R определяет число членов прогрессии в одном десятичном интервале.

Предпочтительные числа представляют собой округленные значения членов ряда данной прогрессии. Члены прогрессии, расположенные в интервале от 1,00 до 10,00 составляют исходный ряд.

1.2. Ряды предпочтительных чисел не ограничиваются в обоих направлениях, при этом предпочтительные числа менее 1 и более 10 получают делением или умножением членов исходного ряда на число 10, 100, 1000 и т.д.

1.3. Предпочтительные числа одного ряда могут быть либо только положительными, либо только отрицательными.

1.4. Свойства рядов предпочтительных чисел приведены в Приложении 1 к ГОСТ 8032-84.

2. ОСНОВНЫЕ РЯДЫ ПРЕДПОЧТИТЕЛЬНЫХ ЧИСЕЛ

2.1. Обозначения и знаменатели основных рядов предпочтительных чисел устанавливаются по табл. 1, а члены в интервале от 1 до 10 – по табл. 2.

Таблица 1

Обозначение основного ряда	Знаменатель ряда	
	Округленное значение Q_0	Точное значение $Q_т$
R 5	1,6	$\sqrt[5]{10}$
R 10	1,25	$\sqrt[10]{10}$
R 20	1,12	$\sqrt[20]{10}$
R 40	1,06	$\sqrt[40]{10}$

Таблица 2

R 5	*R* 10	*R* 20	*R* 40	Порядковый номер *i*-го предпочтительного числа	Мантисса десятичного логарифма	Расчетное значение предпочтительного числа	Относительное отклонение предпочтительных чисел основных рядов от расчетных значений, %
1,0	1,00	1,00	1,00	0	000	1,0000	0,00
			1,06	1	025	1,0593	+0,07
		1,12	1,12	2	050	1,1220	-0,18
			1,18	3	075	1,1885	-0,71
	1,25	1,25	1,25	4	100	1,2589	-0,71
			1,32	5	125	1,3335	-1,01
		1,40	1,40	6	150	1,4125	-0,88
			1,50	7	175	1,4962	+0,25
1,6	1,60	1,60	1,60	8	200	1,5849	+0,95
			1,70	9	225	1,6788	+1,26
		1,80	1,80	10	250	1,7783	+1,22
			1,90	11	275	1,8836	+0,87
	2,00	2,00	2,00	12	300	1,9953	+0,24
			2,12	13	325	2,1135	+0,31
		2,24	2,24	14	350	2,2387	+0,06
			2,36	15	375	2,3714	-0,48
2,5	2,50	2,50	2,50	16	400	2,5119	-0,47
			2,65	17	425	2,6607	-0,40
		2,80	2,80	18	450	2,8184	-0,65
			3,00	19	475	2,9854	+0,49

	3,15	3,15	3,15	20	500	3,1623	-0,39
			3,35	21	525	3,3497	+0,01
		3,55	3,55	22	550	3,5481	+0,05
			3,75	23	575	3,7584	-0,22
4,0	4,00	4,00	4,00	24	600	3,9811	+0,47
			4,25	25	625	4,2170	+0,78
		4,50	4,50	26	650	4,4668	+0,74
			4,75	27	675	4,7315	+0,39
	5,00	5,00	5,00	28	700	5,0119	-0,24
			5,30	29	725	5,3088	-0,17
		5,60	5,60	30	750	5,6234	-0,42
			6,00	31	775	5,9566	+0,73
6,3	6,30	6,30	6,30	32	800	6,3096	-0,15
			6,70	33	825	6,6834	+0,25
		7,10	7,10	34	850	7,0795	+0,29
			7,50	35	875	7,4989	+0,01
	8,00	8,00	8,00	36	900	7,9433	+0,71
			8,50	37	925	8,4140	+1,02
		9,00	9,00	38	950	8,9125	+0,98
			9,50	39	975	8,4406	+0,63
10,0	10,00	10,00	10,00	40	000	10,0000	0,00

2.2. При необходимости ограничения основных рядов в их обозначениях указываются предельные члены, которые всегда включаются в ограниченные ряды.

П р и м е р : *R* 10 (1,25...) – ряд *R* 10, ограниченный членом 1,25 (включительно) в качестве нижнего предела; *R* 20 (...45) – ряд *R* 20, ограниченный членом 45 (включительно) в качестве верхнего предела; *R* 40 (75...300) – ряд *R* 40, ограниченный членами 75 и 300 и включающий оба члена.

3. ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ РЯДЫ ПРЕДПОЧТИТЕЛЬНЫХ ЧИСЕЛ

3.1. Обозначения и знаменатели дополнительных рядов предпочтительных чисел устанавливаются по табл. 3, а члены в интервале от 1 до 10 – по табл. 4.

Таблица 3

Обозначение дополнительного ряда	Знаменатель ряда	
	Округленное значение Q_0	Точное значение $Q_т$
R 80	1,03	$\sqrt[80]{10}$
R 160	1,015	$\sqrt[160]{10}$

Таблица 4

R 80	*R* 160
1,00	1,000
	1,015
1,03	1,030
	1,045
1,06	1,060
	1,075
1,09	1,090
	1,105
1,12	1,120
	1,135
1,15	1,150
	1,165
1,18	1,180
	1,190
1,22	1,220
	1,230
1,25	1,250
	1,265

14. МЕЖДУНАРОДНОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО В ОБЛАСТИ МЕТРОЛОГИИ

Важной характеристикой измерений, особенно в современных условиях, является то, что они не ограничены рамками одной страны. Темпы развития мировой экономики во многом определяет международная торговля. Эффективность научных, технических, медицинских исследований в значительной степени зависит от международного сотрудничества. Экологические проблемы не разделены национальными границами. Едва ли можно представить себе научную дисциплину, для которой международное сотрудничество было бы более важным, чем для метрологии.

В последние годы мировая метрология вступила в новый этап своего развития – создание международной системы измерений. Международное сотрудничество по метрологии осуществляется путем участия представителей стран в работе значительного числа международных и межгосударственных организаций. Современное состояние и результаты международного сотрудничества по метрологии более полно представлены в учебном пособии [50].

Организации, учрежденные Метрической конвенцией

(см. Приложение 3. Дипломатический документ Метрической конференции)

В 1875 г. главы 17 государств (императоров, королей, президентов), желая обеспечить международную унификацию и усовершенствование Метрической системы, поручили своим полномочным представителям подписать в Париже (Франция) согласованный Дипломатический документ Метрической конвенции (Приложение 3. Конвенция. Регламент). Конвенцию заключили Германия, Австро-Венгрия, Бельгия, Бразилия, Аргентинская Конфедерация, Дания, Испания, Соединенные Штаты Америки, Французская Республика, Италия, Перу, Португалия и Алгарви, **Всея Россия**, Швеция и Норвегия, Швейцарская Конфедерация, Оттоманская Империя и Республика Венесуэла. В дальнейшем к Метрической конвенции присоединялось большинство других государств.

Эта Конвенция, подписанная в 1875 г., остается исходным международным межправительственным договором о применении Метрической системы мер (в настоящее время – Международной системы единиц, SI; см. главу 4, раздел 4.1).

Метрической конвенцией предусмотрено создание и функционирование **Генеральной конференции по мерам и весам (CGPM – ГКМВ), Международного комитета по мерам и весам (CIPM – МКМВ) и Международного бюро мер и весов (BIPM – МБМВ).**

Основной целью деятельности этих организаций в настоящее время является обеспечение единства измерений на основе применения, распространения и совершенствования **Международной системы единиц (SI).** В Конвенции и приложенном к ней Регламенте изложен порядок работы ГКМВ, МКМВ и МБМВ. Все расходы по организации и оборудованию МБМВ, также как и ежегодные расходы по содержанию и расходы МКМВ, покрываются взносами договорившихся государств.

ГКМВ – Генеральная конференция по мерам и весам (CGPM: General Conference on Weights and Measures) является высшим органом в мире по вопросам установления единиц величин, их определений и методов воспроизведения при помощи эталонов. Конференция созывается не реже одного раза в 6 лет. Первое заседание ГКМВ состоялось в 1889 г., двадцать первое – в 1999 г., двадцать шестое – в 2017 г. В соответствии с Конвенцией традиционное место проведения заседаний – Париж (Франция), председатель заседаний – действующий президент Парижской академии наук.

ГКМВ имеет задачей обсуждать и предлагать мероприятия, необходимые для распространения и усовершенствования Метрической системы, а также утверждать новые основные метрологические определения, произведенные в период времени между ее заседаниями. Она принимает отчет Международного комитета о выполненных работах и производит обновления МКМВ. Голосование Резолюций на заседаниях ГКМВ производится по государствам: каждое государство имеет право на один голос. Члены МКМВ имеют право участвовать в заседаниях ГКМВ; они могут, одновременно, быть делегатами своих правительств.

МКМВ – Международный комитет мер и весов (CIPM: International Committee of Weights and Measures) имеет в своем составе 18 самых авторитетных ученых-метрологов, избираемых ГКМВ. Комитет, являясь высшим мировым авторитетом в метрологии, определяет основные направления работ. Комитет руководит работой входящих в него **консультативных комитетов**:

• Консультативный комитет по электричеству и магнетизму (CCEM: Consultative Committee for Electricity and Magnetism, основан в 1927 г.);

• Консультативный комитет по фотометрии и радиометрии (CCPR: Consultative Committee for Photometry and Radiometry, основан в 1933 г.);

• Консультативный комитет по термометрии (CCT: Consultative Committee for Thermometry, основан в 1937 г.);

• Консультативный комитет по длине (CCL: Consultative Committee for Length, основан в 1952 г.);

• Консультативный комитет по времени и частоте (CCTF: Consultative Committee for Time and Frequency, основан в 1956 г.);

• Консультативный комитет по ионизирующим излучениям (CCRI: Consultative Committee for Ionizing Radiation, основан в 1958 г.);

• Консультативный комитет по единицам (CCU: Consultative Committee for Units, основан в 1964 г. вместо комиссии 1954 г.);

• Консультативный комитет по массе и сопутствующим величинам (CCM: Consultative Committee for Mass and Related Quantities, основан в 1980 г.);

• Консультативный комитет по количеству вещества: метрология в химии и биологии (CCQM: Consultative Committee for Amount of Substance: Metrology in Chemistry and Biology, основан в 1993 г.);

• Консультативный комитет по акустике, ультразвуку и вибрации (CCAUV: Consultative Committee for Acoustics, Ultrasound and Vibration, основан в 1999 г.).

Работа в консультативных комитетах проводится силами специалистов высшей квалификации в своей области из ведущих метрологических институтов и лабораторий мира.

МБМВ – Международное бюро мер и весов (BIPM: Bureau International des Poids et Mesures, www.bipm.org) начало функционировать в 1879 г. МБМВ – это метрологический институт, в котором работает около шестидесяти высококвалифицированных метрологов; место пребывания – г. Севр (под Парижем, Франция). Бюро действует под наблюдением и руководством МКМВ и выполняет следующие задачи: хранение прототипа килограмма, имевшего до 26-го заседания ГКМВ (2017 г.) статус международного эталона; создание и хранение международных эталонов и ключевые сличения с ними национальных эталонов; выполнение метрологических исследований, в том числе по повышению точности воспроизведения шкал и единиц Международной системы единиц. В соответствии с Метрической конвенцией (Приложение 3) МКМВ и МБМВ имеют полномочия осуществлять метрологическую политику во всем мире. В компетенцию МКМВ и МБМВ входит установление требований к эталонам, в том числе принятие мер по достижению эквивалентности национальных эталонов разных стран путем периодических ключевых сличений.

По инициативе МБМВ в 1999 г. был подписан директорами национальных метрологических институтов (НМИ) документ о договоренности «Взаимное признание национальных эталонов и сертификатов калибровки и измерений, выдаваемых национальными

метрологическими институтами» (CIPM MRA, см. Приложение 2). Деятельность по выполнению CIPM MRA координирует МБМВ. Консультативные комитеты МКМВ, региональные метрологические организации (РМО) и МБМВ несут ответственность за ключевые и дополнительные сличения. Объединенный комитет региональных метрологических организаций и МБМВ (JCRB) несут ответственность за анализ и введение данных в базу данных по калибровочным и измерительным возможностям, декларируемых НМИ.

В 2019 г. МБМВ опубликована новая версия **Брошюры «Международная система единиц (SI)» – Le Système international d'unités (SI),** English version **– The International System of Units (SI), 9e édition 2019,** Édité par le BIPM, Pavillon de Breteuil, F-92312 Sèvres Cedex France, www.bipm.org > Publications > SI Brochure (содержание Брошюры изложено в главе 4, разделе 4.1).

Объединенный комитет региональных метрологических организаций и МБМВ

(Joint Committee of the Regional Metrology Organizations and the BIPM – JCRB, www.bipm.org > regional)

Созданный МКМВ в 1999 г. Объединенный комитет региональных метрологических организаций и МБМВ координируют взаимодействие региональных метрологических организаций, направленное на взаимное признание национальных эталонов и установление доверия к выдаваемым ими сертификатам калибровки и измерений в соответствии с CIPM MRA. В сферу ответственности Комитета входят анализ и включение в базу данных МКМВ предложений региональных метрологических организаций в части калибровочных и измерительных возможностей своих членов, а также содействие соответствующим межрегиональным сличениям. JCRB составляют региональные метрологические организации (РМО):

- Евро-Азиатское сотрудничество государственных метрологических учреждений (КООМЕТ),
- Европейская ассоциация национальных метрологических институтов (EURAMET),
- Азиатско-Тихоокеанская метрологическая программа (APMP),
- Межафриканская метрологическая система (AFRIMETS),
- Межамериканская метрологическая система (SIM),
- Ассоциация по метрологии стран Персидского залива (GULFMET).

КООМЕТ – COOMET

(Euro-Asian Cooperation of National Metrological Institutions, www.coomet.org)

Региональная метрологическая организация Евро-Азиатское сотрудничество государственных метрологических учреждений (КООМЕТ) основана в 1991 г. странами Центральной и Восточной Европы (стран ранее входивших в СЭВ – Совет экономической взаимопомощи). В дальнейшем участие в КООМЕТ расширилось. Членами КООМЕТ являются: Азербайджан, Армения, Беларусь, Болгария, Босния и Герцеговина*, Германия*, Грузия, Казахстан, Китай*, Кыргызстан, КНДР*, Куба*, Литва, Молдова, Россия, Румыния, Словакия, Таджикистан, Турция*, Узбекистан, Украина (*ассоциированный член КООМЕТ).

По меморандуму КООМЕТ является организацией Евро-Азиатского сотрудничества государственных метрологических учреждений (из числа стран Центральной и Восточной Европы, Азии и географически близких к ним стран), открытой для присоединения к ней метрологических учреждений стран других регионов.

Целями КООМЕТ являются:

- содействие эффективному решению вопросов единообразия мер, единства и требуемой точности измерений;
- содействие развитию сотрудничества в экономике и устранению технических препятствий в международной торговле;
- сближение деятельности метрологических служб на основе международных договоренностей.

Задачами КООМЕТ являются:

- укрепление связей между государственными метрологическими учреждениями, заинтересованными в решении совместных проблем, и создание эффективных механизмов для достижения взаимного соответствия эталонов, согласованности требований, предъявляемых к измерительным приборам и методам их метрологического контроля;
- признание эквивалентности национальных сертификатов, удостоверяющих результаты метрологической деятельности;
- обмен информацией о состоянии метрологических служб и направлениях их развития;
- совместная разработка метрологических тем;
- содействия во взаимном оказании метрологических услуг.

К основным направлениям сотрудничества КООМЕТ относятся:

- реализация Договоренности CIPM MRA;
- создание и совершенствование первичных эталонов единиц и шкал измерений;
- передача размеров единиц от первичных эталонов рабочим средствам измерений;

- участие в ключевых сличениях CIPM национальных эталонов и проведение региональных сличений эталонов;

- разработка новых методов измерений и новых типов высокоточных средств измерений;

- решение вопросов общей метрологии, включая вопросы теории измерений и погрешностей, системы единиц, терминологии;

- создание системы сбора и распространения информации по метрологии и измерительной технике, информационно-измерительные технологии;

- определение, сбор, оценка и аттестация стандартных справочных данных, используемых в метрологии;

- создание и применение стандартных образцов состава и свойств веществ и материалов;

- согласование требований к измерительным приборам, подлежащим метрологическому контролю, а также методов их испытаний, с учетом международных рекомендаций;

- создание условий для взаимного признания результатов метрологического контроля и надзора;

- развитие калибровки и признание ее результатов в соответствии с принципами и процедурой, установленными международными организациями;

- создание, обеспечение функционирования и развития систем менеджмента качества НМИ;

- обучение и повышение квалификации специалистов;

- совершенствование деятельности Организации и ее структур.

Структура КООМЕТ:

- Комитет КООМЕТ, в состав которого входят руководители государственных метрологических учреждений-членов КООМЕТ или назначенные ими лица;

- Президент, избираемый Комитетом КООМЕТ из числа своих членов сроком на 3 года с возможностью одного повторения этого срока;

- Вице-президент, одобряемый Комитетом из числа своих членов по предложению Президента;

- Секретариат КООМЕТ, ведение которого на русском и английском языках обеспечивает Президент;

- Совет Президента (Президент, вице-президенты, руководитель Секретариата КООМЕТ, Избранный Президент и Предыдущий Президент – в установленные сроки), в задачи которого входит формирование политики сотрудничества в рамках КООМЕТ, взаимодействие с международными и региональными метрологическими организациями, организация сотрудничества между заседаниями Комитета и подготовка вопросов для рассмотрения на этих заседаниях;

- Объединённый комитет по эталонам (ОКЭ) осуществляет координацию и методическое обеспечение сотрудничества НМИ стран-членов КООМЕТ, состоит из 12-ти технических комитетов (ТК):

ТК 1.1 Общие вопросы измерений (общая метрология),
ТК 1.2 Акустика, ультразвук и вибрация,
ТК 1.3 Электричество и магнетизм,
ТК 1.4 Расходометрия,
ТК 1.5 Длина и угол,
ТК 1.6 Масса и связанные с ней величины,
ТК 1.7 Фотометрия и радиометрия,
ТК 1.8 Физико-химия,
ТК 1.9 Ионизирующие излучения и радиоактивность,
ТК 1.10 Термометрия и теплофизика,
ТК 1.11 Время и частота,
ТК 1.12 Стандартные образцы;

- ТК 2 Законодательная метрология;
- Форум Качества (QF);

ТК 3.1 Технический комитет Форума Качества;

- ТК 4 Информация и обучение;
- ТК 5 Совместные научные исследования в области метрологии.

Перечень Рекомендаций КООМЕТ

№	Наименование рекомендации	Обозначение
1.	Рекомендация. Типовая методика испытаний виброизмерительных преобразователей (вибродатчиков)	COOMET R/AUV/1:1995
2.	Рекомендация. Межгосударственная поверочная схема для средств измерений времени и частоты	COOMET R/TF/2:1995
3.	Рекомендация. Требования к время-частотной аппаратуре, выпускаемой странами, входящими в КООМЕТ, необходимые для взаимного признания результатов национальных метрологических поверок и аттестаций	COOMET R/TF/3:1995
4.	Рекомендация. Порядок совместной разработки, признания и регистрации стандартных образцов в рамках КООМЕТ	COOMET R/RM/4:2008
5.	Рекомендация. Содержание и правила оформления документации на СО, разрабатываемые в рамках КООМЕТ	COOMET R/RM/5:2010

6.	Рекомендация. Реестр стандартных образцов состава и свойств веществ и материалов, разрабатываемых в рамках КООМЕТ. Основные положения	COOMET R/RM/6: 2010
7.	Рекомендация. Процедура проведения внутренней экспертизы измерительных и калибровочных возможностей НМИ КООМЕТ и межрегиональной экспертизы НМИ других региональных метрологических организаций	COOMET R/GM/7:2014
8.	Рекомендация. Построение, изложение, оформление и содержание описания типа средства измерений для национального реестра средств измерений	COOMET R/LM/8:2002
9.	Рекомендация. Рекомендации по оценке систем менеджмента качества национальных метрологических институтов / Назначенных институтов. Приложения	COOMET R/AQ/9:2019
10.	Рекомендация. Программное обеспечение средств измерений. Общие технические требования	COOMET R/LM/10:2004
11.	Рекомендация. Положение о сличениях эталонов национальных метрологических институтов КООМЕТ	COOMET R/GM/11:2017
12.	Рекомендация. Правила ведения Программы сличений КООМЕТ	COOMET R/GM/12:2015
13.	Рекомендация. Порядок и процедура оценки Систем менеджмента качества национальных метрологических институтов / Назначенных институтов. Приложения	COOMET R/AQ/13:2019
14.	Рекомендация. **Руководство по оцениванию данных ключевых сличений КООМЕТ**	COOMET R/GM/14:2016
15.	Рекомендация. **Порядок оформления сертификатов калибровки, выдаваемых национальными метрологическими институтами в рамках CIPM MRA**	COOMET R/GM/15:2007
16.	Рекомендация. Рекомендации по включению стандартных образцов в Приложение С CIPM MRA	COOMET R/RM/16:2007
17.	Рекомендация. Правила оформления Свидетельства участника межлабораторной аттестации стандартных образцов КООМЕТ	COOMET R/RM/17:2011
18.	Рекомендация. Порядок проведения Международного конкурса «Лучший молодой метролог КООМЕТ»	COOMET R/GM/18:2013
19.	Рекомендация. **Руководство по оцениванию данных дополнительных сличений КООМЕТ**	COOMET R/GM/19:2016

20.	Рекомендация. Государственная система обеспечения единства измерений. **Шкалы измерений. Термины и определения**	COOMET R/GM/20:2009
21.	Рекомендация. **Использование понятий «погрешность измерения» и «неопределенность измерения». Общие принципы**	COOMET R/GM/21:2011
22.	Рекомендация. **Форма и содержание сертификата КООМЕТ на стандартные образцы состава и свойств веществ и материалов**	COOMET R/RM/22:2013
23.	Рекомендация. Процедура формирования и опубликования на web-ресурсах КООМЕТ информационных данных о калибровочных и измерительных услугах НМИ стран-членов КООМЕТ	COOMET R/GM/23:2014
24.	Рекомендация. Программы обучения и стажировок специалистов национальных метрологических институтов, сотрудничающих в КООМЕТ	COOMET R/IT/24:2014
25.	Рекомендация. Порядок отнесения технических устройств к средствам измерений	R/LM/25:2015
26.	Рекомендация. Общие требования к компетентности поверочных лабораторий	R/LM/26:2015
27.	Рекомендация. Порядок оформления документов, выдаваемых по результатам проведения обучения, стажировок и повышения квалификации в рамках КООМЕТ	R/IT/27:2015
28.	Рекомендация. Типовая программа испытаний программного обеспечения средств измерений	R/LM/28:2016
29.	Рекомендация. Содержание и порядок проведения работ по сличению стандартных образцов в рамках КООМЕТ	R/RM/29:2016
30.	Рекомендация. Порядок заполнения Формуляра базы данных КООМЕТ на стандартные образцы КООМЕТ	R/RM/30:2016
31.	Рекомендация. **Методики калибровки средств измерений. Общие требования**	R/GM/31:2016
32.	Рекомендация. **Калибровка средств измерений. Алгоритмы обработки результатов измерений и оценивания неопределённости**	R/GM/32:2017
33.	Рекомендация. Калибровка платиновых термометров сопротивления методом непосредственного сличения	R/T/33:2018

ЕВРАМЕТ – EURAMET

(European Association of National Metrology Institutes)

Странами Европейского сообщества (ЕС) в 1987 г. была создана региональная метрологическая организация – Европейская ассоциация национальных метрологических институтов **(EUROMET,** затем **EURAMET – ЕВРАМЕТ)**.

Цель – развитие тесного сотрудничества между странами ЕС по совершенствованию эталонов, оптимизации использования национальных ресурсов и служб, ускорение внедрения разработок по метрологии, улучшение качества работы измерительных служб.

ЕВРАМЕТ разрабатывает согласованные с рекомендациями МОЗМ директивы на измерительные приборы, которые принимаются на правительственном уровне, получая статус национальных законов (Директивы ЕС). В частности, результаты испытаний типа средств измерений и оценки соответствия, проведенные в одной стране, а также выданные сертификаты признаются во всех странах-членах ЕС.

В странах Западной Европы, кроме ЕВРОМЕТ, действуют:

- Западно-Европейское сотрудничество по законодательной метрологии (WELMEC – European Cooperation in Legal Metrology);
- Западно-Европейское объединение по калибровке (EAL);
- Европейское Объединение по аккредитации (EA – European Cooperation for Accreditation).

WELMEC, основанное в 1989 году, является форумом служб по законодательной метрологии государств-членов Европейского союза и Европейской ассоциации свободной торговли (EFTA). Цель – координация деятельности национальных служб по законодательной метрологии стран ЕС для устранения препятствий в торговле. Обеспечение взаимного признания сертификатов испытаний и поверки СИ. Каждый член WELMEC сам финансирует свою деятельность.

EAL основано в 1989 г. с целью взаимного признания странами-членами ЕС национальных сертификатов о калибровке СИ, не подпадающих под юрисдикцию законодательной метрологии и не подлежащих обязательной поверке. Все они самостоятельно финансируют свою деятельность. У них нет бюджета, нет постоянного места пребывания. Они работают (4 года) в той стране, где выбран секретарь.

АПМП – APMP

(Asia Pacific Metrology Program)

Региональная метрологическая организация Азиатско-Тихоокеанская метрологическая программа (APMP) охватывает НМИ стран азиатского и тихоокеанского регионов для взаимодействия по выполнению CIPM MRA.

В этом регионе также действуют:

• Азиатско-Тихоокеанский форум по законодательной метрологии (APLMF – Asia-Pacific Legal Metrology Forum, АТФЗМ), объединяющий органы законодательной метрологии стран Азиатско-Тихоокеанского экономического содружества (APEC) и другие страны побережья Тихого океана;

• Азиатско-Тихоокеанское объединение по аккредитации лабораторий (APLAC – Asia-Pacific Laboratory Accreditation Cooperation, АПЛАК).

AFRIMETS

(Intra-Africa Metrology System, www.afrimets.org)

Региональная метрологическая организация Межафриканская метрологическая система (AFRIMETS) охватывает НМИ стран африканского региона для взаимодействия по выполнению CIPM MRA.

SIM

(Inter-American Metrology System, www.sim-metrologia.org.br)

Региональная метрологическая организация Межамериканская метрологическая система (SIM) охватывает НМИ стран американского региона для взаимодействия по выполнению CIPM MRA. В этом регионе также действуют региональные организации по законодательной метрологии и аккредитации лабораторий. В SIM входят 34 страны, разделённые на 5 подрегионов – NORAMET, SURAMET, ANDIMET, CAMET и CARIMET. Самый большой из них – NORAMET, в который входят США, Канада и Мексика, а калибровка наиболее развита в США.

GULFMET

(GULF Association for Metrology, www.gulfmet.org)

Региональная метрологическая организация Ассоциация по метрологии стран Персидского залива (GULFMET) охватывает НМИ стран персидского региона (Саудовская Аравия, Йемен, Кувейт, Бахрейн, Катар, Эмираты, Оман). GULFMET образована в 2010 г. по инициативе GSO (www.gso.org.sa) – организации по стандартизации для государств-членов Совета сотрудничества стран Персидского залива и Йемена.

Объединенный комитет по руководствам в области метрологии

(Joint Committee for Guides in Metrology – **JCGM**)

Объединенный комитет по руководствам в области метрологии (JCGM), возглавляемый директором Международного бюро мер и весов, был создан в 1997 г. семью организациями, подготовившими Руководство по выражению неопределенности в измерениях (GUM) и Международный словарь основных и общих терминов в области метрологии (VIM). Первоначально JCGM состоял из представителей Международного бюро мер и весов (BIPM), Международной электротехнической комиссии (IEC), Международной федерации клинической химии и лабораторной медицины (IFCC), Международной организации по стандартизации (ISO), Международного союза теоретической и прикладной химии (IUPAC), Международного союза теоретической и прикладной физики (IUPAP) и Международной организации законодательной метрологии (OIML). В 2005 г. к ним присоединилась организация – Международное сотрудничество по аккредитации лабораторий (ILAC).

JCGM состоит из двух Рабочих групп. Задача Рабочей группы 1 (JCGM/WG 1) состоит в содействии активному использованию GUM, а также подготовке Дополнений к GUM для широкого применения. Задача Рабочей группы 2 (JCGM/WG 2) – пересмотр VIM и содействие его применению. Рабочая группа 2 состоит из представителей организаций-членов JCGM и экспертов. Третье издание VIM подготовлено Рабочей группой 2.

Международный словарь основных и общих терминов в области метрологии (VIM 3, третье издание). VIM 3 – International vocabulary of metrology: Basic and general concepts and associated terms. JCGM 200:2008 (E/F), (www.bipm.org/utils/en/pdf/JCGM_charter.pdf). Третье издание VIM также опубликовано в печатном виде Международной организацией по стандартизации (ISO/IEC Guide 99-12:2007 International Vocabulary of Metrology – Basic and General Concepts and Associated Terms, VIM). Более подробную информацию можно получить на сайте www.iso.org. Третье издание было рассмотрено и утверждено каждой из восьми организаций-членов JCGM. Данное издание отменяет и заменяет собой второе издание VIM 1993 г. Международные термины, изложенные в VIM, должны стать основой для терминологии, применяемой в национальных стандартах.

VIM переведен на русский язык: Международный словарь по метрологии: основные и общие понятия и соответствующие термины: пер. с англ. и фр. / Всерос. науч.-исслед. ин-т метрологии им. Д.И. Менделеева, Белорус. гос. ин-т метрологии. Изд. 2-е испр. – СПб.: НПО «Профессионал», 2010, 82 с.

Руководство по выражению неопределенности измерений (GUM) и дополнения к нему. Руководство по выражению неопределенности измерений состоит из ряда (GUM series) документов (JCGM 100 series – Guides to the expression of uncertainty in measurement):

• **JCGM 100** – Evaluation of measurement data – Guide to the expression of uncertainty in measurement (ISO/IEC Guide 98-3);

• **JCGM 101** – Evaluation of measurement data – Supplement 1 to the "*Guide to the expression of uncertainty in measurement*" – Propagation of distributions using a Monte Carlo method (ISO/IEC Guide 98-3-1);

• **JCGM 104** – Evaluation of measurement data – An introduction to the «*Guide to the expression of uncertainty in measurement»* (ISO/IEC Guide 98-1).

Следующие части находятся в подготовке:

• **JCGM 102** – Evaluation of measurement data – Supplement 2 to the «*Guide to the expression of uncertainty in measurement»* – Models with any number of output quantities (ISO/IEC Guide 98-3-2);

• **JCGM 103** – Evaluation of measurement data – Supplement 3 to the «*Guide to the expression of uncertainty in measurement*» – Modelling (ISO/IEC Guide 98-3-3);

• **JCGM 105** – Evaluation of measurement data – Concepts and basic principles (ISO/IEC Guide 98-2);

• **JCGM 106** – Evaluation of measurement data – The role of measurement uncertainty in conformity assessment (ISO/IEC Guide 98-4);

• **JCGM 107** – Evaluation of measurement data – Applications of the least-squares method (ISO/IEC Guide 98-5).

Имеется перевод на русский язык JCGM 106: Оценивание данных измерений. Роль неопределенности измерения при оценке соответствия. Пер. с англ. под науч. ред. В.А. Слаева, А.Г. Чуновкиной. – СПб.: НПО «Профессионал», 2014, 82 с. (JCGM 106:2012. Evaluation of measurement data – The role of measurement uncertainty in conformity assessment).

Имеются также публикации Европейской организации по аккредитации (www.european-accreditation.org): EA-4/02 Evaluation of the Uncertainty of Measurement in Calibration (Оценка неопределенности измерения при калибровках). и документ ILAC P 14:01/2013 (Политика ИЛАК по неопределенности при проведении калибровки). Оба документа ILAC-P14 и EA-4/02 являются обязательными для органов по аккредитации в составе EA.

Оценке неопределенности измерений при калибровках также посвящено несколько руководств по калибровке Euramet (см. на сайте www.euramet.org).

Международная организация законодательной метрологии

(OIML – L'Organisation Internationale de Metrologie legale, МОЗМ)

МОЗМ – межправительственная организация, созданная в 1956 г. на основе Конвенции, подписанной 24-мя государствами, в том числе СССР. Затем Конвенцию признали более 100 государств. Высший орган МОЗМ – Международная конференция (первая состоялась в 1956 г., одиннадцатая – в 2000 г.). В составе Организации: Международный комитет законодательной метрологии (CIML, **МКЗМ** – исполнительный орган); Международное бюро законодательной метрологии (BIML находится в Париже), ведущее всю оперативную работу; технические комитеты и подкомитеты, в которых осуществляется разработка международных документов, рекомендаций, словарей и руководств.

Деятельность МОЗМ направлена на согласование национальных метрологических правил с целью устранения технических барьеров при реализации внешнеторговых, промышленных и научно-технических связей. Приоритетные направления: установление требований законодательной метрологии к характеристикам средств измерений, методам их контроля и надзора; содействие установлению взаимного доверия к результатам измерений характеристик сырья, полуфабрикатов и готовых изделий; содействие в развитии метрологических служб развивающихся стран и их техническом оснащении, в подготовке кадров метрологов; определение общих принципов законодательной метрологии.

Перечень международных документов и рекомендаций МОЗМ систематически публикуется в бюллетенях МОЗМ (Bulletin de I´Oiganisation Internationale de Metrologie Legate). Общие принципы законодательной метрологии оформляются в виде международных документов (их около 30): Закон о метрологии, узаконенные единицы измерений, документация на эталоны и устройства калибровки, принципы построения поверочных схем, принципы метрологического контроля и надзора, общие требования к электронным средствам измерений и другие. По всем направлениям деятельности МОЗМ действует более 120 международных рекомендаций (МР), отражающих технические требования к средствам измерений, применяемым в области торговли, здоровья, безопасности, охраны окружающей среды. Часть МР относится к Системе сертификатов МОЗМ, другие МР должны быть для этой цели доработаны. В следующих таблицах представлена выборка наиболее общих публикаций МОЗМ из полного перечня (см. на сайте: www.oiml.org).

Основные публикации (OIML B)

OIML B 1	OIML Convention; Конвенция OIML, 1968.
OIML B 3	OIML Basic Certificate System for OIML Type Evaluation of Measuring Instruments; Система основного сертификата OIML для оценивания типа средств измерений, 2011.
OIML B 10-Amended-2012	Framework for a Mutual Acceptance Arrangement on OIML Type Evaluations (Integrating the changes in the 2012 Amendment); Основы договоренности о взаимном признании оценок, 2011.
OIML B 18	Framework for the OIML Certification System (OIML-CS); Основы Системы сертификации МОЗМ (МОЗМ-СС), 2016.

Документы (OIML D)

OIML D 1	Considerations for a Law on Metrology; Основные элементы Закона о метрологии, 2012.
OIML D 2	Legal units of measurement; Узаконенные единицы измерения, 2007.
OIML D 3	Legal qualification of measuring instruments; Соответствие средств измерений законодательным требованиям, 1979.
OIML D 5	Principles for the establishment of hierarchy schemes for measuring instruments; Принципы создания поверочных схем для средств измерений, 1982.
OIML D 8	Measurement standards. Choice, recognition, use, conservation and documentation; Эталоны. Выбор, признание, применение, хранение и документирование, 2004.
OIML D 9	Principles of metrological supervision; Принципы метрологического надзора, 2004.
OIML D 10	ILAC-G24/OMIL D 10: Gudelines for the determination of recalibration intervals of measuring equipment used in testing laboratories; Руководство по определению межкалибровочных интервалов средств измерений, 2007.

OIML D 11	General requirements for measuring instruments - Environmental conditions; Общие требования к средствам измерений. Условия окружающей среды, 2013.
OIML D 12	Fields of use of measuring instruments subject to verification; Области использования средств измерений, подлежащих поверке, 1986.
OIML D 13	Guidelines for Bi- or Multilateral arrangements on there cognition of: test results – pattern approvals – verifications; Рекомендации по составлению двух- или многосторонних соглашений по признанию результатов испытаний, утверждения типа, поверок, 1986.
OIML D 14	Training and qualification of legal metrology personal; Обучение и квалификация экспертов в области законодательной метрологии, 2004.
OIML D 16	Principles of assurance of metrological control; Принципы проведения метрологического контроля, 2011.
OIML D 18	The use of certified reference materials in fields covered by metrological control exercised by national services of legal metrology. Basic principles; Использование сертифицированных стандартных образцов в областях, подвергаемых метрологическому контролю, осуществляемому национальными службами законодательной метрологии. Основные принципы, 2008.
OIML D 19	Pattern evaluation and pattern approval; Испытание и утверждение типов средств измерений, 1988.
OIML D 20	Initial and subsequent verification of measuring instruments and processes; Первичная и периодическая поверки средств измерений и измерительных процессов, 1988.
OIML D 21	Secondary standard dosimetry laboratories for the calibration of dosimeters used in radiotherapy; Вторичные эталонные дозиметрические лаборатории для поверки дозиметров, используемых в радиотерапии, 1990.
OIML D 22	Guide to portable instruments for assessing airborne pollutants arising from hazardous wastes; Руководство по применению портативных средств измерений для оценки степени загрязненности воздуха промышленными выбросами, 1991.

OIML D 23	Principles of metrological control of equipment used for verification; Принципы метрологического контроля оборудования, используемого при поверке, 1993.
OIML D 27	Initial verification of measuring instruments using the manufacture's quality management system; Первичная поверка средств измерений с использованием системы качества изготовителя, 2001.
OIML D 29	Guide for the application of ISO/IEC Guide 65 to assessment of measuring instrument certification bodies in legal metrology; Руководство по применению Руководства 65 ИСО / МЭК для оценки органов по сертификации средств измерений, относящихся к области законодательной метрологии, 2008.
OIML D 30	Guide for the application of ISO/IEC Guide 17025 to the assessment of Testing Laboratories involved in legal metrology; Руководство по применению ИСО / МЭК 17025 для оценки испытательных лабораторий, участвующих в законодательной метрологии, 2008.
OIML D 31	General requirements for software controlled measuring instruments; Общие требования к средствам измерений с программным управлением, 2008.

Рекомендации (OIML R)

OIML R 14	Polarimetric saccharimeters graduated in accordance with the ICUMSA International Sugar Scale; Сахариметры поляриметрические, градуированные в соответствии с международной шкалой содержания сахара ICU MSA, 1995.
OIML R 21	Taximeters. Metrological and technical requirements, test procedures and test report format; Таксометры. Метрологические и технические требования, методы испытаний и форма протокола испытаний, 2007.
OIML R 22	International alcoholometric tables; Международные спиртометрические таблицы, 1975.
OIML R 34	Accuracy classes of measuring instruments; Классы точности средств измерений, 1979.

OIML R 42	Metal stamps for verification officers; Металлические клейма поверителей, 1981.
OIML R 49-1	Water meters for the metering of cold potable water and hotwater. Part 1: Metrological and technical requirements; Счетчики воды, предназначенные для измерения объема холодной питьевой и горячей воды. Часть 1: Метрологические и технические требования, 2013.
OIML R 49-2	Water meters for the metering of cold potable water and hot water. Part 2: Test methods; Счетчики воды, предназначенные для измерения объема холодной питьевой воды. Часть 2: Методы испытаний, 2013.
OIML R 49-3	Water meters for the metering of cold potable water and hot water. Part 3: Test report format; Счетчики воды, предназначенные для измерения объема холодной питьевой и горячей воды. Часть 3: Форма протокола испытаний, 2013.
OIML R 54	pH scale for aqueous solution; Шкала pH в водных растворах, 1981.
OIML R 55	Speedometers, mechanical odometers and chronotachographs for motor vehicles. Metrological regulations; Спидометры, механические счетчики расстояний и хронотахографы для автомобилей. Метрологические требования, 1981.
OIML R 56	Standard solutions reproducing the conductivity of electrolytes; Образцовые растворы, воспроизводящие проводимость электролитов, 1981.
OIML R 58	Sound level meters; Шумомеры, 1998.
OIML R 59	Moisture meters for cereal grains and oilseeds. Part 1: Metrological and technical requirements; Влагомеры для зерновых и маслосодержащих культур. Часть 1: Метрологические и технические требования, 2016.
OIML R 59-2	Moisture meters for cereal grains and oilseeds. Part 2: Metrological controls and performance tests; Влагомеры для зерновых и маслосодержащих культур. Часть 2: Метрологический контроль и выполнение испытаний, 2016.
OIML R 59-3	Moisture meters for cereal grains and oilseeds. Part 3: Test report format; Влагомеры для зерновых и маслосодержащих культур. Часть 3: Форма протокола испытаний, 2016.

OIML R 63	Petroleum measurement tables; Измерительные таблицы для нефти, 1994.
OIML R 68	Calibration method for conductivity cells; Методика калибровки ячеек проводимости, 1985.
OIML R 75-1	Heat meters Part 1: General requirements; Счетчики тепла. Часть 1: Общие требования, 2002.
OIML R 75-2	Heat meters. Part 2: Type approval tests and initial verification Tests; Счетчики тепла. Часть 2: Испытания на утверждение типа и первичная поверка, 2002.
OIML R 75-3	Heat meters. Part 3: Test Report Format; Счетчики тепла. Часть 3: Форма протокола испытаний, 2006.
OIML R 79	Labeling requirements for prepackaged products; Требования к маркировке предварительно упакованных товаров, 2015.
OIML R 82	Gas chromatographs systems for measuring pollution from pesticides and other toxic substances; Газовые хроматографы для измерения загрязненности пестицидами и другими токсичными веществами, 2006.
OIML R 83	Gas chromatograph/mass spectrometer system for analysis of organic pollutants in water; Газовые хроматографы, масс-спектрометры и системы автоматической обработки данных анализа органических загрязнителей в воде, 2006.
OIML R 84	Platinum, copper, and nickel resistance thermometers (for industrial and commercial use); Термометры сопротивления из платины, меди и никеля (для коммерческого и промышленного использования), 2003.
OIML R 87	Quantity of product in prepackages; Количество продукции в упаковках, 2016.
OIML R 88	Integrating – averaging sound level meters; Интегрирующие и усредняющие приборы для определения уровня звука, 1998.
OIML R 89	Electroencephalographs – Metrological characteristics – Methods and equipment for verification; Электроэнцефалографы. Метрологические характеристики. Методы и средства поверки, 1990.
OIML R 90	Electrocardiographs – Metrological characteristics – Methods and equipment for verification; Электрокардиографы. Метрологические характеристики. Методы и средства поверки, 1990.

OIML R 91	Radar equipment for the measurement of the speed of vehicles; Измерение скорости транспортных средств с помощью Радаров, 1990.
OIML R 92	Wood-moisture meters – Verification methods and equipment: general provisions; Влагомеры для древесины. Методы и средства поверки: общие требования, 1989.
OIML R 102	Sound calibrators (including Annex A); Калибраторы шума, 1992.
OIML R 102-ann –b-c	Sound calibrators - Annexes B and C: Test methods for pattern evaluation and test report format; Калибраторы шума. Приложение B и C: Методы испытаний типа и форма протокола испытаний, 1995.
OIML R 103	Measuring instrumentation for human response to vibration; Оборудование для определения воздействия вибрации на человека, 1992.
OIML R 104	Pure-tone audiometers; Аудиометры чистого тона, 1993.
OIML R 104-ann -f	Pure-tone audiometers. Annex F: Test report format; Аудиометры чистого тона. Приложение F. Форма отчета испытаний, 1997.
OIML R 111-1	Weights of classes E1, E2, F1, F2, M1, M1-2, M2, M2-3 и M3. Part 1: Metrological and technical requirements; Гири класса точности E1, E2, F1, F2, M1, M1-2, M2, M2-3 и M3. Часть 1: Метрологические и технические требования, 2004.
OIML R 111-2	Weights of classes E1, E2, F1, F2, M1, M1-2, M2, M2-3 and M3. Part 2: Test report format; Гири класса точности E1, E2, F1, F2, M1, M1-2, M2, M2-3 и M3. Часть 2: Форма протокола испытаний, 2004.
OIML R 116	Inductively coupled plasma atomic emission spectrometers for the measurement of metal pollutants in water; Атомно-эмиссионные спектрометры с индуктивно связанной плазмой для измерения металлических загрязняющих веществ в воде, 2006.
OIML R 122	Equipment for speech audiometry; Речевые аудиометры, 1996.
OIML R 123	Portable and transportable X-ray fluorescence spectrometers for field measurement of hazardous elemental pollutants; Переносные и транспортируемые флуоресцентные спектрометры рентгеновского излучения для измерения в полевых условиях опасных элементарных загрязняющих веществ, 1997.

OIML R 126	Evidential breath analyzers; Анализаторы дыхания на содержание алкоголя, 2012.
OIML R 127	Radiochromic film dosimetry system for ionizing radiation processing of materials and products; Дозиметрическая система с применением пленок для радиационной хроматографии, предназначенная для обработки материалов и изделий ионизирующим излучением, 1999.
OIML R 129	Multi-dimensional measuring instruments; Средства измерений многокоординатные, 2000.
OIML R 130	Octave-band and one-third-octave-band filters; Фильтры полосовые октавные и третьоктавные, 2001.
OIML R 131	Polymethylmethacrylat dosimetry systems for ionizing radiation processing of materials and products; Дозиметрические системы с применением полиметилметакрилата, предназначенные для обработки материалов и продуктов ионизирующим излучением, 2001.
OIML R 132	Alanine EPR dosimetry systems for ionizing radiation processing of materials and products; Аланиновые дозиметрические системы (EPR) для обработки ионизирующим излучением материалов и продуктов, 2001.
OIML R 134-1	Automatic instruments for weighing road vehicles in motion and measuring axle loads. Part 1: Metrological and technical requirements – Test; Автоматическое оборудование для взвешивания автотранспортных средств в движении и измерения нагрузки на ось. Часть 1: Метрологические и технические требования – испытания, 2006.
OIML R 134-2	Automatic instruments for weighing road vehicles in motion and measuring axle loads. Part 2: Test report format; Автоматическое оборудование для взвешивания автотранспортных средств в движении и измерения нагрузки на ось. Часть 2: Форма протокола испытаний, 2009.
OIML R 147	Standard blackbody radiator for the temperature range from -50 °C to 2500 °C; Эталонный чернотельный излучатель для диапазона температур от -50 °C до 2500 °C, 2016.

Словари (OIML V)

OIML V 1	International vocabulary of terms in legal metrology (VIML) (bilingual French-English) / Vocabulaire international des termes de métrologie légale (VIML) (bilingue français-anglais); Международный словарь терминов по законодательной метрологии (VIML) (двуязычный французско-английский словарь), 2013.
OIML V 2-200	International Vocabulary of Metrology – Basic and General Concepts and Associated Terms (VIM). 3rd Edition (Bilingual E/F). (Edition 2010 with minor corrections); Международный словарь по метрологии. Основные и общие понятия и термины (VIM). 3-е издание (двуязычный французско-английский словарь), 2012.

Руководства (OIML Guide)

OIML G 1-100	Evaluation of measurement data – Guide to the expression of uncertainty in measurement; Оценивание измерительных данных – Руководство по выражению неопределенности измерений, 2008.
OIML G 1-101	Evaluation of measurement data – Supplement 1 to the «Guide to the expression of uncertainty in measurement» – Propagation of distributions using a Monte Carlo method; Оценивание измерительных данных – Приложение 1 к «Руководству по выражению неопределенности измерений» – Трансформирование распределений, используя метод Монте Карло, 2008.
OIML G 1-102	Evaluation of measurement data – Supplement 2 to the «Guide to the expression of uncertainty in measurement» – Extension to any number of output quantities; Оценивание измерительных данных – Приложение 2 к «Руководству по выражению неопределенности измерений» – Расширение до любого числа выходных величин, 2011.
OIML G 1-104	Evaluation of measurement data – An introduction to the «Guide to the expression of uncertainty in measurement» and related documents; Оценивание измерительных данных – Введение в «Руководство по выражению неопределенности измерений» и связанных с ним документов, 2009.

OIML G 1-106	Evaluation of measurement data – The role of measurement uncertainty in conformity assessment; Оценивание измерительных данных – Роль неопределенности измерения в оценке соответствия, 2012.
OIML G 2	The metrology of hardness scales – Bibliography (P 10); Шкалы твердости – Библиография (P 10), 1981.
OIML G 3	Factors influencing hardness measurement (P 11); Факторы, влияющие на измерение твердости (P 11), 1983.
OIML G 4	Hardness test blocks and indenters (P 12); Меры твердости и инденторы (P 12), 1984.
OIML G 5	Hardness standard equipment (P 13); Эталонное оборудование для измерения твердости (P 13), 1989.
OIML G 6	The unification of hardness measurement (P 14); Объединение измерений твердости (P 14), 1991.
OIML G 7	Guide to calibration (P 15); Руководство по калибровке (P 15), 1989.
OIML G 8	Guide to practical temperature measurements (P 16); Руководство по практическим измерениям температуры (P16), 1991.
OIML G 9	French-English) / Formation en métrologie – Synthèse et bibliographie (bilingue français-anglais) (P 2); Обучение по метрологии – Сводная информация и библиография (двуязычное французско-английское издание) (P 2), 1987.
OIML G 10	Verification equipment for national Metrology Services (P 4); Поверочное оборудование национальных метрологических служб (P 4), 1986.
OIML G 13	Planning of metrology and testing laboratories (P 7); Планирование метрологических и испытательных лабораторий (P 7), 1989.
OIML G 18	Alphabetical list of terms defined in OIML Recommendations and Documents; Алфавитный список терминов, используемых в рекомендациях и документах OIML, 2010.
OIML G 19	The role of measurement uncertainty in conformity assessment decisions in legal metrology; Роль неопределенности измерения в принятии решений по оценке соответствия в области законодательной метрологии, 2017.

Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации (МГС) Содружества Независимых Государств (СНГ)

(EuroAsian Interstate Council for Standardization, Metrology and Certification)

и Евразийский экономический союз (ЕАЭС)

МГС является межправительственным органом СНГ по формированию и проведению согласованной политики по стандартизации, метрологии и сертификации. Рабочим органом МГС является Бюро по стандартам в составе группы экспертов и регионального Информационного центра. МГС признан Международной организацией по стандартизации (ISO) как Евро-Азийский совет по стандартизации, метрологии и сертификации (EASC) (Резолюция Совета ISO 26/1996).

При МГС создано несколько научно-технических комиссий, в том числе Научно-техническая комиссия по метрологии НТКметр, состоящая из специалистов-метрологов стран СНГ и готовящая нормативные документы по метрологии для принятия их МГС. В рамках МГС разрабатываются и принимаются Межгосударственные стандарты (ГОСТ), Межгосударственные правила (ПМГ) и Межгосударственные рекомендации (РМГ). В Российской Федерации эти НД вводятся в действие приказами Росстандарта в качестве национальных стандартов, правил и рекомендаций по метрологии или стандартизации.

Евразийский экономический союз (**ЕАЭС**). Приложением № 10 к договору о Евразийском экономическом союзе от 29 мая 2014 года является Протокол о проведении согласованной политики в области обеспечения единства измерений. Этим Протоколом предусмотрена разработка 10 документов, одним из которых является «Порядок организации поверки и калибровки средств измерений». «Порядок организации поверки средств измерений» был принят решением Коллегии ЕЭК от 26 июля 2016 года № 89. Имеется решения Совета Евразийской экономической комиссии:

- от 17 марта 2016 г. № 21 «Об утверждении Порядка метрологической аттестации методики (метода) измерений»;
- от 7 июня 2016 года № 68 «Об утверждении Порядка аттестации методики (метода) измерений, принимаемой в качестве референтной методики (метода) измерений»;
- от 18 октября 2016 года № 145 «Об утверждении Правил взаимного признания результатов работ по обеспечению единства измерений».

Организационно-методические документы МГС

ГОСТ 1.0-2015	Межгосударственная система стандартизации. Основные положения
ГОСТ 1.1-2002	Межгосударственная система стандартизации. Термины и определения
ГОСТ 1.2-2015	Межгосударственная система стандартизации. Стандарты межгосударственные, правила и рекомендации по межгосударственной стандартизации. Правила разработки, принятия, применения, обновления и отмены
ГОСТ 1.3-2014	Межгосударственная система стандартизации. Стандарты межгосударственные. Правила разработки на основе международных и региональных
ГОСТ 1.4-2015	Межгосударственная система стандартизации. Межгосударственные Технические комитеты по стандартизации. Правила создания и деятельности
ГОСТ 1.5-2001	Межгосударственная система стандартизации. Стандарты межгосударственные, правила и рекомендации по межгосударственной стандартизации. Общие требования к построению, изложению, оформлению, содержанию и обозначению
ГОСТ 8.566-2011	ГСИ. Межгосударственная система данных о физических константах и свойствах веществ и материалов. Основные положения
ПМГ 03-2011	Порядок регистрации, издания и обеспечения межгосударственными нормативными документами по стандартизации
ПМГ 04-94	Порядок распространения межгосударственных стандартов и нормативной документации Межгосударственного совета по стандартизации, метрологии и сертификации
ПМГ 05-94	Порядок взаимодействия национальных органов по стандартизации по осуществлению переводов межгосударственных, международных и зарубежных стандартов
ПМГ 06-2001	Порядок признания результатов испытаний и утверждения типа, поверки, метрологической аттестации средств измерений

РМГ 10-94	Рекомендации по организации работ по межгосударственной стандартизации в области вооружения и военной техники
РМГ 12-95	Единая система технологической документации. Порядок выполнения технологической документации на временные технологические процессы
ПМГ 13-95	Порядок разработки и ведения межгосударственных классификаторов
ПМГ 14-96	Положение о гармонизации классификаторов технико-экономической и социальной информации
ПМГ 15-96	Требования к компетентности лабораторий неразрушающего контроля и технической диагностики
РМГ 17-2019	Порядок планирования работ по сотрудничеству в области создания и применения стандартных образцов состава и свойств веществ и материалов
РМГ 19-96	Рекомендации по основным принципам и методам стандартизации терминологии
РМГ 20-97	Рекомендации по разработке руководства по качеству лаборатории неразрушающего контроля и технической диагностики
ПМГ 21-97	Контроль неразрушающий. Производственные секторы для целей сертификации персонала
ПМГ 22-2004	Правила разработки программы работ по межгосударственной стандартизации
РМГ 23-97	Единая система технологической документации. Выполнение технологических документов на директивные технологические процессы
РМГ 24-97	Рекомендации по разработке стандартов межгосударственными техническими комитетами по стандартизации
ПМГ 26-98	Реестр межгосударственных стандартных образцов состава и свойств веществ и материалов. Основные положения
РМГ 27-99	Порядок проведения и содержание работ при проведении метрологической экспертизы технической документации на межгосударственные стандартные образцы
РМГ 29-2013	ГСИ. **Метрология. Основные термины и определения**

ПМГ 32-2006	Порядок взаимодействия органов государственного надзора за соблюдением технических регламентов
ПМГ 33-2006	Порядок проведения проверок безопасности взаимопоставляемой продукции
РМГ 34-2019	ГСИ. Порядок актуализации реестра межгосударственных стандартных образцов
ПМГ 35-2001	ГСИ. **Положение о межгосударственном эталоне**
ПМГ 36-2001	Порядок признания сертификатов соответствия в государствах - участниках Содружества Независимых Государств
РМГ 41-2001	Оформление переводов изданий международных и региональных организаций по стандартизации
ПМГ 42-2001	**Сличение государственных (национальных) эталонов. Порядок организации и проведения**
ПМГ 44-2001	Порядок признания методик выполнения измерений
РМГ 45-2003	Изложение требований в части внешних воздействующих факторов при применении стандартов МЭК и ИСО в нормативных документах по стандартизации. Общие положения
ПМГ 48-2002	Порядок обмена документами в электронном формате
РМГ 50-2002	Рекомендации по применению ссылок на стандарты в документации и по указанию обозначений стандартов в маркировке
РМГ 51-2002	ГСИ. Документы на методики поверки средств измерений. Основные положения
РМГ 52-2002	ГСИ. **Общие методические рекомендации по применению положений ГОСТ 8.315-97 при разработке и применении стандартных образцов**
РМГ 53-2002	ГСИ. Стандартные образцы. Оценивание метрологических характеристик с использованием эталонов и образцовых средств измерений
РМГ 54-2002	ГСИ. Характеристики градуировочные средств измерений состава и свойств веществ и материалов. Методика выполнения измерений с использованием стандартных образцов

РМГ 55-2003	ГСИ. Стандартные образцы состава чистых органических веществ. Методы аттестации. Основные положения
РМГ 56-2002	ГСИ. Комплекты стандартных образцов состава веществ и материалов. Методика взаимного сличения
РМГ 57-2003	ГСИ. Образцы для контроля точности результатов испытаний пищевой продукции. Общие положения
РМГ 58-2003	ГСИ. Оценка качества работы испытательной лаборатории пищевых продуктов и продовольственного сырья. Методика внешнего контроля точности результатов испытаний
РМГ 59-2019	ГСИ. Проверка пригодности к применению в лаборатории реактивов с истекшим сроком хранения способом внутри лабораторного контроля точности измерений
РМГ 60-2003	ГСИ. Смеси аттестованные. Общие требования к разработке
РМГ 61-2010	ГСИ. Показатели точности, правильности, прецизионности методик количественного химического анализа. Методы оценки
РМГ 62-2003	ГСИ. Обеспечение эффективности измерений при управлении технологическими процессами. Оценивание погрешности измерений при ограниченной исходной информации
РМГ 63-2003	ГСИ. Обеспечение эффективности измерений при управлении технологическими процессами. Метрологическая экспертиза технической документации
РМГ 64-2003	Обеспечение эффективности измерений при управлении технологическими процессами. Методы и способы повышения точности измерений
ПМГ 65-2003	ГСИ. Цистерны железнодорожные. Общие требования к методикам поверки объемным методом
ПМГ 68-2004	Порядок признания сертификатов компетентности персонала в области подтверждения соответствия
РМГ 69-2003	ГСИ. Характеристики оптического излучения соляриев. Методика выполнения измерений
РМГ 70-2003	ГСИ. Характеристики ультрафиолетового излучения бактерицидных облучателей. Методика выполнения измерений

РМГ 71-2003	ГСИ. Характеристики ультрафиолетового излучения источников медицинского назначения. Методика выполнения измерений
РМГ 72-2007	ГСИ. Оценка измерительных возможностей национальных органов по метрологии на основе метрологических характеристик стандартных образцов состава и свойств веществ и материалов
РМГ 74-2004	ГСИ. Методы определения межповерочных и межкалибровочных интервалов средств измерений
РМГ 75-2014	ГСИ. Измерения влажности веществ. Термины и определения
РМГ 76-2014	ГСИ. Внутренний контроль качества результатов количественного химического анализа
РМГ 78-2005	ГСИ. Излучения ионизирующие и их измерения. Термины и определения
ПМГ 82-2007	Оценка соответствия. Правила сертификации персонала
РМГ 83-2007	**ГСИ. Шкалы измерений. Термины и определения**
ПМГ 84-2007	ГСИ. **Эталоны единиц величин. Порядок разработки, утверждения, регистрации, хранения и применения**
РМГ 85-2009	ГСИ. Масса нефти. Методика выполнения измерений в железнодорожных цистернах в системе магистрального нефтепроводного транспорта. Основные положения
РМГ 86-2009	ГСИ. Масса нефти. Методика выполнения измерений в вертикальных резервуарах в системе магистрального нефтепроводного транспорта. Основные положения
РМГ 87-2009	ГСИ. Масса нефти. Методика выполнения измерений в горизонтальных резервуарах в системе магистрального нефтепроводного транспорта. Основные положения
РМГ 88-2009	ГСИ. Масса нефти. Методика выполнения измерений в автомобильных цистернах в системе магистрального нефтепроводного транспорта. Основные положения
РМГ 89-2010	ГСИ. Приемо-сдаточные пункты нефти. Метрологическое и техническое обеспечение

ПМГ 90-2008	Сертификаты об утверждении типа. Свидетельства (сертификаты) о поверке/калибровке средств измерений. Клейма поверительные/калибровочные. Общие требования к содержанию и оформлению
РМГ 91-2019	**ГСИ. Использование понятий «погрешность измерения» и «неопределенность измерения». Общие принципы**
ПМГ 92-2009	ГСИ. **Метрологическая экспертиза проектов нормативных документов**
РМГ 93-2015	ГСИ. Оценивание метрологических характеристик стандартных образцов
РМГ 94-2009	ГСИ. Испытательные лаборатории, осуществляющие контроль качества нефти при приемо-сдаточных операциях. Основные требования
РМГ 95-2009	Принципы и методология стандартизации. Ссылки на стандарты в технических регламентах. Основные положения и методы ссылок
РМГ 97-2010	ГСИ. Плотность нефти и нефтепродуктов и коэффициенты объемного расширения и сжимаемости. Методы расчета
РМГ 98-2010	ГСИ. Порядок метрологического и технического обеспечения ввода в промышленную эксплуатацию систем измерений количества и показателей качества нефти
РМГ 99-2010	ГСИ. Порядок метрологического и технического обеспечения промышленной эксплуатации систем измерений количества и показателей качества нефти, трубопоршневых поверочных установок и средств в их составе
РМГ 100-2010	ГСИ. Рекомендации по определению массы нефти при учетных операциях с применением систем измерений количества и показателей качества нефти
РМГ 101-2010	ГСИ. Системы измерений количества и показателей качества нефти. Метрологические и технические требования к проектированию
РМГ 102-2010	Модули оценки (подтверждения) соответствия и схемы сертификации

РМГ 103-2010	ГСИ. Проверка квалификации испытательных (измерительных) лабораторий, осуществляющих испытание веществ, материалов и объектов окружающей среды (по составу и физико-химическим свойствам), посредством межлабораторных сравнительных испытаний
РМГ 104-2010	ГСИ. Нефть. Остаточное газосодержание. Методика измерений
РМГ 105-2010	ГСИ. Резервуары стальные вертикальные цилиндрические теплоизолированные. Методика поверки геометрическим методом
РМГ 106-2010	ГСИ. Нормы погрешности баланса сдаваемой и принимаемой массы нетто нефти по ОАО «АК «Транснефть»
РМГ 107-2010	ГСИ. Потенциальные потери углеводородов в нефти от испарения. Методика поверки
РМГ 108-2011	ГСИ. Резервуары железобетонные вертикальные. Методика поверки объемным методом
РМГ 109-2011	ГСИ. Нефть. Отбор проб из трубопроводов
РМГ 110-2010	ГСИ. Резервуары железобетонные цилиндрические со сборной стенкой вместимостью до 30000 м. Методика поверки геометрическим методом
РМГ 111-2011	Правила пломбирования и клеймения средств измерений и оборудования, применяемых в составе систем измерений количества показателей качества нефти
РМГ 112-2010	ГСИ. Резервуары (танки) речных и морских наливных судов. Методика поверки объемным методом
РМГ 113-2010	Оценка степени риска при планировании госнадзора
РМГ 114-2011	Порядок проведения изучения (мониторинга) безопасности продукции на рынке
РМГ 115-2011	ГСИ. **Калибровка средств измерений. Алгоритмы обработки результатов измерений и оценивания неопределенности**
РМГ 116-2011	ГСИ. Резервуары магистральных нефтепроводов и нефтебаз. Техническое обслуживание и метрологическое обеспечение в условиях эксплуатации

РМГ 117-2012	Рекомендации по выбору форм и схем обязательного подтверждения соответствия продукции при разработке технических регламентов
ПМГ 118-2013	ГСИ. Порядок ведения межгосударственного Реестра методик выполнения измерений, применяемых в сфере законодательной метрологии
РМГ 119-2013	ГСИ. **Общие требования к выполнению поверочных работ**
РМГ 120-2013	ГСИ. **Общие требования к выполнению калибровочных работ**
ПМГ 121-2013	ГСИ. **Порядок проведения испытаний средств измерений в целях утверждения типа**
ПМГ 122-2013	ГСИ. **Порядок утверждения типа средств измерений**
ПМГ 123-2013	ГСИ. Порядок выдачи документов об утверждении типа средств измерений, установления и изменения срока действия указанных документов и интервала между поверками средств измерений
ПМГ 124-2013	ГСИ. Порядок ведения Межгосударственного Реестра средств измерений
РМГ 125-2013	ГСИ. Создание межгосударственного Реестра сертифицированных экспертов-метрологов
ПМГ 126-2013	ГСИ. **Порядок аттестации методик выполнения измерений и их применения в сферах законодательной метрологии государств-участников СНГ**
РМГ 127-2013	ГСИ. Порядок аккредитации метрологических служб юридических лиц на право аттестации методик выполнения измерений и проведении метрологической экспертизы документов
РМГ 128-2013	ГСИ. Требования к созданию лабораторий, осуществляющих испытания и измерения
РМГ 129-2013	ГСИ. Требования к специалистам в области обеспечения единства измерений, осуществляющим деятельность в сфере законодательной метрологии (экспертам-метрологам)
РМГ 130-2013	ГСИ. Порядок подготовки экспертов-метрологов, независимой оценки их компетентности и единых правил сертификации экспертов

РМГ 131-2013	**ГСИ. Требования к типовым учебным программам подготовки экспертов-метрологов и их сертификация**
РМГ 132-2013	ГСИ. Системы автоматизированные информационно-измерительные коммерческого учета электрической энергии. Рекомендации по составлению описания типа
РМГ 133-2013	ГСИ. Системы автоматизированные информационно-измерительные коммерческого учета электрической энергии. Типовая методика поверки
РМГ 134-2015	Проверка квалификации лабораторий посредством межгосударственных межлабораторных сравнительных испытаний. Планирование и организация
РМГ 135-2016	ГСИ. Установки радиационно-технологические с ускорителями электронов для стерилизации медицинских изделий. Методика аттестации
РМГ 136-2016	ГСИ. Обеспечение единства измерений поглощенной дозы ионизирующего излучения при испытаниях и радиационной стерилизации медицинских изделий. Общие требования
РМГ 137-2016	ГСИ. Поглощенные дозы фотонного и электронного излучений при установлении стерилизующей и максимально допускаемой дозы для медицинских изделий, подвергаемых радиационной стерилизации. Методика выполнения измерений
РМГ 138-2016	ГСИ. Установки радиационно-технологические с радионуклидными источниками излучения для стерилизации медицинских изделий. Методика аттестации
РМГ 144-2019	ГСИ. Обеспечение единства измерений поглощенной дозы ионизирующего излучения при радиационной обработке пищевых продуктов. Общие требования (с Поправкой)

Межгосударственные стандарты

Сведения о действующих межгосударственных стандартах (ГОСТ) представлены на сайте МГС (www.easc.org.by). Здесь приведена выборка общих для всех видов измерений ГОСТ.

ГОСТ IEC 60050-300-2015. Межгосударственный стандарт. Международный электротехнический словарь. Электрические и электронные измерения и измерительные приборы. Часть 311: Общие термины, относящиеся к измерениям. Часть 312: Общие термины, относящиеся к электрическим измерениям. Часть 313: Типы электрических приборов. Часть 314: Специальные термины, соответствующие типу прибора (см. IEC 60050-300:2001).

ГОСТ ISO/IEC 17025-2019. Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий (см. ISO/IEC 17025:2017).

ГОСТ ISO Guide 30-2019. Стандартные образцы. Некоторые термины и определения (см.ISO Guide 30-2015).

ГОСТ ISO Guide 33-2019. Стандартные образцы. Надлежащая практика применения стандартных образцов (см. ISO Guide 33:2015).

ГОСТ ISO Guide 34-2014. Общие требования к компетентности изготовителей стандартных образцов (см. ISO Guide 34:2009).

ГОСТ ISO Guide 35-2015. Межгосударственный стандарт. Стандартные образцы. Общие и статистические принципы сертификации (аттестации) (см. ISO Guide 35:2006).

ГОСТ ISO/IEC 17000-2012. Оценка соответствия. Словарь и общие принципы (см. ISO/IEC17000:2004).

ГОСТ 34100.1-2017 / ISO/IEC Guide 98-1:2009. Межгосударственный стандарт. Неопределенность измерения. Часть 1. Введение в руководства по выражению неопределенности измерения (см. ISO/IEC Guide 98-1:2009).

ГОСТ 34100.3-2017 / ISO/IEC Guide 98-3:2008. Межгосударственный стандарт. Неопределенность измерения. Часть 3. Руководство по выражению неопределенности измерения (см. ISO/IEC Guide 98-3:2008).

ГОСТ 34100.3.1-2017/ISO/IEC Guide 98-3/Suppl 1:2008. Межгосударственный стандарт. Неопределенность измерения. Часть 3. Руководство по выражению неопределенности измерения. Дополнение 1. Трансформирование распределений с использованием метода Монте-Карло (см. ISO/IEC Guide 98-3-1:2008).

ГОСТ 34100.3.2-2017/ISO/IEC Guide 98-3/Suppl 2:2011. Межгосударственный стандарт. Неопределенность измерения. Часть 3. Руководство по выражению неопределенности измерения. Дополнение 2. Обобщение на случай произвольного числа выходных величин (см. ISO/IEC Guide 98-3-2:2011).

ГОСТ 16465-70. Сигналы радиотехнические измерительные. Термины и определения.

ГОСТ 13699-91. Запись и воспроизведение информации. Термины и определения.

ГОСТ 7601-78. Физическая оптика. Термины, буквенные обозначения и определения основных величин.

ГОСТ26148-84. Фотометрия. Термины и определения.

ГОСТ 13088-67. Колориметрия. Термины, буквенные обозначения.

ГОСТ 16504-81. Система государственных испытаний продукции. Испытания и контроль качества продукции. Основные термины и определения.

ГОСТ 8032-84 (СТ СЭВ 3961-83). Предпочтительные числа и ряды предпочтительных чисел.

ГОСТ 8.009-84. Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ). Нормируемые метрологические характеристики средств измерений.

ГОСТ 8.061-80 ГСИ. Поверочные схемы. Содержание и построение.

ГОСТ 8.256-77 ГСИ. Нормирование и определение динамических характеристик аналоговых средств измерений. Основные положения.

ГОСТ 8.271-77 ГСИ. Средства измерения давления. Термины и определения.

ГОСТ 8.315-2019 ГСИ. Стандартные образцы состава и свойств веществ и материалов. Основные положения.

ГОСТ 8.323-2016 Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ). Эталонные сигналы частоты и времени, излучаемые специализированными радиостанциями Государственной службы времени, частоты и определения параметров вращения Земли. Основные характеристики

ГОСТ 8.381-2009. ГСИ. Эталоны. Способы выражения точности.

ГОСТ 8.395-80 ГСИ. Нормальные условия измерений при поверке. Общие требования

ГОСТ 8.401-80 ГСИ. Классы точности средств измерений. Общие требования

ГОСТ 8.417-2002 ГСИ. Единицы величин.

ГОСТ 8.430-88 ГСИ. Обозначения единиц физических величин для печатающих устройств с ограниченным набором знаков

ГОСТ 8.496-83 ГСИ. Радиационная безопасность. Коэффициент качества ионизирующих излучений

ГОСТ 8.508-84 ГСИ. Метрологические характеристики средств измерений и точностные характеристики средств автоматизации ГСП. Общие методы оценки и контроля

ГОСТ 8.525-85 ГСИ. Установки высшей точности для воспроизведения единиц физических величин. Порядок разработки, аттестации, регистрации, хранения и применения

ГОСТ 8.549-86 ГСИ. Погрешности, допускаемые при измерении линейных размеров до 500 мм с неуказанными допусками.

ГОСТ 8.556-91 ГСИ. Методики определения состава и свойств проб вод. Общие требования к разработке

ГОСТ 8.565-99 ГСИ. Порядок установления и корректировки межповерочных интервалов эталонов.

ГОСТ 8.567-2014. ГСИ. Измерения времени и частоты. Термины и определения

Международная организация по стандартизации

(**ISO,** International Organization for Standardization, ИСО),

Международная электротехническая комиссия

(**IEC,** International Electrotechnical Commission, МЭК)

и Международная комиссия по освещению

(**CIE**, International Commission on Illumination, МКО)

ИСО учреждена в 1946 г. Комитетом по координации стандартов ООН двадцатью пятью национальными организациями по стандартизации (в том числе СССР, Россия – член ИСО как правопреемник СССР). Главная цель ИСО – содействие стандартизации в мировом масштабе для облегчения международного товарообмена и взаимопомощи, а также для расширения сотрудничества в области интеллектуальной, научной, технической и экономической деятельности путем разработки международных стандартов. Членами ИСО являются не правительства стран, а национальные организации по стандартизации. Главными структурными подразделениями ИСО являются технические комитеты, подкомитеты и рабочие группы, выполняющие основной вид деятельности – разработку международных стандартов. В ИСО на автономных правах входит МЭК.

IEC, **МЭК** создана в 1906 году. Цель деятельности – содействие международному сотрудничеству по вопросам стандартизации в области электротехники, радиоэлектротехники и связи. В отличие от ИСО, МЭК состоит из национальных комитетов, которые представляют интересы всех отраслей промышленности. В качестве таких национальных комитетов выступают национальные организации по стандартизации. Между ИСО и МЭК заключено соглашение по разграничению сфер деятельности. Бюджет ИСО и МЭК складывается из взносов стран и от продажи международных стандартов.

С МЭК сотрудничает **МКО** (International Commission on Illumination, www.cie.co.at), учрежденная в 1900 г. как международная комиссия по фотометрии, преобразованная в МКО в 1913 г. Ряд международных публикаций МКО относится к фотометрии и колориметрии (цветовым измерениям).

В состав ИСО входит более 160 стран своими национальными организациями по стандартизации. Россию в ИСО представляет Росстандарт в качестве комитета-члена. Всего в составе ИСО более 100 комитетов-членов. Кроме комитетов-членов членство в ИСО может иметь статус членов-корреспондентов, которыми являются организации по стандартизации развивающихся государств. Категория «член-абонент»

введена для развивающихся стран. Комитеты-члены имеют право принимать участие в работе любого Технического комитета ИСО, голосовать по проектам стандартов, избираться в состав Совета ИСО и быть представленными на заседаниях Генеральной ассамблеи ИСО. Члены-корреспонденты не ведут активной работы в ИСО, но имеют право на получение информации о разрабатываемых стандартах. Члены-абоненты уплачивают льготные взносы, имеют возможность быть в курсе международной стандартизации.

Организационно в ИСО входят руководящие и рабочие органы. Руководящие органы: Генеральная ассамблея (высший орган), Совет, Техническое руководящее бюро. Рабочие органы: Технические комитеты (ТК), подкомитеты, Технические консультативные группы (ТКГ).

Совет руководит работой ИСО в перерывах между сессиями Генеральной ассамблеи – собрания должностных лиц и делегатов, назначенных комитетами-членами.

Совету ИСО подчиняется семь комитетов:

1. ПЛАКО (PLACO – Planning Committee, техническое бюро);
2. ПРОФКО (методическая и информационная помощь);
3. КАСКО (CASCO – Committee on conformity assessment, комитет по оценке соответствия);
4. ИНФКО (комитет по научно-технической информации);
5. ДЕВКО (DEVCO – Commitete on developing country matters, комитет по оказанию помощи развивающимся странам);
6. КОПОЛКО (COPOLCO – Committee on consumer policy, комитет по защите интересов потребителей);
7. РЕМКО (REMCO – Committee on reference materials, комитет по стандартным образцам).

Международный стандарт является результатом консенсуса между участниками организации ИСО. Он может использоваться непосредственно или путём внедрения в национальные стандарты разных стран. Международные стандарты разрабатываются Техническими комитетами ИСО (ТК) и подкомитетами (ПК).

Международные стандарты ИСО (International standard ISO) и стандарты МЭК (International standard IEC), а также стандарты, разработанные совместно ИСО и МЭК (International standard ISO/IEC), издаются на английском и французском языках. Эти стандарты вводятся для применения в Российской Федерации путем их перевода на русский язык и переоформления по правилам стандартизации МГС в виде межгосударственных стандартов (ГОСТ ИСО/МЭК) или в Российской Федерации в качестве идентичных «IDT» и (или) модифицированных «MOD» по отношению к стандартам ИСО и МЭК национальных

стандартов Российской Федерации с обозначениями: ГОСТ Р ИСО, ГОСТ Р МЭК или ГОСТ Р ИСО/МЭК.

Сведения о стандартах ИСО, МЭК и МКО представлены в разделе 11.7 учебного пособия [50].

Международная организация по сотрудничеству в области аккредитации лабораторий

(**ILAC** – International Laboratory Accreditation Cooperation, ИЛАК)

ИЛАК является международной кооперацией различных схем аккредитации лабораторий, действующих во всем мире. В январе 2003 г. ИЛАК была зарегистрирована в Нидерландах как бесприбыльная компания. В августе 2003 г. 44 органа по аккредитации лабораторий-членов ИЛАК подписали Договоренность о взаимном признании данных о технических испытаниях и калибровки экспортируемых товаров. Это обеспечивает техническую поддержку международной торговле через развитие глобальной сети аккредитованных испытательных и калибровочных лабораторий, которые оценены и признаны как компетентные органами по аккредитации – подписантами Договоренности ИЛАК. Товары, испытанные в лаборатории, аккредитованной подписантом Договоренности, должны приниматься всеми странами-подписантами. ИЛАК является главным международным форумом для развития практики и процедур аккредитации лабораторий, способствования аккредитации лабораторий как инструмента облегчения торговли, помощи в развитии систем аккредитации и признания компетентности испытательного оборудования во всем мире (подробно в интернете http://www.ilag.org).

Существует также Международный форум по аккредитации (IAF – International Accreditation Forum, www.iaf.nu).

Международная конференция по измерениям (IMECO, ИМЕКО)

ИМЕКО является неправительственным союзом, состоящим из около 35 организаций-членов, каждая из которых связана с развитием техники измерений. Целью ИМЕКО является способствование международному обмену научной и технической информацией в области измерений и приборостроения и международному сотрудничеству среди ученых и инженеров из науки и промышленности. ИМЕКО основана в 1958 году и имеет консультативный статус при Организации Объединенных Наций по образованию, науке и культуре (UNESCO) и при

Организации Объединенных Наций по промышленности (UNIDO). Штаб-квартира находится в Будапеште. Деятельность ИМЕКО осуществляется в основном через Технические комитеты, которые организуют конференции, семинары и симпозиумы по определенным областям метрологии (подробно в интернете http://www.imeko.org).

Систематически проходят конгрессы (конференции) ИМЕКО. Информационные материалы ИМЕКО, отражают результаты ее деятельности, связанные с изготовлением и применением средств измерений в научных исследованиях и промышленности. Публикации ИМЕКО: АСГА IMECO – отчеты заседаний всемирных конгрессов, которые проводятся один раз в три года. IMECO TC (N) – отчеты заседаний технических комитетов. MEASUREMENT – ежеквартальный журнал для научных публикаций из области работ ИМЕКО. IMECO Bulletin – бюллетень, выходящий раз в полгода и освещающий различные вопросы деятельности ИМЕКО.

Комитет по данным для науки и техники (Committee on Data for Science and Technology, **CODATA**, КОДАТА, www.codata.org) – междисциплинарный комитет Международного совета по науке, учрежденный в 1966 г. с целью сбора, критической оценки, хранения и поиска важных данных для задач науки и техники. В 1969 г. была учреждена Рабочая группа CODATA по фундаментальным константам (The CODATA Task Group on Fundamental Constants). Её цель состоит в том, чтобы периодически публиковать международно принятый набор значений фундаментальных физических констант и коэффициентов для их перевода. Первый такой набор CODATA был датирован 1973 годом. С 1998 г. значения констант публикуются каждые четыре года. К 2017 году был подготовлен специальный, внеочередной выпуск набора уточнённых значений фундаментальных постоянных, использованный для окончательной формулировки новых определений единиц в Международной системе единиц (SI, см. главу 4, раздел 4.1).

В Международном совете по науке имеются также Комиссия по изотопическому изобилию и атомным весам (Commission on Isotopic Abundances and Atomic Weights) и Группа компиляции данных по элементарным частицам (Particle Data Group).

В Российской Федерации имеется Российский национальный комитет КОДАТА и функционирует Государственная служба стандартных справочных данных (ГСССД).

Международный союз электросвязи (**МСЭ**, ITU – International Telecommunication Union) – международная организация, определяющая рекомендации в области телекоммуникаций и радио, а также

регулирующая вопросы международного использования радиочастот. Основан как Международный телеграфный союз в 1865 году, с 1947 года является специализированным учреждением ООН. В МСЭ входит 193 страны и более 700 членов по секторам и ассоциациям (научно-промышленных предприятий, государственных и частных операторов связи, радиовещательных компаний, региональных и международных организаций). Стандарты (рекомендации) МСЭ широко поддерживаются, так как облегчают взаимодействие между сетями связи и позволяют провайдерам предоставлять услуги по всему миру.

Текущая организационная структура МСЭ была определена в 1992 г. и включает три подразделения:

1. ITU-T (МСЭ-Т) – Сектор стандартизации электросвязи (является преемником МККТТ, CCITT – Международного консультационного комитета по телефонии и телеграфии);

2. ITU-R (МСЭ-Р) – Сектор радиосвязи (является преемником МККР, CCIR – Международного консультативного комитета по радио и МКРЧ;

3. ITU-D (МСЭ-Д) – Сектор развития электросвязи.

Международная служба вращения Земли и систем координат (IERS – International Earth Rotation and Reference Systems Service) была сформирована в 1987 г. Международным астрономическим и Международным геодезическим и геофизическим союзами; базируется в Париже. Служба предназначена для оценки параметров вращения Земли и установления пространственных систем координат. Служба ответственна за поддержание всемирного времени, стандартных небесной (ICRS) и земной (ITRS) систем координат. Кроме того, организация ответственна за добавление дополнительных секунд ко времени UTC.

Международная организация гражданской авиации (ИКАО, ICAO – International Civil Aviation Organization) **–** является специализированным учреждением Организации Объединенных Наций, полномочия которой предусматривают обеспечение безопасного, эффективного и упорядоченного развития международной гражданской авиации. ИКАО разрабатывает следующие типы стандартов и других положений: Стандарты и Рекомендуемая практика, которые называются SARPS (если имеется в виду и то, и другое); **Правила аэронавигационного обслуживания** (PANS); Дополнительные региональные правила (SUPPs); различного рода инструктивный материал.

Международное агентство по атомной энергии (МАГАТЭ, IAEA) **–** межправительственная организация, учрежденная под эгидой ООН для развития сотрудничества в области мирного использования атомной

энергии. Работает с 1957 г., штаб-квартира – в Вене; более140 членов, в том числе Россия. Официальные языки МАГАТЭ – английский, русский, французский, испанский, китайский. Внешний аудит функционирования системы менеджмента качества (СМК) МАГАТЭ осуществляет ЕВРАМЕТ.

Международный консультативный комитет по стандартизации систем космических данных (CCSDS) был образован в 1982 году крупнейшими космическими агентствами мира, служит форумом для обсуждения общих проблем в области развития и эксплуатации космических информационных систем. В настоящее время состоит из десяти членов агентств, 22 агентств наблюдателей и свыше 100 промышленных партнеров. Стандартизуемые объекты: диапазоны радиочастот, функции и структуры линии «Земля-борт»; параметры приемных и передающих устройств; стандартные блоки форматированных данных; процедуры командных радиолиний; обработка и сжатие данных; интерфейсы и протоколы обмена данными различных уровней.

Комитет по исследованию космического пространства (КОСПАР, COSPAR – Committee on Space Research) – комитет при Международном совете по науке. Был образован в 1958 году для того, чтобы помочь учёным разных стран обмениваться информацией, полученной с помощью космических спутников и автоматических межпланетных станций.

Международный союз геодезии и геофизики (МГГС, IUGG – The International Union of Geodesy and Geophysics) – неправительственная организация, занимающаяся изучением Земли с использованием геодезических и геофизических методов. Основана в 1919 г. Занимается также защитой окружающей среды, уменьшением ущерба от стихийных бедствий, полезными ископаемыми.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дойников А.С., Брянский Л.Н., Крупин Б.Н. Справочник по метрологии. – М: ФГУП «Стандартинформ», 2010, 144 с.
2. Брянский Л.Н., Дойников А.С., Крупин Б.Н. Метрология. Шкалы, эталоны, практика. – М.: ВНИИФТРИ, 2004, 222 с. (http://www.vniiftri.ru/images/files/docs/publications/otd001/metrology.pdf).
3. Федеральный закон Российской Федерации от 26 июня 2008 г. № 102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений» (с изменениями).
4. Федеральный закон Российской Федерации от 27 декабря 2002 г. № 184-ФЗ «О техническом регулировании» (с изменениями).
5. Положение о единицах величин, допускаемых к применению в Российской Федерации. Утверждено постановлением Правительства Российской Федерации от 31 октября 2009 г. № 879.
6. Международный словарь по метрологии: основные и общие понятия и соответствующие термины: пер.с англ. и фр. / Всерос. науч.-исслед. ин-т метрологии им. Д.И. Менделеева, Белорус. гос. ин-т метрологии. Изд. 2-е испр. – СПб.: НПО «Профессионал», 2010, 82 с.; VIM 3 – International vocabulary of metrology: Basic and general concepts and associated terms. JCGM 200:2008 (E/F).
7. РМГ 29-2013. ГСИ. Метрология. Основные термины и определения.
8. Статьи по метрологии: Метрология, Измеряемое свойство, Измеряемая величина, Измерение, Результат измерения, Шкала измерений, Единица измерений, Международная система единиц и др. // Большая российская энциклопедия (БРЭ), Т. 1, 2005 г. – Т. 35, 2017 г. (www.bigenc.ru).
9. Шостин Н.А. Очерки истории русской метрологии. XI – начало XX века. 2-е изд. – М.: Изд-во стандартов, 1990, 280 с.
10. ГОСТ Р 8.000-2000. Государственная система обеспечения единства измерений. Основные положения.
11. РМГ 83-2007. ГСИ. Шкалы измерений. Термины и определения / Рекомендация КООМЕТ R/GM/20:2009: https://www.coomet.net/fileadmin/user_files/DOCUMENTS/COOMET_Documents/Pecommendations/Recommendation_R_GM_20_2009_Ru.pdf).
12. ГОСТ 8.417-2002. Государственная система обеспечения единства измерений. Единицы величин.

13. ГОСТ Р МЭК 80000-13-2016. ГСИ. Величины и единицы. Часть 13. Информатика и информационные технологии.
14. ГОСТ Р МЭК 60027-3-2016. ГСИ. Обозначения буквенные, применяемые в электротехнике. Часть 3. Логарифмические и относительные величины и единицы измерений.
15. ГОСТ Р 8.563-2010 ГСИ. Методики (методы) измерений.
16. ГОСТ 8.010-2013. ГСИ. Методики выполнения измерений. Основные положения.
17. ГОСТ Р ИСО 5725-1.2.3.4.5.6-2002 – ГОСТ Р ИСО 5725-6-2002 Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений.
18. ГОСТ 34100.1–2017/ISO/IEC Guide 98-3:2009. Межгосударственный стандарт. Неопределенность измерения. Часть 1. Введение в руководства по неопределенности измерения.
19. ГОСТ 34100.3–2017/ISO/IEC Guide 98-3:2008. Межгосударственный стандарт. Неопределенность измерения. Часть 3. Руководство по выражению неопределенности измерения.
20. ГОСТ 34100.3.1-201/ISO/IEC Guide 98-3/Suppl 1: 2008. Межгосударственный стандарт. Неопределенность измерения. Часть 3. Руководство по выражению неопределенности измерения. Дополнение 1. Трансформирование распределений с использованием метода Монте-Карло.
21. ГОСТ 34100.3.2-2017/ ISO/IEC Guide 98-3/Suppl 2: 2011. Межгосударственный стандарт. Неопределенность измерения. Часть 3. Руководство по выражению неопределенности измерения. Дополнение 2. Обобщение на случай произвольного числа выходных величин.
22. ГОСТ 8.009–84. ГСИ. Нормируемые метрологические характеристики средств измерений.
23. ГОСТ 8.401–80. ГСИ. Классы точности измерений. Общие требования.
24. МОЗМ. Д 8, издание 2004 года. Эталоны. Выбор, признание, применение, хранение и документация (International Document OIML D 8, Edition 2004. Measurement standards. Choice, recognition, use, conservation and documentation).
25. ГОСТ 8.057-80. ГСИ. Эталоны. Основные положения.
26. ГОСТ Р 8.885-2015. ГСИ. Эталоны. Основные положения.

27. ГОСТ Р 8.809-2012. ГСИ. Эталоны первичные государственные. Создание, утверждение, содержание и применение.

28. ГОСТ 8.381-2009. ГСИ. Эталоны. Способы выражения точности.

29. Р 50.2.078-2011. ГСИ. Порядок подготовки к утверждению государственных первичных эталонов единиц величин.

30. ГОСТ 8.061-80. ГСИ. Поверочные схемы. Содержание и построение.

31. РМГ 91–2019. Использование понятий «погрешность измерения» и «неопределенность измерений». Общие принципы / Рекомендация КООМЕТ R/GM/21:2011: https://www.coomet.net/fileadmin/user_files/DOCUMENTS/COOMET_Documents/Pecommendations/Recommendation_R_GM_21_2011_Ru.pdf.

32. ГОСТ 8.567-2014. ГСИ. Измерения времени и частоты. Термины и определения.

33. ГОСТ Р 8.699-2010. ГСИ. Величины, единицы, шкалы измерений, используемые в глобальной навигационной спутниковой системе.

34. ГОСТ Р 8.739-2011. ГСИ. Эталоны для координатно-временных измерений. Основные положения. Способы выражения погрешностей.

35. Р 50.2.079-2011. ГСИ. Координатно-временные измерения. Термины и определения.

36. ГОСТ Р 8.750-2011. ГСИ. Государственная поверочная схема для координатно-временных средств измерений.

37. Федеральный закон Российской Федерации от 3 июня 2011 г. № 107-ФЗ «Об исчислении времени».

38. Федеральный закон Российской Федерации от 26 декабря 1995 г. № 209-ФЗ «О геодезии и картографии» (с изменениями).

39. Федеральный закон Российской Федерации от 7 июля 2003 г. № 126-ФЗ «О связи» (с изменениями).

40. Федеральный закон Российской Федерации от 28 декабря 2013 г. № 412-ФЗ «Об аккредитации в национальной системе аккредитации».

41. Федеральный закон Российской Федерации от 29 июня 2015 г. № 162-ФЗ «О стандартизации в Российской Федерации».

42. Брянский Л.Н. Непричесанная метрология. 2-е издание, переработанное и дополненное. – Менделеево: ФГУП «ВНИИФТРИ», 2008, 276 с.

43. ГОСТ Р 53603-2009. Оценка соответствия. Схемы сертификации продукции в Российской Федерации.

44. ГОСТ 16504-81. Система государственных испытаний продукции. Испытания и контроль качества продукции. Основные термины и определения.

45. ГОСТ Р 8.568-97. ГСИ. Аттестация испытательного оборудования. Основные положения.

46. ГОСТ Р ИСО 10576-1-2006. Статистические методы. Руководство по оценке соответствия установленным требованиям. Часть 1. Общие принципы.

47. Оценивание данных измерений – Роль неопределенности измерения при оценке соответствия. Пер. с англ. под науч. ред. В.А. Слаева, А.Г. Чуновкиной. – СПб.: НПО «Профессионал», 2014, 82 с. (JCGM 106:2012. Evaluation of measurement data – The role of measurement uncertainty in conformity assessment).

48. Юров Л.В. Оценка качества методик поверки и поверочных схем // Измерительная техника, 2015, № 1, с. 27–32.

49. МИ 3620-2019. Методика выбора способа и параметров поверки СИ с использованием данных о нестабильности МХ СИ.

50. Дойников А.С., Щипунов А.Н. Международное сотрудничество по метрологии. Учебное пособие. – Менделеево: ФГУП «ВНИИФТРИ», 2020, 140 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Метрологическая прослеживаемость координатно-временных измерений

Дойников А.С., Крупин Б.Н., Юров Л.В.

Настоящая публикация подготовлена в целях распространения на комплекс координатно-временных измерений (КВИ), выполняемых, в том числе, с использованием навигационных и спутниковых технологий, положений законодательной метрологии, элементов теории шкал измерений в сочетании с традиционными понятиями, относящимися к геодезическим измерениям. Актуальность темы обусловлена тем, что в соответствии с Конституцией Российской Федерации (ст. 71, п. р) и Федеральным законом [1] осуществление геодезической и картографической деятельности входит в сферу государственной системы обеспечения единства измерений (ГСИ).

В Законе РФ № 209-ФЗ от 26.12.1995 г. «О геодезии и картографии» не было положений о необходимой связи геодезических измерений с ГСИ. Новая редакция этого закона от 7 ноября 2011 года № 303-ФЗ устанавливает, что обеспечение единства измерений при геодезической и картографической деятельности осуществляется в соответствии с законодательством РФ об обеспечении единства измерений и о техническом регулировании. Тем не менее, традиционные понятия и термины, используемые в геодезических измерениях, напрямую не связаны с современной понятийно-терминологической базой ГСИ.

В октябре 2011 г. на XXIV Генеральной конференции мер и весов (ГКМВ) принята Резолюция 9 [2], в которой рекомендуется Международную земную систему координат ITRS, определенную Международным союзом геодезии и геофизики IUGG и реализованную Международной службой вращения Земли и систем координат IERS [3], принимать как единственную международную систему координат для земных систем отсчета (координатных основ) во всех метрологических приложениях. Этой резолюцией по существу открывается новый этап в международном сотрудничестве в области метрологии, который требует изменения и дополнения ряда основных положений законодательной метрологии. Обновление метрологической парадигмы [4] стало безотлагательным, так как КВИ выходят за рамки общепринятой концепции измерения величин.

Общие положения и основные термины. Существующая понятийно-терминологическая база для метрологического описания КВИ сформирована в ряде публикаций и нормативных документов [5–11]. В КВИ рассматривают трехмерное пространство, время и происходящие в них процессы, характеризующиеся рядом качественных (неразмерных) измеряемых свойств и измеряемых величин [6, 7]. Комбинированное измеряемое свойство – это, в частности, вектор состояния потребителя (в модельном многомерном пространстве), элементами которого являются пространственные координаты (система отсчета), составляющие вектора скорости и поправка часов потребителя глобальной навигационной спутниковой системы (ГНСС).

К пространственно-временным качественным (неразмерным) свойствам относятся: местоположение (в выбранной системе координат); направление и ориентация объекта в пространстве; взаимоположение точек, поверхностей, линий, фигур; форма линий, поверхностей, объемных фигур (например, земных эллипсоида и геоида). Для измерения качественных свойств по соглашению устанавливаются шкалы измерений – способы отображения измерительной информации. В силу многомерности пространственных свойств, шкалы измерений также являются многомерными. Принято такие шкалы измерения называть системами координат. Например, небесная система координат – это шкала измерений направлений в пространстве; земная – шкала местоположения относительно Земли; геодезические системы координат – шкалы местоположения на поверхности Земли.

Обычно размеры выражают скалярными (одномерными) математическими величинами. Векторы или тензоры, компоненты которых являются измеряемыми величинами, также названы измеряемыми величинами. Одномерными измеряемыми величинами в КВИ приняты: расстояние, длина, отрезки длины на пространственных координатных осях; плоские углы; интервалы времени; время (моменты событий). Шкалы измерений расстояний, плоских углов и интервалов времени опираются на стандартизованные единицы измерений. Определения различных шкал измерений текущего времени содержат кроме единицы измерения интервалов времени еще условные нули отсчета, принятые по соглашению, и регламентированные поправки. Шкалой с условным нулем является, например, шкала высот в геодезии, за нулевое значение которой в РФ принята отметка на Балтийском футштоке. Направление в пространстве не является вектором, так как не имеет модуля. Значения модулей векторов скорости и ускорения инвариантны относительно выбираемых пространственных координат, а направления этих векторов неинвариантны. Смысл координат местоположения и компонентов векторов принципиально отличается, так как из координат местоположения невозможно образовать инвариантный модуль.

Измеряемыми векторами являются скорость и ускорение движения объекта в заданной системе координат, ускорение свободного падения (градиент гравитационного потенциала). Шкалы измерений векторов опираются на трехмерные пространственные шкалы – системы координат для описания измеренного направления вектора в пространстве, а размеры модулей векторов выражаются в соответствующих единицах измерений, допущенных к применению в РФ [12].

Местоположение (позиция), взаиморасположение, направление движения и ориентация объектов в пространстве можно описать только комплексом определений, реализующих метод координат, т.е. способом определения положения точки (объекта – навигационной аппаратуры потребителя) при помощи совокупности чисел или других символов – координат, присущих выбранной системе. Координаты – это величины, но местоположения конкретных точек, обозначенных в пространстве координатами, не относятся к величинам, так как их невозможно сопоставить по обязательному для последних признаку – одномерному упорядочению по размеру (больше или меньше). Поэтому координаты точки в пространстве представляют собой обозначение проявления (значения) качественного измеряемого свойства – местоположения. Для измерения этих свойств должны быть установлены (стандартизованы) спецификации соответствующих конкретных пространственных многомерных шкал измерений – систем координат.

В соответствии с системой метрологических понятий [8, 13] определения конкретных систем координат интерпретируются как спецификации соответствующих координатных шкал измерений, реализации этих спецификаций (координатные основы) – как эталоны координатных шкал измерений; реперы, опорные пункты (квазары, геодезические знаки, контрольно корректирующие станции) – как материальные меры направления и местоположения объектов в пространстве; линейные базисы – как меры расстояния между объектами. Своеобразную многомерную пространственно-временную шкалу образует система параметров вращения Земли – совокупность пяти угловых параметров, характеризующих взаимную ориентацию земной и небесной систем координат.

Результатом измерения местоположения (позиционирования пространственного объекта) является совокупность измеренных значений координат, прослеживаемых к опорным значениям одноименных величин, используемых в качестве основы для сравнения со значением величины того же рода. Опорным значением величины [13, ст. 5.18] может быть истинное значение измеряемой величины [13, ст. 2.11] – в таком случае оно неизвестно, или приписанное (стандартизованное) значение величины [13, ст. 2.12] – в таком случае оно известно. По смыслу обобщенное понятие «приписанное (стандартизованное) значение

величины» охватывает понятие «действительное значение величины» – значение величины, полученное экспериментальным путем и настолько близкое к истинному значению, что в поставленной измерительной задаче может быть использовано вместо него.

По отношению к качественным свойствам необходимо применять термин «опорное значение качественного свойства». Например, опорным значением местоположения является значение координат, приписанных геодезическому пункту в заданной системе координат [14].

Термин «Принятая опорная шкала» [13] практически необходимо применять не только к измеряемым величинам, но и к качественным свойствам. Принятыми опорными шкалами измерений одномерных величин являются стандартизованные шкалы времени: национальная шкала атомного времени ТА, национальная шкала координированного времени UTC(SU), григорианский календарь и др. Опорной шкалой, в частности, является системная шкала времени ГНСС, предназначенная для временной привязки основных процессов во всех ее подсистемах.

Погрешность (результата) измерения определяется, как отклонение результата измерения от истинного значения измеряемой величины или качественного свойства. Практическая оценка погрешности осуществляется заменой истинного значения на опорное (действительное) значение. В двух- и более мерных шкалах погрешность характеризуется отклонением точки шкалы, соответствующей результату измерения, от точки шкалы, соответствующей истинному значению в соответствующем модельном пространстве.

Погрешность измерения (величины) [13, ст. 2.16] – разность между измеренным и опорным значениями величины.

Погрешность измерения известна, если имеется единственное опорное значение величины (например, при калибровке по эталону), которое имеет пренебрежимо малую неопределенность, или если задано принятое значение величины.

Погрешность измерения неизвестна, если предполагается, что измеряемая величина представлена единственным истинным значением или совокупностью истинных значений в пренебрежимо малом диапазоне.

Истинное значение величины определить невозможно. Это понятие применяют только в теоретических исследованиях. На практике используют опорное значение величины X_o, а погрешность измерения Δ находят по формуле $\Delta = X_{изм} - X_o$, где $X_{изм}$ – значение величины, полученное путем измерения (результат измерения); X_o – значение, приписываемое конкретной величине и принимаемое, часто по соглашению, как имеющее неопределенность, приемлемую для данной цели. В ГНСС используют, например, понятие «погрешность передачи Всемирного координированного времени государственного эталона времени и частоты Российской

Федерации» – разность моментов времени, получаемых из решения задачи местоопределения потребителя и Всемирного координированного времени государственного эталона времени и частоты.

Таким образом, по определению понятие «погрешность измерения» относится только к конкретному результату измерения, полученному с использованием конкретного экземпляра средства измерений (СИ). Погрешность измерения величины является конкретным положительным или отрицательным числом. Это неизвестное или оцениваемое число получается в результате сложения в эксперименте со своими положительными или отрицательными знаками систематической погрешности и реализованной случайной погрешности. Нет оснований придавать погрешности измерения смысл статистического параметра какого-либо множества реальных или предполагаемых значений.

В КВИ при нормировании погрешностей результатов измерений местоположения необходимо указывать, к какой шкале относятся результаты измерений и что принимается за опорное значение измеряемой величины или измеряемого качественного свойства – местоположения потребителя. Можно говорить о разностях измеренных и истинных координат положения потребителя. Такую погрешность нельзя выразить одним числом (их три).

В соответствии с системой понятий, изложенных в [10, 11], «погрешность навигационного определения» есть пространственный вектор, характеризующий отклонение измеренного с использованием ГНСС местоположения потребителя от его истинного местоположения в заданной системе координат.

В РФ принято следующее определение [1, ст. 2, п. 18]: *прослеживаемость* – свойство эталона единицы величины или СИ, заключающееся в документально подтвержденном установлении их связи с государственным первичным эталоном соответствующей единицы величины путем сличения эталонов единиц величин, поверки, калибровки СИ. *Метрологическая прослеживаемость* [13] – свойство результата измерения, в соответствии с которым его можно соотнести с основой для сравнения через документированную непрерывную цепь калибровок, каждая из которых влияет на неопределенность измерений. Базой для сравнения может быть определение единицы измерения через ее практическую реализацию или методика измерений**,** включающая единицу измерения для величин**,** отличных от порядковых**,** или эталон**.** Метрологическая прослеживаемость требует наличия установленной калибровочной иерархии. Для измерений с более чем одной входной величиной в модели измерений каждое из значений входных величин должно само быть метрологически прослеживаемо, а калибровочная иерархия может иметь форму разветвленной структуры или сети.

Цепь метрологической прослеживаемости — последовательность эталонов и калибровок, которые используются для соотнесения результата измерения с основой для сравнения. Цепь метрологической прослеживаемости определяется через *калибровочную иерархию* и используется для установления *метрологической прослеживаемости* результата измерения.

Метрологическая прослеживаемость к единице измерений — прослеживаемость, где основой для сравнения является определение единицы измерений через ее практическую реализацию. Выражение «прослеживаемость к SI» означает «метрологическую прослеживаемость к единице измерений Международной системы единиц».

Спецификации координатно-временных шкал измерений. Международная небесная опорная система координат ICRS – шкала измерений направлений в пространстве, определенная в виде полярной (сферической) системы координат, ориентация которой в пространстве установлена согласованной совокупностью угловых координат удаленных (точечных) источников радиоизлучения космических объектов (квазаров и др. по ICRF). Спецификация этой пространственной шкалы измерений направлений определена в документе [3], содержащем каталог угловых координат квазаров (и других источников радиоизлучения) и порядок их уточнения.

Международная земная опорная система координат ITRS – шкала измерений местоположений (позиций), определенная в виде трехмерной прямоугольной (декартовой) системы координат с началом в центре масс Земли (включая атмосферу и океаны) и основной плоскостью, перпендикулярной к геоцентрическому направлению на условное международное начало, с координатами среднего полюса Земли на эпоху 1984.0. При этом считается, что ITRS не совершает глобального вращения относительно земной поверхности. Спецификация ITRS представлена в документе Международной службы вращения Земли (IERS) «IERS Conventions 2003», содержащем ссылку на каталог координат совокупности опорных международных станций на Земле (ITRF) и порядок их текущего уточнения.

Система параметров вращения Земли – шкала измерений совокупности пяти угловых параметров, характеризующих взаимную ориентацию земной и небесной систем координат. Два угла определяют нутационные движения оси вращения Земли, два угла определяют положение мгновенного полюса (оси вращения в теле Земли), пятый параметр – всемирное время, которому соответствует угол поворота Земли вокруг своей оси в данный момент времени.

Глобальная геоцентрическая координатная система отсчета РФ – государственная шкала измерений местоположений (позиций)

относительно Земли, определенная в виде геоцентрической прямоугольной координатной системы отсчета, связанной с земной поверхностью набором геодезических пунктов.

Постановлением Правительства РФ [15] введена общеземная геоцентрическая система координат РФ «Параметры Земли 1990 года» для использования в целях геодезического обеспечения орбитальных полетов и решения навигационных задач.

Геодезическая координатная система отсчета РФ (СК-95) – государственная шкала измерений местоположений (позиций) на поверхности Земли, определенная в виде референтной геоцентрической координатной системы отсчета на эллипсоиде Красовского. Местоположение на этой шкале обозначается тремя координатами: долготой и геодезической широтой (в угловых единицах), превышением (в метрах) относительно Балтийского футштока.

Местные системы координат – шкалы измерений местоположений (позиций) на Земле, определенные в виде условных систем координат, которые устанавливаются на ограниченной территории, не превышающей территорию субъекта РФ; начало отсчета координат и ориентирование их осей смещены по отношению к СК-95. Следует отметить особые шкалы измерений местоположений (позиций) на Земле, определенные в виде топографических карт различных масштабов, переведенных на цифровые носители, и используемых в качестве картографических основ геоинформационных систем. На основе топографических карт создаются мелкомасштабные и менее информативные карты–схемы, используемые в навигационной аппаратуре, на которых отметками отражаются результаты измерения местоположения потребителя.

Шкала измерений длины в системах координат – шкала измерений расстояний между точками в пространстве, выражаемых в установленных единицах измерений [12]. Длина является количественной характеристикой протяженности прямых и кривых отрезков линий (в том числе на осях координат) в пространстве. В РФ принята единица длины метр, допущены также к применению астрономическая единица, световой год, используемые в астрономии, морская миля, фут, применяемые в морской и авиационной навигации. Шкала измерений плоского угла в системах координат – шкала измерений величины, количественно характеризующей различие направлений в пространстве. В РФ принята единица плоского угла радиан, также допущены к применению градус, минута, секунда, метрический градус, равный 1/400 части полного угла (используется в геодезии).

Шкалы измерения времени – шкалы всемирного времени (UT1 и UT2), международная шкала координированного времени (UTC) и национальная шкала координированного времени (UTC(SU)) определены

в [16]. За единицу измерения времени принята секунда, допущены к применению минута, час, сутки.

Эталоны координатно-временных шкал измерений. Международный исходный (опорный) эталон шкалы направлений в пространстве фактически представляется совокупностью пространственных реперов – направлений на квазары и другие удаленные космические объекты – источники радиоизлучения, которые определены в ICRF совместно с приписанными угловыми координатами. Этот естественный эталон является реализацией спецификации международной небесной опорной системы координат (ICRS).

Международный исходный (опорный) эталон шкал местоположений (позиций) относительно Земли по [2] фактически является совокупностью пространственных реперов (мер) местоположения на Земле – опорных станций (Международной земной отсчетной основы), установленных в ITRF с приписанными декартовыми координатами.

Методика, реализующая систему определения параметров вращения Земли с совместным использованием результатов измерений по шкалам ICRS и ITRS, по существу служит международной первичной референтной методикой измерений [13] параметров вращения Земли. Значения параметров вращения Земли, полученные по [13], являются исходными (опорными) для сравнения. Реализацию данной методики в одном государстве нужно интерпретировать как национальную первичную референтную методику измерений параметров вращения Земли.

Национальный исходный (опорный) эталон шкал местоположений (позиций) на Земле и околоземном пространстве относительно Земли – совокупность пространственных реперов (мер) местоположения на Земле – государственных реперов (геодезических пунктов) с установленными значениями координат в принятой шкале измерений. Согласно [1] такой эталон может быть реализован в качестве государственного первичного эталона шкал местоположений (позиций) на Земле относительно Земли в Главном метрологическом центре (Государственном научном метрологическом институте) Государственной службы времени, частоты и определения параметров вращения Земли (ГСВЧ). Национальный опорный эталон геодезической координатной системы отсчета – эталон шкалы местоположения (позиции) на земной поверхности, которым фактически является совокупность пространственных реперов местоположения на земной поверхности: опорных пунктов государственной геодезической сети (ГГС), пунктов фундаментальной астрономо-геодезической сети (ФАГС).

Рабочие эталоны местоположения (эталонные меры местоположения) – опорные пункты ГГС (за исключением пунктов ФАГС), базовые станции, корректирующие станции и др., используемые для передачи СИ

шкал измерений местоположения. Совокупность значений координат местоположения рабочего эталона фактически используется в качестве опорного значения местоположения в методиках (методах) измерений и методиках поверки (калибровки) СИ. Рабочими эталонами местоположения, применяемыми для калибровки навигационной аппаратуры с отображением результатов измерения местоположения на картах–схемах, служат реальные топографические объекты в зоне отображения. Фактически в качестве рабочих эталонов используются опорные наземные передающие станции радионавигационных систем.

Непрерывно работающий государственный первичный эталон единиц интервалов времени, частоты и национальной шкалы времени ГЭТ 1-2012 воспроизводит и хранит в РФ шкалу TA(SU). Шкалы всемирного времени UT, UT1, UT2, UTC и UTC(SU) хранятся этим эталоном с использованием официальной информации ГСВЧ о параметрах вращения Земли.

Государственный первичный специальный эталон единицы длины ГЭТ 199-2012 предназначен для воспроизведения размера метра в области измерения больших длин в соответствии с определением метра и использованием ГЭТ 1-2012. Эталонные базисы являются эталонными мерами длины, выполненными в виде опорных пунктов на Земле, расстояние между которыми точно известно. В качестве таких опорных пунктов могут использоваться опорные пункты геодезической сети.

Способы выражения точности эталонов и результатов КВИ. Общие способы выражения погрешностей эталонов единиц одномерных величин установлены в [17]. Способы выражения погрешностей государственных первичных эталонов единиц одномерных величин, как правило, характеризуются: средним квадратическим отклонением (СКО), обусловленным влиянием случайных погрешностей; границами неисключенных систематических погрешностей (НСП); нестабильностью эталона во времени. Способы выражения погрешностей первичных эталонов для обеспечения прослеживаемости координатных СИ рекомендуется характеризовать показателями точности, аналогичными указанным в [17], но приспособленными для воспроизведения и передачи многомерных пространственных шкал измерений.

В соответствии с [11] погрешностью измерения местоположения точки является пространственный вектор, характеризующий отклонение измеренного значения от опорного значения местоположения этой точки в соответствующей системе координат. Пределами погрешностей измерений местоположения является замкнутая ограничительная поверхность вокруг точки пространства, соответствующая ее опорному значению в выбранной системе координат. Неопределенность измерений местоположения точки характеризуется замкнутым пространством, охватывающим

возможную область рассеяния результатов измерений местоположения, в которой предположительно находится эта точка в указанной системе координат. Прослеживаемость координатных эталонов и рабочих СИ рекомендуется обеспечивать калибровкой (поверкой) в соответствии с «цепью метрологической прослеживаемости».

Показатели точности эталонов местоположения необходимо представлять совместно со сведениями о соответствующей системе координат и методе измерений (прямой, дифференциальный, фазовый с использованием ГНСС, геодезических построений и т.д.). В общем случае погрешностью эталона является пространственный вектор, характеризующий отклонение воспроизводимого эталоном значения (x, y, z) от опорного (истинного, действительного) значения местоположения (x_0, y_0, z_0) в соответствующей системе координат; в качестве опорных значений следует использовать значения, определенные при помощи более точных (по поверочной схеме) эталонов.

Государственный первичный эталон шкал местоположений на Земле рекомендуется характеризовать СКО при n независимых наблюдениях; НСП; нестабильностью ν хранения местоположения (изменением значения местоположения, хранимого эталоном, в установленный промежуток времени). Перечисленные величины оцениваются в единицах длины.

Оценку СКО S_R воспроизведения значения местоположения первичным эталоном находят на основании экспериментальных данных, полученных при исследовании эталона, путем расчета и нормирования (установления границы) СКО модулей R_i векторов случайной погрешности. Оценку НСП получают по результатам метрологических исследований эталона, анализа погрешностей метода воспроизведения и погрешностей от действия влияющих величин, а также на основании международных сличений эталона с эталонами других стран. При этом рассчитывают и нормируют (устанавливают) границы модуля вектора НСП. При этом необходимо учитывать исходную дефинициальную неопределенность [13] установления воспроизводимой земной системы координат. Оценку нестабильности ν хранения местоположения первичным эталоном, вызванную старением его конструктивных элементов и пр., находят путем исследования изменений во времени воспроизводимых эталоном значений местоположения, а также по данным международных сличений. Нестабильность ν характеризуют модулем вектора изменения местоположения.

Каждая мера (репер) местоположения, входящая в состав эталона, характеризуется СКО, НСП и ν. За опорное значение местоположения (x_0, y_0, z_0) меры (репера) можно принять значение, полученное в результате

международных сличений с международным эталоном земной системы координат ITRF.

Модуль R_i случайной погрешности для i-го наблюдения вычисляют по формуле

$$R_i = \sqrt{(x_i - \overline{x})^2 + (y_i - \overline{y})^2 + (z_i - \overline{z})^2},$$

где x_i, y_i, z_i – координаты местоположения меры, $\overline{x}, \overline{y}, \overline{z}$ – средние арифметические значения координат.

Оценка СКО для одного наблюдения (измерения) $S_{R_i} = \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}(R_i - \overline{R})^2}$, где $\overline{R} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} R_i$; для среднего арифметического ряда наблюдений $S_{\overline{R}} = S_{R_i} / \sqrt{n}$.

Оценки погрешностей вторичных эталонов шкал местоположений рекомендуется характеризовать отклонениями воспроизводимых или хранимых ими значений местоположений от опорных значений для этих же местоположений, определенных при помощи первичного эталона. Суммарное СКО воспроизведения вторичным эталоном шкалы местоположений должно включать в себя случайные погрешности и нестабильности сравниваемых эталонов, НСП первичного эталона и погрешность метода передачи шкалы измерений местоположения от первичного эталона. Суммарную погрешность вторичного эталона можно выразить в виде доверительной границы модулей суммарных погрешностей с доверительной вероятностью 0,99. Допускается указывать отдельно СКО, НСП и ν, также как и для первичного эталона. Нестабильность вторичного эталона находят на основании результатов сравнений с первичным эталоном в начале и конце периода, для которого она определяется.

Способы выражения погрешностей рабочих эталонов и рабочих СИ местоположений аналогичны показателям точности, приведенным в [18, 19], но с учетом специфики координатных измерений.

Эталонные меры местоположения (рабочие эталоны) рекомендуется характеризовать установленным (приписанным) значением местоположения (x_n, y_n, z_n) с указанием системы координат (общей или локальной) и пределом Δ_R модуля вектора допускаемой погрешности воспроизведения местоположения.

В составной системе координат показателями точности эталона местоположения могут быть пределы горизонтальной $\Delta_Г$ и вертикальной $\Delta_В$ допускаемых погрешностей. При этом $\Delta_Г$ определяется как граница модулей $R_Г$ векторов погрешностей местоположения в горизонтальной

плоскости системы координат, например, $R_{\Gamma} = \sqrt{\Delta_{Ш}^2 + \Delta_{Д}^2}$, где $\Delta_{Ш}$, $\Delta_{Д}$ – погрешности по широте и долготе, м; $\Delta_{В}$ – погрешность местоположения по вертикали в шкале высот, м.

Нормируемые пределы погрешностей мер местоположения, применяемых в различных системах координат и методах измерений, рекомендуется устанавливать конкретно для всех вариантов использования, так как эти пределы могут значительно отличаться. Так, при применении дифференциального метода измерений с использованием приемной аппаратуры ГНСС в региональной (локальной) системе координат Δ_{Γ} следует устанавливать без систематических составляющих погрешностей воспроизведения мерой (репером) местоположения в государственной системе координат.

Эталонные приборы измерения местоположения рекомендуется характеризовать пределом Δ_R модуля вектора допускаемой погрешности измерения местоположения с указанием применяемых системы координат и метода измерения. Нормируемые пределы погрешностей эталонного прибора целесообразно устанавливать конкретно для всех вариантов использования. Для выражения точности результатов измерения (определения) параметров по референтным методикам измерений предлагается использовать неопределенность, при чем для ее оценки по типу А применять алгоритм, аналогичный представленному для оценки СКО.

Литература

1. Закон РФ № 102-ФЗ от 26.06.2008 г. «Об обеспечении единства измерений».
2. On the adoption of a common terrestrial reference system: Resolution 9 on XXIV meeting of the General Conf. on Weights and Measures, 2011.
3. Соглашения Международной службы вращения Земли и систем координат, МСВЗ, 2003. Техн. запись МСВЗ. № 32; Conventions International Earth Rotation and Reference Systems Service, IERS. 2003. Technical Note IERS. № 32.
4. Брянский Л.Н., Дойников А.С., Крупин Б.Н. Необходимость обновления метрологической парадигмы // Измерительная техника. 1998. № 8. С. 15–20; Bryanskii L.N., Doinikov A.S., Krupin B.N. Need to update the metrological paradigm//Measurement techniques. 1998. V. 41. № 8. P. 706–715.
5. Брянский Л.Н., Дойников А.С., Крупин Б.Н. Особенности представления результатов измерений в шкалах разного типа//Законодательная и прикладная метрология. 1996. № 6. С. 30–32.

6. Дойников А.С. Измеряемые свойства // Измерительная техника. 2002. № 11. С. 50–56; Doinikov A.S. Measurable Properties // Measurement techniques. 2002. V. 45. № 11. P. 1183–1191.
7. Брянский Л.Н., Дойников А.С., Крупин Б.Н. Метрология. Шкалы, эталоны, практика. М: Изд-во ВНИИФТРИ, 2004.
8. РМГ 83-2007. ГСИ. Шкалы измерений. Термины и определения. (См. также Рекомендацию КООМЕТ R/GM/20:2009 [офиц.сайт] www.coomet.org./ RU/doc/r 20-2009).
9. ГОСТ Р 8.699-2010. ГСИ. Величины, единицы, шкалы измерений, используемые в глобальной навигационной спутниковой системе.
10. Р 50.2.079-2011. ГСИ. Координатно-временные измерения. Термины и определения.
11. ГОСТ Р 8.739-2011. ГСИ. Эталоны для координатно-временных измерений. Основные положения. Способы выражения погрешностей.
12. Постановление Правительства РФ № 879 от 31.10.2009 г. «Об утверждении Положения о единицах величин, допускаемых к применению в Российской Федерации».
13. Международный словарь по метрологии: Основные и общие понятия и соответствующие термины; International vocabulary of metrology: Basic and general concepts and associated terms (VIM). JCGM 200:2008 (E/F).
14. ГОСТ Р 5.3606-2009. ГНСС. Методы и технологии выполнения геодезических и землеустроительных работ. Метрологическое обеспечение. Основные положения.
15. Постановление Правительства РФ № 1463 от 28.12.2012 «О единых государственных системах координат».
16. ГОСТ 8.567-99. ГСИ. Измерения времени и частоты. Термины и определения.
17. ГОСТ 8.381-2009. ГСИ. Эталоны. Способы выражения точности.
18. ГОСТ 8.401-80. ГСИ. Классы точности измерений. Общие требования.
19. ГОСТ 8.009-84. ГСИ. Нормируемые метрологические характеристики средств измерений.

Измерительная техника, 2013, № 9, с. 8–14

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Взаимное признание национальных эталонов и сертификатов калибровки и измерений, выдаваемых национальными метрологическими институтами (НМИ)

(Mutual recognition of national measurement standards and of calibration and measurement certificates issued by national metrology institutes – CIPM MRA)

Важные вопросы

Документ, Договоренность (Соглашение) о взаимном признании, составлен Международным комитетом по мерам и весам (МКМВ) при полномочиях, данных ему Метрической конвенцией, для подписания директорами НМИ государств-членов Конвенции.

Цели:

• установить степень эквивалентности национальных измерительных эталонов, поддерживаемых НМИ;

• обеспечить взаимное признание сертификатов калибровки и измерений, выдаваемых НМИ;

• тем самым обеспечить правительства и другие органы надежной технической базой для более широких договоренностей в отношении международной торговли, коммерческой деятельности и делах, связанных с составлением нормативной документации.

Процесс:

• международные сличения измерений, называемые ключевыми сличениями;

• дополнительные международные сличения измерений;

• системы качества и демонстрирование компетентности НМИ.

Результаты:

• заявления о калибровочных и измерительных возможностях каждого НМИ, вводимые в базу данных, поддерживаемую в МБМВ и общедоступную через сеть Интернет.

Обязательство:

Директора НМИ, которые подписывают Соглашение о взаимном признании (MRA) с одобрения соответствующих властей в своей собственной стране и тем самым:

• принимают процесс, указанный в MRA, для создания базы данных;

• признают результаты ключевых сличений и дополнительных сличений, как указано в базе данных;

• признают калибровочные и измерительные возможности других участвующих НМИ, как об этом указано в базе данных.

Исключения:

• подписание MRA обязывает НМИ, но не обязательно какой-либо иной орган в своей стране;

• ответственность за результаты калибровок и измерений полностью ложится на НМИ, который их выполняет, но не распространяется, через MRA, на любые иные участвующие НМИ.

Организационная структура:

• вся координация осуществляется МБМВ с полномочиями от МКМВ, который сам имеет полномочия от государств-членов Метрической конвенции;

• Консультативные комитеты МКМВ, Региональные метрологические организации и МБМВ несут ответственность за ключевые и дополнительные сличения;

• Объединенный комитет региональных метрологических организаций и МБМВ несут ответственность за анализ и введение данных в базу данных по калибровочным и измерительным возможностям, декларируемых НМИ.

Взаимное признание национальных эталонов и сертификатов калибровки и измерений, выдаваемых национальными метрологическими институтами

Париж, 14 октября 1999

Преамбула

Национальные органы аккредитации и регулирования нуждаются в многосторонних соглашениях или договоренностях для определения условий, при которых они могут принять сертификаты калибровки, измерений и испытаний, выдаваемые аккредитованными лабораториями в других странах. Эти соглашения или договоренности основываются на точности национальных эталонов и достоверности сертификатов калибровки и измерений, выдаваемых национальными метрологическими институтами (НМИ).

Настоящая Договоренность обеспечивает взаимное признание национальных эталонов и сертификатов калибровки и измерений, выдаваемых национальными метрологическими институтами, и опирается на усилия каждого национального метрологического института проводить свои измерения и оценивать неопределенности результатов измерений в единицах СИ (SI).

Для обоснования объективности критериев взаимного признания Договоренность устанавливает необходимость следующих факторов:

a) результатов ряда ключевых сличений, проводимых по четко установленным методикам, которые ведут к количественной мере степени эквивалентности национальных эталонов;

b) использования каждым НМИ соответствующей системы обеспечения качества;

c) успешного участия каждого НМИ в соответствующих дополнительных сличениях.

В совокупности все три процедуры демонстрируют участвующим институтам степень, до которой каждый из них может иметь доверие к результатам, сообщенным другими, и таким образом содействовать продвижению доверия между ними.

Для целей данной Договоренности степень эквивалентности эталонов означает ту степень, с которой эти эталоны согласуются с опорными значениями, определяемыми в ходе ключевых сличений, и, следовательно, согласуются друг с другом. Каждое опорное значение рассматривается как «опорное значение, полученное при ключевом сличении», и в большинстве случаев его можно рассматривать как близкую, но не обязательно лучшую аппроксимацию значения единицы в СИ. Степень эквивалентности национальных эталонов выражается количественно в значениях отклонения от опорного значения, полученного при ключевом сличении, и неопределенности этого отклонения.

Договоренность состоит из двух частей: в соответствии с первой частью подписывающие стороны признают степень эквивалентности национальных эталонов, участвующих НМИ, а в соответствии со второй частью подписывающие стороны признают обоснованность сертификатов калибровки и измерений, выдаваемых участвующими институтами.

Этот документ практически является технической договоренностью между директорами национальных метрологических институтов государств-членов Метрической Конвенции, а не дипломатическим договором. Он составлен МКМВ в соответствии с Метрической Конвенцией и не является ни расширением Конвенции, ни заменой какой-либо статьи Конвенции. Директора, которые должным образом решают подписать Договоренность, делают это с одобрения соответствующих правительственных или других официальных органов своей страны. Ожидается, что участие в этой Договоренности откроет путь и обеспечит техническую основу для более широких соглашений, связанных с торговлей, коммерцией, и проблемами урегулирования, подписываемых компетентными уполномоченными в каждой стране или регионе.

Участие в Договоренности через Региональную метрологическую организацию также открыто для НМИ государств и экономик, являющихся Ассоциированными членами ГКМВ.

1. Договоренность

1.1. Эта Договоренность между национальными метрологическими институтами, которая устанавливает условия взаимного признания национальных эталонов и признания обоснованности сертификатов калибровки и измерений, выдаваемых национальными метрологическими институтами. Она составлена МКМВ на основании полномочий, данных ему статьей 10 (1921) Регламента в Приложении к Метрической Конвенции.

1.2. Эта Договоренность состоит из 2-х частей, как указано в п. 2: первая часть касается национальных эталонов, вторая часть – сертификатов калибровки и измерений.

1.3. Участвующие национальные метрологические институты – стороны, подписывающие эту Договоренность, могут сделать выбор: ограничить свое участие только первой частью – признанием национальных эталонов.

1.4. Стороной, подписывающей эту Договоренность, является национальный метрологический институт, назначенный соответствующим национальным правительственным или другим официальным органом государства - члена Метрической Конвенции ответственным за национальные эталоны. В случае, когда таких назначенных институтов в стране существует более одного, то только один институт может подписывать эту Договоренность, но делает это от имени и по поручению других, названия которых должны быть указаны в документе.

1.5. Назначенные НМИ государств или экономик, являющиеся Ассоциированными членами ГКМВ, могут участвовать в Договоренности только через их Региональные метрологические организации путем подписания декларации, прилагаемой к данной Договоренности.

1.6. Межправительственные и международные организации, выбранные МКМВ, могут также принимать участие в Договоренности.

2. Сфера действия Договоренности

2.1. Участвующие национальные метрологические институты, указанные в Приложении А, признают степень эквивалентности национальных эталонов, полученную по результатам ключевых сличений, для величин и значений, установленных в Приложении В. Это составляет первую часть Договоренности.

2.2. Участвующие институты признают обоснованность сертификатов калибровки и измерений, выдаваемых другими участвующими институтами для величин и диапазонов, установленных в Приложении С. Это составляет вторую часть Договоренности.

3. Техническая основа Договоренности

3.1. Технической основой этой Договоренности является ряд результатов, полученных в ходе ключевых сличений, проводимых Консультативными комитетами МКМВ, МБМВ и региональными метрологическими организациями (РМО), опубликованных МБМВ и поддерживаемых в базе данных ключевых сличений. Подробные технические положения даны в Техническом Дополнении к настоящей Договоренности.

3.2. Ключевые сличения, проводимые Консультативными комитетами или МБМВ, называются ключевыми сличениями МКМВ, а ключевые сличения, проводимые региональными метрологическими организациями, называются ключевыми сличениями РМО. Ключевые сличения РМО должны быть связаны с соответствующими ключевыми сличениями МКМВ посредством общих участников. Степень эквивалентности, полученная из ключевых сличений РМО, имеет тот же статус, что и полученная из ключевых сличений МКМВ.

3.3. Объединенный Комитет Региональных метрологических организаций и МБМВ (JCRB), созданный МКМВ, отвечает за координацию данных, представляемых РМО, и другие действия, предпринимаемые ими, для поддержания доверия к сертификатам калибровки и измерений (п. 9.3).

4. Ответственность Консультативных комитетов МКМВ

Консультативные комитеты несут ответственность за выбор ключевых сличений, приведенных в Приложении D, и за утверждение обоснованности результатов. Конкретные обязанности Консультативных комитетов подробно описаны в Техническом Дополнении.

5. Ответственность Региональных метрологических организаций

Национальные метрологические институты, подписывающие эту Договоренность, обеспечивают участие соответствующих структур в рамках своих Региональных метрологических организаций с тем, чтобы они могли:

a) готовить предложения для Консультативных комитетов по выбору ключевых сличений;

b) проводить ключевые сличения РМО, описанные в Техническом Дополнении, соответствующие ключевым сличениям МКМВ;

c) участвовать в Объединенном Комитете Региональных метрологических организаций и МБМВ (п. 9.3 и п. 9.4);

d) проводить дополнительные сличения и другие действия, предназначенные для поддержания взаимного доверия к обоснованности сертификатов калибровки и измерений, выдаваемых участвующими институтами (п. 7.3).

6. Участие в ключевых и дополнительных сличениях

6.1. Участие в ключевых сличениях МКМВ открыто для лабораторий, которые обладают наивысшей технической компетентностью и опытом, обычно являющихся членами соответствующих Консультативных комитетов. Лаборатории, не являющиеся ни членами Консультативных комитетов, ни НМИ, должны предлагаться назначенным национальным метрологическим институтом, упомянутым в п. 1.4, ответственным за соответствующие национальные эталоны. При выборе участников сличений Консультативные комитеты должны учитывать должное региональное представительство. Число лабораторий, участвующих в ключевых сличениях МКМВ, может быть ограничено по техническим причинам.

6.2. Участие в ключевых сличениях РМО открыто для всех членов РМО и для других институтов, выполняющих правила региональной организации (включая институты, приглашенные из вне региона), обладающих технической компетенцией применительно к конкретному сличению.

6.3. Участие в дополнительных сличениях РМО открыто для той же категории институтов, какая приведена в п. 6.2.

7. Доверие к измерениям

7.1. Доверие к измерениям является важной предпосылкой в международной торговле и облегчает почти каждое затруднение в индустриальном мире. В большой степени это доверие уже существует и основывается на системе SI, которая является краеугольным камнем международной системы измерений, как она реализована национальными метрологическими институтами. Назначение этой Договоренности о взаимном признании состоит в расширении и укреплении уже существующего всемирного доверия к измерениям.

7.2. От институтов, участвующих в этой Договоренности, ожидается расширение существующего международного доверия к их деятельности путем опубликования и передачи в МБМВ регулярных отчетов о работе их лабораторий и передачи их в МБМВ, участия в соответствующих конференциях, участия в деятельности, организуемой МБМВ.

7.3. Кроме участия в ключевых и дополнительных сличениях, указанных в п. 6, признание сертификатов калибровки и измерений требует одной из следующих процедур для установления необходимого взаимного доверия:

a) НМИ, выбирающий для своих калибровочных и измерительных служб систему качества, соответствующую требованиям Руководства ИСО 25 или эквивалентного для НМИ документа, аттестованный органом по аккредитации, соблюдающим требования Руководства ИСО 58, заявляет свои калибровочные и измерительные возможности (п. Т.7) и направляет их своей РМО для анализа и передачи их Объединенному Комитету для последующего рассмотрения и включения в Приложение С;

b) НМИ, выбирающий использование другого пути обеспечения качества или выбирающий другую систему качества, или Руководство ИСО 25 без оценки третьей стороной, для своих калибровочных и измерительных служб, заявляет свои калибровочные и измерительные возможности (п. Т.7) и направляет их своей РМО для анализа и передачи их Объединенному Комитету для последующего рассмотрения и включения в Приложение С. Демонстрация компетентности и возможностей может потребовать визитов и проверочных процедур НМИ и/или экспертов, назначенных соответствующей РМО.

7.4. Ничто в этой Договоренности не ограничивает свободу одной или более подписывающих сторон установления взаимного признания, как указано в п. 2.1 и п. 2.2, вне рамок этой Договоренности.

8. Споры в процессе работы по этой Договоренности

Работы по настоящей Договоренности проводятся под эгидой МБМВ в постоянном общении с Консультативными комитетами и Региональными метрологическими организациями, в ответственность которых входят в соответствии с п. 4 и п. 5, изложенными выше, проведение и оценка результатов ключевых сличений. Расхождения, которые могут возникнуть в процессе работы по данной Договоренности, обсуждаются сначала в рамках соответствующего Консультативного комитета, РМО или Объединенного Комитета, и, если они не получают там решения, то рассматриваются МКМВ.

9. Координация

9.1. Вся координация деятельности, относящейся к этой Договоренности, остается за МКМВ.

9.2. Координация ключевых сличений осуществляется через консультации между Консультативными комитетами и Региональными метрологическими организациями.

9.3. Координация дополнительных сличений и других действий, относящихся к доверию к сертификатам калибровки и измерений, проводимых Региональными метрологическими организациями, осуществляется Объединенным Комитетом, созданным МКМВ и

включающим в себя представителей Региональных метрологических организаций и руководимый Директором МБМВ. Круг полномочий Объединенного Комитета дан в Приложении Е.

9.4. При ответственности МКМВ за всю деятельность Объединенный Комитет несет ответственность за анализ и поддержание содержания Приложения С.

10. Обязательства и ответственность за измерения

10.1. Признано и принято каждой подписавшейся стороной, что эта Договоренность не создает каких-либо прав, ответственности или обязательств, которые могут оказывать ограничительные воздействия на выполнение национального или международного закона.

10.2. Признано и принято каждой подписавшейся стороной, что эта Договоренность налагает обязательства в каждой стране только на подписавший ее институт и другие представленные им институты. Это положение не является обязательным для других метрологических или регулирующих органов в этой стране.

10.3. Ответственность за все измерения, выполненные в рамках этой Договоренности, целиком и полностью лежит на институте, проводящем измерения. МКМВ, МБМВ, Консультативные комитеты или Региональные метрологические организации не несут никакой ответственности за декларированные неопределенности или заявления по качеству.

11. Подписание данной Договоренности о взаимном признании и введение ее в силу

11.1. Процедура по введению настоящей Договоренности проводится следующим образом:

• на встрече директоров национальных метрологических институтов 23–25 февраля 1998 г. директора были приглашены парафировать проект этой Договоренности;

• на встрече директоров национальных метрологических институтов, которая состоится во время 21-й ГКМВ в октябре 1999 г., директора будут приглашены для подписания этой Договоренности на начальный период в 4 года.

Новые подписанты могут присоединиться к данной Договоренности в любое время, подав заявку Директору МБМВ.

11.2. Для выхода из этой Договоренности Директор института-подписанта должен уведомить директора МБМВ за шесть месяцев до даты вступления в силу решения о выходе. Директор МБМВ уведомит все подписавшиеся стороны об этом заявлении о выходе не позднее одного месяца после его получения.

11.3. Будет существовать переходный период действия этой Договоренности с октября 1999 г. до того времени, когда будет завершен первый круг ключевых и дополнительных сличений и будут введены в действие системы качества, указанные в п. 7.3. Временные степени эквивалентности (Приложение В) будут основываться на результатах сличений, проведенных с 1988 г., рассмотренных и одобренных Консультативным комитетом для каждой области и введенных в базу ключевых сличений, упомянутую в п. 3.1.

Временные калибровочные и измерительные возможности (Приложение С) будут основываться на соответствующих данных, рассмотренных РМО и проанализированных Объединенным Комитетом, учитывающих процедуры, указанные в п. 7.3, и включенных в базу данных ключевых сличений.

11.4. Изменения к этой Договоренности после начального периода в 4 года могут быть внесены подписантами с одобрения соответствующих правительственных или других официальных органов их стран на заседаниях директоров национальных метрологических институтов, организованных МКМВ.

12. Статус национальных эталонов, калиброванных в МБМВ или в национальном метрологическом институте

Ничто в этой Договоренности не ограничивает прав, вытекающих из Метрической Конвенции для участвующих национальных метрологических институтов, калибровать свои национальные эталоны по эталонам МБМВ или другого национального метрологического института. Взаимное признание таких эталонов зависит от последующего участия в ключевых и дополнительных сличениях (п. 3 и п. 6).

13. НМИ, не являющиеся членами РМО

НМИ, желающие участвовать в этой Договоренности, но не являющиеся членами РМО, должны либо образовать новую РМО, либо для целей данной Договоренности ассоциировать себя с существующей РМО, наиболее соответствующей. Если ни один из предложенных подходов не является приемлемым, то следует искать специальные условия.

14. НМИ, являющиеся членами более чем одной РМО

НМИ, являющиеся членами более чем одной РМО, должны продекларировать, с какой РМО они участвуют во второй части этой Договоренности.

15. Вхождение новых РМО в Объединенный Комитет

Вхождение новой РМО в Объединенный Комитет РМО и МБМВ осуществляется с одобрения МКМВ.

Техническое Дополнение к Договоренности

На 92-м заседании МКМВ в октябре 2003 года были утверждены предложения Объединенного комитета региональных метрологических организаций и МБМВ (JCRB), касающиеся изменений в Техническом дополнении CIPM MRA. Изменения относятся к параграфу Т.7, в котором указывается, что, вопросы по неразрешимым противоречиям, возникающим при проведении дополнительных сличений, будут даны в Приложении С, и к параграфу Т.10, в котором разъясняется, что проведение дополнительных сличений осуществляется только РМО (*в соответствии с данным изменением внесено изменение в определение «дополнительное сличение» в Словаре (глоссарии)*). Ниже следует текст с внесенными изменениями.

Техническую основу настоящей Договоренности составляет набор результатов, полученных при выполнении ключевых сличений, проводимых Консультативными комитетами МКМВ, МБМВ и региональными метрологическими организациями (п. 3.1). Ниже перечислены установленные договоренности и ответственности, касающиеся ключевых сличений.

Т.1. Полученные результаты ключевых сличений, проводимых МКМВ, становятся опорными значениями, известные как опорные значения ключевого сличения.

Т.2. Применяемый для целей настоящей Договоренности термин «степень эквивалентности эталонов» означает ту степень, с которой эти эталоны согласуются с опорным значением, определяемым в ходе ключевого сличения. Степень эквивалентности каждого национального эталона выражается количественно двумя терминами – через значение его отклонения от опорного значения, полученного при ключевом сличении и через неопределенность этого отклонения (при 95 % уровне достоверности). Степень эквивалентности между парами национальных эталонов выражается через разницу их отклонений от опорного значения и неопределенность этой разницы (при 95 % уровне достоверности).

Т.3. Хотя опорное значение, полученное при ключевом сличении, является обычно близкой аппроксимацией значения соответствующей единицы SI, вполне возможно, что некоторые из значений, полученных от отдельных участников, могут быть еще более близким представлением. В отдельных случаях, например, в некоторых химических измерениях, возможны затруднения с привязкой результатов к единицам SI. Тем не менее, опорное значение, полученное при ключевом сличении, и отклонения от него являются хорошими индикаторами значения единицы SI. По этой причине эти значения используются для выражения степени эквивалентности между эталонами участвующих лабораторий. В

отдельных случаях, как исключение, Консультативный комитет может выдать заключение, что по техническим причинам опорное значение для конкретного ключевого сличения не приемлемо; тогда результаты выражаются напрямую терминами степеней эквивалентности между парами эталонов.

Т.4. Результаты ключевых сличений РМО связываются с опорными значениями ключевых сличений, установленных ключевыми сличениями МКМВ, путем общего участия нескольких институтов в сличениях как МКМВ, так и РМО. Передаваемая неопределенность результатов сличений зависит как от числа институтов, принимающих участие в обоих сличениях, так и от качества результатов, сообщенных этими институтами.

Т.5. Результаты ключевых сличений МКМВ и РМО, опорные значения ключевых сличений, отклонения от опорных значений и их неопределенности вместе с другой информацией, необходимой для их толкования, публикуются МБМВ и включены в базу данных ключевых сличений.

Т.6. Ключевые сличения МКМВ и РМО должны выполняться в соответствии с описаниями в Руководстве для МКМВ по ключевым сличениям, опубликованном МБМВ и представленном на веб-странице МБМВ.

Т.7. Для сертификатов калибровки и измерений величины, диапазоны и условия калибровки и измерений, выраженные через неопределенность (обычно при 95 % уровне достоверности, но для некоторых случаев уровень может быть установлен более высоким), перечислены в Приложении С для каждого участвующего института. Они должны согласовываться с результатами, имеющимися в Приложении В, полученными при проведении ключевых сличений. Если в результате какого-либо ключевого сличения для определенного участвующего института сохраняется существенное неразрешимое отклонение от опорного значения ключевого сличения, то существование этого отклонения указывается в Приложении С. То же самое относится и к существенным несоответствиям, полученным в результате дополнительного сличения. В этом случае по своему усмотрению институт может или не проводить одну или несколько соответствующих калибровочных или измерительных услуг из Приложения С, или взять большие соответствующие неопределенности, имеющиеся в Приложении С. Включение в Приложение С условий калибровки и измерения исследовано Объединенным комитетом в соответствии с процедурами, указанными выше в п. 7.3. Условия проведения калибровки и измерений, указанные в данном параграфе, это те, которые обычно институт предоставляет потребителям, оказывая услуги по калибровке и измерениям; иногда их относят к лучшим условиям измерений.

Т.8. Ответственность Консультативных комитетов: Консультативные комитеты играют главную роль в выборе и осуществлении ключевых

сличений и утверждении обоснованности результатов. К их специфическим особенностям обязанностей относится следующее:

a) идентификация ключевых сличений в каждой области и поддержание текущего перечня (Приложение D);

b) инициирование и организация в сотрудничестве с МБМВ выполнения ключевых сличений с периодичностью, которая должна определяться отдельно для каждого сличения;

c) анализ результатов ключевых сличений МКМВ и установление опорных значений и степеней эквивалентности на основании предложений, поступивших от соответствующих рабочих групп;

d) утверждение окончательного отчета по ключевым сличениям МКМВ для публикации МБМВ;

e) рассмотрение и одобрение результатов ключевых сличений РМО и дополнительных сличений для включения их в Приложение B и базу данных ключевых сличений;

f) рассмотрение и одобрение результатов двухсторонних ключевых сличений для включения в Приложение B и базу данных ключевых сличений.

Т.9. Ключевые сличения РМО: ключевые сличения РМО расширяют метрологическую эквивалентность, установленную в результате проведения ключевых сличений МКМВ, на большее число национальных метрологических институтов, включая те, чьи государства и экономики являются Ассоциированными членами ГКМВ. Избыточность, когерентность и своевременность являются важными аспектами региональных сличений, поскольку они обеспечивают надежность всей системы сличений. Региональные организации поэтому несут исключительную ответственность за то, чтобы:

a) привязки к результатам ключевых сличений МКМВ обеспечивали разумную избыточность через участие достаточного числа лабораторий в обеих группах сличений, для того чтобы гарантировать, что связи с опорными значениями ключевых сличений установлены с приемлемо низкой неопределенностью;

b) методики, используемые в региональных сличениях, и оценка результатов и неопределенностей были совместимы с теми, которые используются в ключевых сличениях МКМВ;

c) периодичность проведения ключевых сличений координировалась с ключевыми сличениями МКМВ, и, частота их проведения была, по крайней мере, одинаковой;

d) результаты ключевых сличений РМО прошли тщательную оценку РМО, которая также несет ответственность за гарантию того, что использовались соответствующие методики, и результаты затем были направлены для публикации и представлены в соответствующий

Консультативный комитет для включения в Приложение B и введения в базу данных ключевых сличений;

e) результаты выполненных надлежащим образом двусторонних сличений были рассмотрены и затем представлены соответствующему Консультативному комитету для включения в Приложение B и введения в базу данных ключевых сличений;

f) в случае, если проведение ключевого сличения РМО состоялось раньше соответствующего ключевого сличения МКМВ, привязка к последующему опорному значению ключевого сличения была отложена до завершения обоих ключевых сличений.

Т.10. Дополнительные сличения: в дополнение к ключевым сличениям РМО могут проводить дополнительные сличения для удовлетворения специфических потребностей, которые не охвачены ключевыми сравнениями, включая сличения с целью поддержки доверия к сертификатам калибровки и измерений.

Объединенный комитет РМО и МБМВ (п. 9.3) организует форум по вопросам координации между регионами дополнительных сличений, проводимых РМО для поддержки доверия к сертификатам калибровки и измерений.

Приложения к Договоренности

Приложения A, B, C и D поддерживаются в электронном виде в базе данных ключевых сличений в МБМВ. Первые четыре года эта база данных (которая разрабатывалась в НИСТ) будет поддерживаться общими усилиями – МБМВ и НИСТ.

Приложение A. Перечень национальных метрологических институтов, подписавших Договоренность, и их логотипы.

Приложение B.

B1. Результаты ключевых сличений МКМВ.

B2. Результаты ключевых сличений РМО.

B3. Результаты дополнительных сличений.

Для каждого ключевого сличения указываются:

• индивидуальные значения для каждого института вместе с их заявленными неопределенностями;

• опорное значение ключевого сличения и связанная с ним неопределенность;

• для каждого института отклонение от опорного значения ключевого сличения и неопределенность этого отклонения (при 95 % уровне достоверности), т.е. его степень эквивалентности;

• степени эквивалентности между эталонами каждого из участвующих институтов.

Приложение С. Величины, для которых сертификат калибровки и сертификат измерений признаются институтами, участвующими в части 2 Договоренности. Для каждого участвующего института приведены величины, диапазоны и калибровочные и измерительные возможности, выраженные как неопределенность (обычно при 95 % уровне достоверности).

Приложение D. Перечень ключевых сличений.

Приложение Е. Круг полномочий Объединенного Комитета Региональных метрологических организаций и МБМВ (JCRB).

1. Объединенный Комитет несет ответственность за:

a) координацию взаимодействия РМО по установлению доверия для признания сертификатов калибровки и измерений в соответствии с условиями Договоренности о взаимном признании;

b) проведение политики по разработке предложений для РМО и МКМВ по выполнению Договоренности о взаимном признании;

c) анализ применения каждой РМО критериев Договоренности о взаимном признании;

d) анализ и включение в Приложение С предложений каждого РМО в части калибровочных и измерительных возможностей своих членов-НМИ и информирование МКМВ;

e) содействие соответствующим межрегиональным дополнительным сличениям;

f) подготовку ежегодного доклада о деятельности Объединенного Комитета для МКМВ и подписантов Договоренности о взаимном признании.

2. Представительство и заседания Объединенного Комитета:

a) Каждая РМО сообщает Директору МБМВ имя своего официального представителя в Объединенном Комитете;

b) На каждом заседании Объединенного Комитета официальные представители могут сопровождаться соответствующими советниками;

c) Объединенный Комитет работает на принципе консенсуса;

d) Объединенный Комитет должен заседать по крайней мере раз в год.

Глоссарий терминов, использованных в этой Договоренности

МБМВ: Международное Бюро мер и весов

ГКМВ: Генеральная Конференция по мерам и весам

МКМВ: Международный Комитет мер и весов

Калибровочные и измерительные возможности: наивысший уровень калибровки и измерений, обычно предлагаемых потребителям, выраженный через доверительный уровень в 95 %, иногда называемый как наилучшие измерительные возможности

Сертификат калибровки или измерений: сертификат, выданный национальным метрологическим институтом и относящийся к испытаниям, калибровке или измерениям прибора или к стандартному образцу (относящийся к физическим либо химическим измерениям)

Ключевое сличение МКМВ: ключевое сличение, проводимое Консультативным комитетом или МБМВ, приводящее к получению опорного значения ключевого сличения.

Степень эквивалентности эталона: степень, с которой значение единицы, воспроизводимое эталоном, согласуется с опорным значением ключевого сличения. Количественно она выражается как отклонение от опорного значения ключевого сличения и неопределенность этого отклонения. Степень неопределенности между двумя эталонами выражается как разница между их относительными отклонениями от значения ключевого сличения и неопределенность этой разницы.

Ключевое сличение: одно из ряда сличений, выбранное Консультативным комитетом для проверки принципиальных технических и методических подходов в данной области (следует заметить, что в ключевые сличения могут входить сличения реализаций кратных и дольных значений основных и производных единиц SI, а также сличения артефактов).

База данных ключевых сличений: база данных, поддерживаемая МБМВ, состоящая из Приложений A, B, C и D данной Договоренности о взаимном признании.

Опорное значение ключевого сличения: опорное значение, получающееся в результате ключевого сличения МКМВ, сопровождаемое значением его неопределенности.

Национальный метрологический институт: национальный метрологический институт, подписывающий данную Договоренность, является метрологическим институтом, уполномоченным соответствующим правительственным или другим официальным органом своей страны как несущий ответственность за национальные эталоны.

Ключевое сличение Региональной метрологической организации: ключевое сличение, выполняемое Региональной метрологической организацией.

Примечание: Только ключевые сличения, выполняемые Консультативным комитетом или МБМВ, дают опорное значение ключевого сличения. Для ключевого сличения, выполняемого Региональной метрологической организацией, связь с опорным значением ключевого

сличения получается путем привязки к результатам тех институтов, которые принимали участие в ключевом сличении МКМВ.

Дополнительные сличения: сличения, выполняемые Региональными метрологическими организациями с целью удовлетворения определенных потребностей, не охватываемых ключевыми сличениями, включая сличения для поддержания доверия к сертификатам калибровки и измерений.

От имени национальных метрологических институтов
(ВНИИМ, ВНИИФТРИ, ВНИИОФИ, ВНИИМС,
ВНИИР, УНИИМ, СНИИМ) Российской Федерации
документ подписал
Заместитель Председателя Госстандарта России
Крутиков В.Н.
14 октября 1999 года, Париж

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Дипломатический документ Метрической конвенции

КОНВЕНЦИЯ

Его Величество Император Германии, Его Величество Император Австро-Венгрии, Его Величество Король Бельгии, Его Величество Император Бразилии, Его Превосходительство Президент Аргентинской Конфедерации, Его Величество Король Дании, Его Величество Король Испании, Его Превосходительство Президент Соединенных Штатов Америки, Его Превосходительство Президент Французской Республики, Его Величество Король Италии, Его Превосходительство Президент Республики Перу, Его Величество Король Португалии и Алгарви, **Его Величество Император Всех Россий**, Его Величество Король Швеции и Норвегии, Его Превосходительство Президент Швейцарской Конфедерации, Его Величество Император Оттоманской Империи и Его Превосходительство Президент Республики Венесуэла, **желая обеспечить международную унификацию и усовершенствование Метрической системы, решили для этого заключить Конвенцию и назвали как своих полномочных представителей:**

Его Величество Император Германии – Принц Гогенлоэ-Шиллингсфюрст, кавалер Большого Креста Ордена Красного Орла Пруссии и Ордена Св. Губерта Баварии и т. д., его Чрезвычайный и Полномочный Посол в Париже;

Его Величество Император Австро-Венгрии – граф Аппони, его камергер и личный советник, кавалер Ордена Золотого Руна, Большого Креста Королевского Ордена Св. Стефана и Ордена Императора Леопольда и т.д., его Чрезвычайный и Полномочный Посол в Париже;

Его Величество Король Бельгии – барон Бейенс, Почетный кавалер его Ордена Леопольда, Ордена Почетного Легиона IV степени и т. д., его Чрезвычайный и Полномочный Министр в Париже;

Его Величество Император Бразилии – г-н Маркос Антонио д'Араужо, виконт Итажуба, Имперский Гранд, член Совета Его Величества, командор Ордена Христа, кавалер Ордена Почетного Легиона IV степени и т.д., его Чрезвычайный Посланник и Полномочный Министр в Париже;

Его Превосходительство Президент Аргентинской Конфедерации – г-н Балкарс, Чрезвычайный Посланник и Полномочный Министр Аргентинской Конфедерации в Париже;

Его Величество Король Дании – граф Мольтке-Гвитфельдт, Большой Крест Датского Рыцарского Ордена и Почетный Крест этого же Ордена, кавалер Ордена Почетного Легиона IV степени и т.д., его Чрезвычайный Посланник и Полномочный Министр в Париже;

Его Величество Король Испании – дон Мариано Роса де Тогорес, маркиз де Молинс, виконт де Росамора, Гранд Испании 1-го класса, кавалер знака Ордена Золотого Руна, Большой Крест Ордена Почетного Легиона и т.д., его Чрезвычайный Посланник и Полномочный Министр в Париже и генерал Ибаньес, Большой Крест Ордена Изабеллы Католической и т.д., Генеральный директор Института географии и статистики Испании, член Академии наук;

Его Превосходительство Президент Соединенных Штатов Америки – г-н Элиу Бенжамин Вошбурн, Чрезвычайный Посланник и Полномочный Министр Соединенных Штатов в Париже;

Его Превосходительство Президент Французской Республики – герцог Деказес, депутат Национальной Ассамблеи, командир Ордена Почетного Легиона и т. д., Министр Иностранных Дел, виконт де Мё, депутат Национальной Ассамблеи, Министр сельского хозяйства и торговли, г-н Дюма, бывший Министр, постоянный Секретарь Академии наук, кавалер Ордена Почетного Легиона I степени и т.д.;

Его Величество Король Италии – шевалье Константин Нигра, Кавалер Большого Креста его орденов Св. Маврикия и Св. Лазаря и Итальянской Короны, кавалер Ордена Почетного Легиона IV степени и т.д., его Чрезвычайный Посланник и Полномочный Министр в Париже;

Его Превосходительство Президент Республики Перу – г-н Педро Гальвез, Чрезвычайный Посланник и Полномочный Министр Перу в Париже и г-н Франсиско де Риверо, бывший Чрезвычайный Посланник и Полномочный Министр Перу;

Его Величество Король Португалии и Алгарви – г-н Хозе да Сильва Мендес Леал, пэр Королевства, Большой Крест Ордена Св. Жака, кавалер Ордена Башни-и-Шпаги Португалии и т.д., его Чрезвычайный Посланник и Полномочный Министр в Париже;

Его Величество Император Всех Россий – г-н Григорий Окунев, кавалер Орденов России Св. Анны 1-й степени, Св. Станислава 1-й степени, Св. Владимира 3-й степени, Командор Ордена Почетного Легиона и т.д., действительный Статский Советник, Советник посольства России в Париже;

Его Величество Король Швеции и Норвегии – барон Адельсворд, Большой Крест Орденов Полярной Звезды Швеции и Св. Улафа Норвегии, кавалер Ордена Почетного Легиона IV степени и т.д., его Чрезвычайный Посланник и Полномочный Министр в Париже;

Его Превосходительство Президент Швейцарской Конфедерации – г-н Жан Конрад Керн, Чрезвычайный Посланник и Полномочный Министр Швейцарской Конфедерации в Париже;

Его Величество Император Оттоманской Империи – г-н Хусни Бей, подполковник генерального Штаба, Орден Османской Империи 4-й степени. Орден Меджидов 5-й степени, знак Ордена Почетного Легиона и т.д.;

Его Превосходительство Президент Республика Венесуэла – г-н доктор Элисио Акоста,

которые после предъявления своих полномочий, содержащих в полной мере соответствующие права, согласились со следующими статьями:

Ст. 1 (1875 г.). Высокие Договаривающиеся Стороны обязуются основать и содержать на общие средства Международное Бюро Мер и Весов, постоянное научное учреждение, с местопребыванием в Париже.

Ст. 2 (1875 г.). Французское Правительство примет необходимые меры, чтобы облегчить приобретение или, в случае надобности, постройку специально предназначенного для этой цели здания, на условиях, определяемых приложенным к настоящей Конвенции Регламентом.

Ст. 3 (1875 г.). Международное Бюро будет действовать под исключительным руководством и наблюдением Международного Комитета Мер и Весов, который, в свою очередь, подчиняется Генеральной Конференции по Мерам и Весам, образуемой из представителей всех Договаривающихся правительств

Ст. 4 (1875 г.). Председательство на Генеральной Конференции по Мерам и Весам поручается действующему Президенту Парижской Академии Наук.

Ст. 5 (1875 г.). Организация Бюро, также состав и функции Международного Комитета и Генеральной конференции по Мерам и Весам, определяются прилагаемым к настоящей Конвенции Регламентом.

Ст. 6 (1875 г.). На Международное Бюро Мер и Весов возлагаются:

1. Все сличения и поверки новых прототипов метра и килограмма.
2. Хранение международных прототипов.
3. Периодические сличения национальных эталонов с международными прототипами и с их свидетелями, а также сличения эталонных термометров.
4. Сличения новых прототипов с основными эталонами метрических мер и весов, применяемых в разных странах и в науке.
5. Выверка и сличение геодезических жезлов.
6. Сличение эталонов и точных шкал, поверяемых по просьбе правительств, научных обществ или отдельных мастеров и ученых.

Ст. 7 (1921 г.). После того, как Комитет приступит к работе по согласованию мер, относящихся к электрическим единицам, а Генеральная Конференция вынесет по этому вопросу единогласное решение, на Бюро будет возложено установление и хранение эталонов электрических единиц и их свидетелей, а также сличение с этими эталонами национальных эталонов или других точных эталонов.

Кроме того, Бюро будут поручены определения, касающиеся физических констант, более точное знание которых может послужить к повышению точности и к лучшему обеспечению единообразия в тех областях, к которым относятся вышеупомянутые единицы (ст. 6 и 1-й абзац ст. 7).

Наконец, на Бюро возлагается работа по согласованию аналогичных определений, производимых в других институтах.

Ст. 8 (1921 г.). Международные прототипы и эталоны, а также их свидетели будут храниться в Бюро; доступ в хранилище предоставляется исключительно Международному Комитету.

Ст. 9 (1875 г.). Все расходы по организации и оборудованию Международного Бюро Мер и Весов, так же как и ежегодные расходы по содержанию и расходы Комитета, покрываются взносами Договаривающихся государств, устанавливаемых по шкале, основанной на современной численности их населения.

Ст. 10 (1875 г.). Суммы взносов каждого из Договаривающихся государств должны поступать в начале каждого года через посредство Министерства Иностранных Дел Франции в Депозитную кассу в Париже, откуда они будут изыматься по мере надобности по поручениям Директора Бюро.

Ст. 11 (1875 г.). Правительства, которые воспользуются принадлежащим каждому государству правом присоединиться к настоящей Конвенции, должны будут произвести взнос, размер которого будет определен Комитетом, на основаниях, установленных ст. 9, и который будет предназначен для усовершенствования научного оборудования Бюро. Любое государство может присоединиться к настоящей Конвенции, известив об этом Правительство Франции, которое уведомляет все государства – члены Конвенции и Президента Международного Комитета Мер и Весов.

Все новые присоединения к Конвенции 20 мая 1875 года влекут принятие обязательств настоящей Конвенции.

Ст. 12 (1875 г.). Высокие Договаривающиеся Стороны оставляют за собой право вносить с общего согласия в настоящую Конвенцию все изменения, польза которых будет признана на основании опыта.

Ст. 13 (1875 г.). По истечении двенадцатилетнего срока та или иная из высоких Договаривающихся Сторон может денонсировать настоящую Конвенцию.

Правительство, которое воспользуется правом прекратить действие Конвенции, в части его касающейся, обязано заявить о своем намерении за год вперед и тем самым это правительство отказывается от всех прав на совладение международными прототипами и Бюро.

Ст. 14 (1875 г.). Настоящая Конвенция будет ратифицирована согласно особым для каждого государства конституционным законам; обмен ратификациями произойдет в Париже в течение шестимесячного срока или, по возможности, раньше Конвенция вступит в силу с 1 января 1876 г.

Приложение

РЕГЛАМЕНТ

Ст. 1 (1875 г.). Международное Бюро Мер и Весов будет помещаться в специальном здании, обладающем всеми необходимыми гарантиями тишины и стабильности.

Кроме помещения, приспособленного для хранения прототипов, в этом здании будут иметься залы для установки компараторов и весов, лаборатория, библиотека, архив, рабочие кабинеты должностных лиц и квартиры для сторожей и служителей.

Ст. 2 (1875 г.). На Международный Комитет возложено приобретение и приспособление этого здания, а также организация работ, для которых оно предназначено.

В случае, если Комитету не удастся приобрести подходящее здание, таковое будет построено под его руководством и по его планам.

Ст. 3 (1875 г.). По ходатайству Международного Комитета Французское правительство примет необходимые меры для того, чтобы Бюро было признано общеполезным учреждением.

Ст. 4 (1875 г.). Международный Комитет закажет необходимые приборы, как то: компараторы для штриховых и концевых эталонов, прибор для определения абсолютного расширения, весы для взвешивания в воздухе и в вакууме, компараторы для геодезических жезлов и т.д.

Ст. 5 (1875 г.). Расходы по приобретению или по постройке здания и издержкам на установку (покупку) приборов и инструментов не должны превышать общей суммы 400000 франков.

Ст. 6 (1921 г.).

1. Ежегодная дотация Международного Бюро состоит из двух частей: постоянной и дополнительной.

2. Постоянная часть в принципе установлена в 250000 франков, но, по единогласному решению Комитета, она может быть доведена до 300000 франков[1]. Она вносится всеми государствами и автономными колониями, примкнувшими к Метрической Конвенции до Шестой Генеральной Конференции.

3. Дополнительная часть образуется из взносов государств и автономных колоний, вступивших в Конвенцию после упомянутой Генеральной Конференции.

4. Комитету поручается установить, по предложению Директора, годовой бюджет, не превышающий, однако, суммы, исчисленной согласно условиям двух предшествующих абзацев. Этот бюджет указывается ежегодно в специальном финансовом отчете для сведения Правительств высоких Договаривающихся Сторон.

5. В случае, если Комитет найдет нужным увеличить свыше 300000 франков постоянную часть ежегодной дотации или изменить расчет взносов, определяемых Ст. 20 настоящего Регламента, он должен уведомить об этом правительства для того, чтобы они могли своевременно дать необходимые указания своим делегатам на последующую Генеральную Конференцию, с тем чтобы на ней могли быть должным образом обсуждены эти вопросы. Решение будет иметь силу только в том случае, если ни одно из Договаривающихся государств не выразит заранее или на Конференции противного мнения[2].

6. Если какое-либо государство в течение трех лет не будет производить приходящихся на его долю взносов, то эта доля будет распределена между прочими государствами, пропорционально их собственным взносам. Дополнительные суммы, вносимые таким образом государствами для пополнения общей суммы дотации Бюро, рассматриваются как аванс, выдаваемый запаздывающему государству, и возмещается им, если это государство уплатит свои просроченные взносы.

---

[1] «Постоянная часть в принципе установлена в 125000 золотых франков, но может быть доведена до 150000 золотых франков по единогласному решению Комитета» (Седьмая Генеральная Конференция, 4-е заседание, вторник 4 октября 1927 г., стр. 62).

«а) цифра ежегодной дотации изменяется в основном (постоянная часть) со 140000 золотых франков на 175000 золотых франков;

б) применение этого указания откладывается до того времени, когда Япония и Германия возобновят их статутарные взносы». (Девятая Генеральная Конференция, 4-е заседание, вторник 19 октября 1948 г., стр. 59).

[2] По применению этой процедуры, после решения XIII ГКМВ (октябрь 1968 г.), ежегодные дотации утверждаются каждой Генеральной Конференцией.

7. Государства, за которыми имеется задолженность за три года, перестают пользоваться правами и преимуществами, предоставленными участием в Метрической Конвенции.

8. Через следующие три года государство-нарушитель исключается из Конвенции, расчет взносов восстанавливается соответственно правилам Ст. 20 настоящего Регламента.

Ст. 7 (1875 г.). Генеральная Конференция, упомянутая в Ст. 3 Конвенции, будет собираться в Париже по созыву Международного Комитета не реже одного раза в шесть лет.

Она имеет задачей обсуждать и предлагать мероприятия, необходимые для распространения и усовершенствования Метрической системы, а также утверждать новые основные метрологические определения, произведенные в период времени между ее съездами. Она принимает отчет Международного Комитета о выполненных работах и производит закрытой баллотировкой обновления наполовину Международного Комитета.

Голосование на Генеральной Конференции производится по государствам; каждое государство имеет право на один голос. Члены Международного Комитета заседают по праву в съездах Конференции; они могут, одновременно, быть делегатами своих правительств.

Ст. 8 (1921 г.). Международный Комитет, упомянутый в Ст. 3 Конвенции, состоит из восемнадцати членов, которые все принадлежат к разным государствам.

При обновлении наполовину Международного Комитета в первую очередь выбывают те члены, которые были избраны временно для замещения вакансий, в промежуток времени между двумя сессиями Конференции; остальные выбывают по жребию.

Выбывающие члены могут быть переизбраны.

Ст. 9 (1921 г.). Международный Комитет формируется, выбирая себе, путем закрытой баллотировки, своего Президента и Секретаря. Эти назначения сообщаются правительствам высоких Договаривающихся Сторон.

Президент и Секретарь Комитета, а также Директор Бюро должны принадлежать различным странам.

После своего образования Комитет может приступить к новым выборам или назначениям лишь через три месяца после того, как все члены будут извещены о вакансии, дающей повод к голосованию.

Ст. 10 (1921 г.). Международный Комитет руководит всеми метрологическими работами, которые высокие Договаривающиеся Стороны решат производить совместно.

Кроме того, на него возлагается наблюдение за хранением прототипов и международных эталонов.

Наконец, он может организовать совместную работу специалистов по вопросам метрологии и согласовывает результаты этих работ.

Ст. 11 (1921 г.). Комитет собирается не реже одного раза в два года.

Ст. 12 (1921 г.). Голосования в Комитете происходят по большинству голосов; в случае разделения голосов, голос Председателя является решающим. Решения имеют силу лишь в том случае, если число присутствующих членов равно, по крайней мере, половине избранных членов, составляющих Комитет.

Для соблюдения этого условия отсутствующие члены имеют право передавать право голоса присутствующим членам, которые должны будут представить доказательство этой передачи. То же относится и к назначениям закрытой баллотировкой. Директор Бюро имеет решающий голос в Комитете.

Ст. 13 (1875 г.). В промежутке времени между сессиями Комитет имеет право совещаться путем переписки.

В этом случае для того, чтобы решение было законным, надо, чтобы все члены Комитета были призваны высказать свое мнение.

Ст. 14 (1875 г.). Международный Комитет Мер и Весов замещает временно вакансии, могущие в нем образоваться; выборы происходят путем переписки, причем каждый из членов приглашается принять в них участие.

Ст. 15(1921 г.). Международный Комитет разработает подробный регламент относительно организации и работы Бюро и определит сборы, которые должны производиться для оплаты чрезвычайных работ, предусмотренных в Ст. 6 и 7 Конвенции.

Эти сборы пойдут на усовершенствование научного оборудования Бюро. Из общей суммы взимаемых Бюро сборов могут производиться ежегодные отчисления в пенсионную кассу.

Ст. 16 (1875 г.). Все сношения Международного Комитета с правительствами высоких Договаривающихся Сторон происходят через посредство их дипломатических представителей в Париже.

По всем делам, решение которых относится к ведению Французских властей, Комитет обращается в Министерство Иностранных Дел Франции.

Ст. 17 (1921 г.). Установленный Комитетом Регламент определяет численный состав каждой категории персонала Бюро.

Директор и его заместители назначаются Международным Комитетом путем закрытой баллотировки. Об их назначении доводится до сведения правительств высоких Договаривающихся Сторон.

Директор назначает прочих членов персонала в пределах, установленных Регламентом, упомянутым в первом абзаце настоящей статьи.

Ст. 18 (1921 г.). Директор Бюро имеет доступ в хранилище международных прототипов только в силу резолюции Комитета и в присутствии не менее одного из его членов.

Место хранения прототипов может быть открыто только посредством трех ключей, из которых один будет находиться у директора Архива Франции, второй – у Президента Комитета, а третий – у Директора Бюро.

Для обычных работ Бюро по сличениям будут служить только эталоны категории национальных прототипов.

Ст. 19 (1907 г.). На каждой сессии Директор Бюро представляет Комитету:

1. Финансовый отчет по операциям предыдущих лет, который после проверки принимается с выдачей сертификата.
2. Отчет о состоянии оборудования.
3. Общий отчет о работах, выполненных со времени предыдущей сессии.

Бюро Международного Комитета, в свою очередь, направляет всем правительствам высоких Договаривающихся Сторон, годовой отчет об административном и финансовом положении учреждения, содержащий смету расходов на следующий год, а также таблицу взносов Договаривающихся государств.

Председатель Комитета докладывает Генеральной Конференции о работах, выполненных со времени ее последнего съезда.

Отчеты и издания Комитета и Бюро составляются на французском языке и передаются правительствам высоких Договаривающихся Сторон.

Ст. 20 (1921 г.). Шкала взносов, о которой упомянуто в Ст. 9 Конвенции, устанавливается для постоянной части на основании дотации, указанной в Ст. 6 настоящего Регламента, и на основании численности населения; какова бы ни была цифра населения, нормальный взнос каждого государства не может быть меньше 0,5 % и больше 15 % общей дотации.

Для установления этой шкалы определяют сначала, какие государства находятся в условиях, требуемых для этого минимума и этого максимума, и остаток квоты взносов распределяют между прочими государствами прямо пропорционально численности их населения[1].

[1] XI, XVI и XIX ГКМВ приняли новые правила распределения, которые основаны на правилах, применяемых в ООН для вычисления максимального и минимального процента для взносов.

Вычисленные таким образом размеры взносов имеют силу на весь период времени между двумя последовательными Генеральными

Конференциями и могут быть изменены в промежутке только в следующих случаях:

а) если одно из участвующих государств три года подряд не производило своих взносов;

б) если, наоборот, в связи с внесением государством, не производившим платежей в течение более трех лет, его просроченных взносов, нужно возвратить прочим правительствам внесенные ими авансы.

Дополнительный взнос вычисляется на той же основе численности населения и подобно тому, как государство – член Конвенции платит при таких же условиях.

Если после присоединения к Конвенции государство заявляет, что оно хотело бы распространить полученную для себя пользу на одну или более из своих колоний, которые не являются автономными, численность населения указанных колоний должна быть добавлена к численности населения этого государства для расчета шкалы взносов.

Когда же колония, признаваемая автономной, желает присоединиться к Конвенции, это должно быть рассмотрено в отношении ее вхождения в Конвенцию и в зависимости от решения метрополии: или как зависимая от метрополии, или как Договаривающаяся Сторона.

Ст. 21 (1875 г.). Расходы по созданию международных прототипов и эталонов с соответствующими эталонами-свидетелями оплачиваются высокими Договаривающимися Сторонами в соответствии со шкалой, описанной в предыдущей статье.

Размеры оплат за сличение и поверку эталонов, взимаемых с государств, не являющихся участниками настоящей Конвенции, регулируются Комитетом в соответствии с расценками, установленными на основании Ст. 15 Регламента.

Ст. 22 (1875 г.). Этот Регламент имеет ту же силу и значение, что и Конвенция, к которой он прилагается.

Измерительная техника, 2000 г., № 5, с. 4–7

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

Совместная Декларация МБМВ, МОЗМ, ИЛАК и ИСО о метрологической прослеживаемости 9 ноября 2011 г.

Перевод с английского (оригинал на сайте http://www.bipm.org/utils/common/pdf/BIPM- OIML- ILAC-ISO joint declaration 2011.pdf)

1. Предыстория

Международное Бюро мер и весов (МБМВ), Международная организация законодательной метрологии (МОЗМ), Международная кооперация по аккредитации лабораторий (ИЛАК) и Международная организация по стандартизации (ИСО) являются признанными на мировом уровне организациями, отвечающими за метрологию, аккредитацию и стандартизацию во всем мире.

Признавая важность получения метрологически прослеживаемых результатов для выполнения основных функций наших Организаций, мы составили этот политический документ, которым мы призываем руководствоваться наших Членов, а также все остальные стороны, для которых важна прослеживаемость. Мы также призываем другие организации заявить о своей поддержке принципов и практических действий, воплощенных в данную Декларацию, во всех случаях, когда это возможно.

Данный документ основан на трехстороннем заявлении[1], выпущенным МБМВ, МОЗМ и ИЛАК 23 января 2006 г. о важности различных международных соглашений по метрологии для торговли, законотворчества и стандартизации.

2. Важность метрологической прослеживаемости

Мы утверждаем, что международное единство и сравнимость измерений необходимы для выполнения задач наших Организаций. В частности, сравнимость измерений является существенной характеристикой международной системы измерений, в рамках которой результаты измерений могут быть признаны всеми сторонами. Такое международное единство и сравнимость могут быть гарантированы только в том случае, если результаты измерений прослеживаются к признанным основам для сравнения (references). Как правило, такой основой для сравнения является Международная система единиц (СИ), но в тех случаях, когда такая прослеживаемость невозможна, результаты измерений должны прослеживаться к другим основам для сравнения, признанным на международном уровне (например, шкалы твёрдости и стандартные образцы, установленные Всемирной организацией здравоохранения).

Все четыре межправительственные и международные органа сотрудничают в Объединённом комитете по метрологическим руководствам (JCGM), который разрабатывает общие документы. Два документа (JCGM) имеют ключевое значение для данной Декларации: Неопределённости измерений – Часть 3 – Руководство по выражению неопределённостей измерений (GUM) – JCGM 100, OIML G 1-100 и ИСО Guide 98-3 – предлагает последовательный и единообразный подход к оценке неопределённости измерений во всевозможных метрологических ситуациях; и Международный словарь по метрологии – Основные и общие понятия и связанные с ними термины (VIM) – JCGM 200 V2, OIML V 2-200 и ИСО/МЭК Guide 99. В частности, словарь VIM определяет метрологическую прослеживаемость как:

«Свойство результата измерения, в соответствии с которым результат может быть соотнесён с основой для сравнения через документированную непрерывную цепь калибровок, каждая из которых вносит вклад в неопределенность измерений».

Таким образом, метрологическая прослеживаемость включает в себя понятия неопределённости измерений и калибровок по иерархической цепи вторичных эталонов.

Установление и применение этих понятий требует привлечения нескольких сторон:

• Международное Бюро мер и весов (МБМВ) отвечает за всемирное единство измерений, а Генеральная Конференция по мерам и весам имеет право утверждать определения СИ. МБМВ, под эгидой Международного Комитета мер и весов (МКМВ), публикует «Брошюру СИ», которая является важнейшим справочным документом по применению и правильному использованию единиц СИ.

• Национальные метрологические институты (NMI) отвечают за воспроизведение, поддержание, усовершенствование и передачу единиц СИ через прослеживаемые калибровки и измерения в пределах своих калибровочных и измерительных возможностей (CMC).

• Международный Комитет мер и весов (МКМВ), признавая необходимость в недвусмысленной демонстрации эквивалентности таких национальных воспроизведений, подтверждаемых калибровочными сертификатами, выдаваемыми NMI, подготовил текст Договорённости о взаимном признании (CIPM MRA). Эта Договорённость создает структуру, в рамках которой все участники подтверждают и признают CMC других участников. Эти CMC, прошедшие международную экспертизу, размещаются в Базе данных по ключевым сличениям МБМВ (KCDB). Для обеспечения технической основы для их помещения в БД участвующие NMI должны принимать участие в регулярных ключевых сличениях национальных эталонов и заявлять свои CMC,

подтвержденные процедурой международной экспертизы (peer-review), согласно CIPM MRA. Эта процедура включает утверждение проинспектированной системы качества (аккредитованной или самопровозглашенной), которая должна соответствовать стандартам, признанным на мировом уровне, как правило, ИСО/МЭК 17025 и ИСО Guide 34 для изготовления и сертификации стандартных образцов.

• Международная организация законодательной метрологии (OIML) – содействует всемирной гармонизации законодательств и методик в области метрологии и предоставляет своим членам руководства для национального законотворчества, в том числе касающиеся измерений в сфере торговли и регулирования, которые должны проводиться с опорой на эталоны, законодательно прослеживаемые к СИ [2]. Организация разработала всемирную техническую инфраструктуру, которая предоставляет своим членам метрологические руководства для разработки национальных требований, касающихся производства и использования законодательно регулируемых средств измерения. Эта инфраструктура обеспечивает законодательную прослеживаемость измерений, производимых в таких регулируемых областях деятельности как торговля, здравоохранение, мониторинг окружающей среды и т.д. МОЗМ также разработала Договоренность о взаимном признании (МАА), в рамках которой могут быть подписаны Декларации о взаимном доверии (DoMC), в которых подписанты заявляют о взаимном доверии к данным об оценке типа, подкрепляющим сертификаты соответствия рекомендациям МОЗМ. Участники инфраструктуры, выдающие сертификаты МОЗМ в рамках МАА должны иметь систему качества, оцененную либо органами аккредитации, либо международной экспертизой.

• Международная кооперация по аккредитации лабораторий (ILAC) – содействует взаимному признанию сертификатов об испытаниях и измерениях, выдаваемых лабораториями, аккредитованными национальными органами по аккредитации в соответствии со стандартами по технической компетенции, признанными на мировом уровне. Члены ILAC после прохождения международной экспертизы становятся подписантами Договоренности ILAC. Конечная цель этой Договоренности – расширение использования и признания промышленностью и правительствами результатов, полученных от аккредитованных лабораторий, включая результаты из лабораторий других стран. В таких стандартах как ИСО/МЭК 17025 во главу угла ставится метрологическая прослеживаемость результатов измерений к первичным реализациям СИ (которые часто называют «государственными эталонами»), а в других подобных стандартах, прослеживаемость должна осуществляться либо к СИ, либо к другим согласованным международным основам для сравнения, где прослеживаемость к СИ не возможна или пока не возможна.

• Международная организация по стандартизации (ИСО) – в качестве главного всемирного органа по стандартизации отвечает за публикацию стандартов и руководств, используемых для производства и испытаний различных изделий, а также за предоставление различных услуг. Во многих случаях калибровка и испытания составляют неотъемлемую часть требований стандартов и руководств. ИСО согласует свою терминологию с VIM и зачастую включает положения, связанные с измерениями, в свои стандарты. Поскольку ИСО отвечает совместно с Международной электротехнической комиссией (МЭК) за стандарт ИСО/МЭК 17025, она также поддерживает принцип прослеживаемости к СИ. Более того, ИСО принимает участие в разработке руководства GUM, которое устанавливает единый подход к оценке неопределенности измерений. Понятие неопределенности измерений может применяться при решении о признании соответствия конкретным требованиям (часто в виде установления допустимых пределов). Это понятие может применяться и в законодательной метрологии. ИСО работает в тесном сотрудничестве с Международной электротехнической комиссией (МЭК), отвечающей за стандарты в области электричества, и с Международным союзом телекоммуникаций (ITU), отвечающим за стандарты в области телекоммуникаций. ИСО, МЭК и ITU сотрудничают в рамках Всемирной кооперации по стандартам (WSC).

Таким образом, метрологическая прослеживаемость является одним из элементов установления международного доверия к всемирной эквивалентности измерений. В то же время вышеописанная структура позволяет законодателям, регулирующим органам, экспортерам и импортерам воспользоваться преимуществами международных взаимо-поддерживающих систем демонстрации эквивалентности измерений и тем самым значительно уменьшить технические барьеры в торговле (ТВТ), которые могут возникнуть из-за отсутствия эквивалентности.

МБМВ, МОЗМ, ILAC и ИСО поддерживают следующие рекомендации:

• для обеспечения признания на мировом уровне калибровки должны проводиться в

- *Национальных метрологических институтах (NMI), которые должны быть подписантами CIPM MRA*[2] *и иметь СМС, опубликованные в различных разделах KCDB,*
- *в лабораториях, аккредитованных аккредитационными органами, подписантами Договоренности ILAC*[3]

• оценка неопределенности измерений должна осуществляться в соответствии с принципами, изложенными в GUM;

• результаты измерений, проведенных в аккредитованных лабораториях должны прослеживаться к СИ[4];

• NMI, обеспечивающие прослеживаемость для аккредитованных лабораторий, должны, как правило, быть подписантами CIPM MRA и иметь СМС, опубликованные в соответствующих разделах KCDB[5];

• в рамках МАА МОЗМ аккредитация должна осуществляться органами, являющимися подписантами Договоренности ILAC и придерживаться вышеуказанной политики по прослеживаемости к СИ.

Этим принципам необходимо следовать во всех тех случаях, когда необходимо продемонстрировать метрологическую прослеживаемость в целях международного признания.

3. Применение настоящей Декларации

Указанные принципы поддерживают международную систему измерений, обеспечивающую существование надежной структуры, признанной на международном уровне, в рамках которой пользователи могут доверять действенности и приемлемости результатов измерений. МБМВ, МОЗМ, ILAC и ИСО настойчиво призывают законодательные и регулирующие органы обратить внимание на Договоренности, описанные в настоящей Декларации, а также принимать результаты, полученные в рамках этой системы, тем самым сокращая технические барьеры в торговле. Мы также призываем заинтересованные стороны поддержать эти принципы и использовать их в своей работе.

Подписи руководителей МБМВ, МОЗМ, ILAC и ИСО

---

[1] http://www.bipm.org/cc/CIPM/Allowed/95/BIPM_ILAC_OIML_300106.pdf

[2] http://www.bipm.org/en/cipm-mra/mra_online.html

[3] Список подписантов ILAC см.на сайте ILAC: www.ilac.org

[4] В случае, если это не возможно или пока не возможно, к другим основам для сравнения, признанным на международном уровне

[5] http://kcdb.bipm.org/

ПРИЛОЖЕНИЕ 5

Общие принципы использования понятий «погрешность измерения» и «неопределённость измерений» (РМГ 91-2019)

(здесь представлена содержательная часть документа)

Введение

В настоящих рекомендациях уточнен смысл основных понятий «погрешность измерения» и «неопределенность измерений» и производных от них терминов, даны рекомендации по логически непротиворечивому применению данных понятий в различных метрологических задачах.

Положения, изложенные в настоящих рекомендациях, предназначены для использования в законодательной и прикладной метрологии.

Содержание

1 Область применения 349

2 Нормативные ссылки 349

3 Исходные положения 350

4 Комментарии к основным терминам 350

5 О соотношении понятий «погрешность», «неопределенность» и «точность измерений» 357

6 Рекомендации по корректному применению понятий «погрешность измерения» и «неопределенность измерений» 360

Приложение А (справочное). Классификация понятий и терминов, связанных с ключевыми словами «погрешность» и «неопределенность» 364

Приложение Б (справочное). Пояснения к использованию понятия «неопределенность измерений» при поверке 371

Библиография 375

1 Область применения

Настоящие рекомендации содержат основные принципы применения понятий «погрешность измерения» и «неопределённость измерений» и производных от них понятий, рекомендуемые для использования при разработке нормативных документов по различным метрологическим задачам.

Положения, содержащиеся в настоящих рекомендациях, рекомендуется применять в документах всех видов, в научно-технической, учебной и справочной литературе по метрологии, входящих в сферу работ по стандартизации и (или) использующих результаты этих работ.

2 Нормативные ссылки

В настоящих рекомендациях использованы нормативные ссылки на следующие межгосударственные документы:

• ГОСТ 8.009. Государственная система обеспечения единства измерений. Нормируемые метрологические характеристики средств измерений;

• ГОСТ 8.010. Государственная система обеспечения единства измерений. Методики выполнения измерений. Основные положения;

• ГОСТ 8.061. Государственная система обеспечения единства измерений. Поверочные схемы. Содержание и построение;

• ГОСТ 8.381. Государственная система обеспечения единства измерений. Эталоны. Способы выражения точности;

• ГОСТ 8.401. Государственная система обеспечения единства измерений. Классы точности средств измерений. Общие требования;

• ГОСТ 34100.1/ISO/IEC Guide 98-1:2009 Неопределенность измерения. Часть 1. Введение в руководства по выражению неопределенности измерения;

• ГОСТ 34100.3/ISO/IEC Guide 98-3:2008. Неопределенность измерения. Часть 3. Руководство по выражению неопределенности измерения;

• РМГ 29-2013. Государственная система обеспечения единства измерений. Метрология. Основные термины и определения;

• РМГ 83 Государственная система обеспечения единства измерений. Шкалы измерений. Термины и определения.

3 Исходные положения

Существует принципиальное различие между понятиями «погрешность измерения» и «неопределенность измерений» (см. руководство [1]), но не исключена возможность достаточно правильного использования понятия «погрешность». При этом подразумевается, что конкретная погрешность всегда имеет определенный знак (положительный или отрицательный). По определению в отличие от понятия «погрешность» понятие «неопределенность» характеризует рассеяние значений, которые могли бы быть обоснованно приписаны измеряемой величине.

Некорректность применения понятия «погрешность» проявляется при его смешении с другими по смыслу понятиями, такими как «характеристики погрешности результата измерения», «доверительные границы погрешности». Значение погрешности конкретного результата измерения получают алгебраическим суммированием (со своими знаками) всех ее составляющих в рассматриваемом эксперименте с конкретным экземпляром средства измерений, а при оценке характеристик погрешности оперируют множеством возможных значений погрешностей (без учета их знаков) в виртуальных или реальных экспериментах с различными экземплярами средств измерений данного типа при допустимом варьировании условий измерений. Поэтому общепринятые оценки среднего квадратического отклонения, границ неисключенной систематической погрешности, доверительных границ погрешности измерения и других показателей точности не соответствуют исходному определению погрешности. Эти оценки фактически характеризуют не погрешность, а разброс значений, приписываемых измеряемой величине на основе используемой информации, т.е. неопределенность.

Понятия «погрешность измерения» и «неопределённость измерений» следует применять в соответствии с их определениями, не подменяя погрешность оценками параметров и составляющих рассеяния результатов измерений.

4 Комментарии к основным терминам

Термины, являющиеся наиболее важными для понимания основных принципов применения понятий «погрешность измерения» и «неопределенность измерений», с соответствующими им определениями приведены ниже. В комментариях даны необходимые пояснения, а также рассмотрены вопросы, связанные с отличиями в формулировках терминов или соответствующих им определений по РМГ 29 от терминов и определений по руководству [1] и словарю [2].

Вышеназванные отличия не влияют на смысл и содержание рекомендаций по использованию понятий «погрешность измерения» и «неопределенность измерений», приведенных в настоящих рекомендациях.

4.1 результат (измерения величины): Множество значений величины, приписываемых измеряемой величине вместе с любой другой доступной и существенной информацией.

Примечания

1 Определение понятия результата измерения претерпело существенное изменение по сравнению с определением РМГ 29-99 и вобрало в себя выражение точности измерения. Информация, приводимая в результате измерения, определяется особенностями конкретного измерения и соответствует требованиям, предъявляемым к этому измерению. В большинстве случаев информация относится к точности измерения и выражается показателями точности, в обоснованных случаях содержит указание методики измерений и др.

2 Результат измерения может быть представлен измеренным значением величины с указанием соответствующего показателя точности. К показателям точности относятся, например, среднее квадратическое отклонение, доверительные границы погрешности, стандартная неопределенность измерений, суммарная стандартная и расширенная неопределенности. VIM3 предусматривает также представление результата измерения плотностью распределения вероятностей на множестве возможных значений измеряемой величины.

3 Если значение показателя точности измерений можно считать пренебрежимо малым для заданной цели измерения, то результат измерения может выражаться как одно измеренное значение величины. Во многих областях это является обычным способом выражения результата измерения с указанием класса точности применяемого средства измерений.

[РМГ 29-2013, статья 5.1]

Комментарий – Определение результата измерения (см. статью 2.9 словаря [2]) соответствует определению (4.1), при этом в примечаниях к данному определению:

- допускается представление результата измерения плотностью распределения вероятностей на множестве возможных значений измеряемой величины;
- рекомендуется выражать результат измерения, как правило, «одним измеренным значением величины и неопределенностью

измерений», что отличается от положений статьи 5.1, примечания 2 РМГ 29-2013 в части использования в качестве показателей точности доверительных границ погрешности.

Термин «результат измерения» и термин «измеренное значение», используемые для определений понятий точности измерений и погрешности (результата измерения), не равнозначны.

4.2 измеренное значение (величины): Значение величины, которое представляет результат измерения.

[РМГ 29-2013, статья 5.2]

4.3 точность измерений; точность результата измерения: Близость измеренного значения к истинному значению измеряемой величины.

[РМГ 29-2013, статья 5.7]

Комментарий – В статье 2.13 словаря [2] термину (4.3) соответствуют термины «точность измерений», «точность».

Точность измерений не является величиной и ей не может быть присвоено числовое значение величины.

4.4 опорное значение (величины): Значение величины, которое используют в качестве основы для сопоставления со значениями величин того же рода.

[РМГ 29-2013, статья 5.3]

Комментарий – Опорное значение величины может быть истинным значением величины, подлежащей измерению, в этом случае оно неизвестно и применяется только в теоретических исследованиях, или принятым значением величины, в этом случае оно известно. Если неопределенность измерений, связанная с принятым значением, достаточно мала и может быть принята равной нулю для конкретной цели, то используют понятие «действительное значение величины».

4.5 погрешность (результата измерения): Разность между измеренным значением величины и опорным значением величины.

Примечания

1 Если опорное значение величины известно, как, например, при калибровке средств измерений, то известно и значение погрешности измерения. Если в качестве опорного значения выступает истинное значение величины, то значение погрешности неизвестно.

2 В РМГ 29–99 использовался термин «погрешность результата измерения»: отклонение результата измерения от истинного (действительного) значения измеряемой величины. Изменение термина вызвано изменением понятия «результат измерения».

3 Погрешность измерения равна сумме случайной и систематической погрешностей.

[РМГ 29-2013, статья 5.16]

Комментарий – Определению (4.5) соответствуют термины «погрешность измерения», «погрешность» (без слова «результата») (см. статью 2.16 словаря [2]). В РМГ 29 данные термины также использованы как краткие формы термина «погрешность (результата измерения)». В связи с этим в тексте настоящих рекомендаций в дальнейшем для понятия «погрешность», имеющего идентичные определения согласно РМГ 29–2013 (статья 5.16) и словарю [2] (статья 2.16), применены термины «погрешность результата измерения», «погрешность измерения» или «погрешность», являющиеся синонимами.

В соответствии с определением (4.5) погрешность измерения Δ рассчитывают по формуле

$$\Delta = X_{изм} - X_{о}, \quad (1)$$

где $X_{изм}$ – измеренное значение величины; $X_{о}$ – опорное значение.

Погрешность измерения не следует путать с производственной ошибкой или ошибкой, связанной с человеческим фактором (согласно статье 2.16 [2]).

Из анализа определений, примечаний и комментариев определений 4.1 и 4.5 очевидно, что понятие «погрешность», определяемое через термин «измеренное значение», и различные показатели точности, указываемые при представлении результата измерения наряду с измеренным значением, являются совершенно разными понятиями.

Понятие «погрешность измерения» относится только к конкретному результату измерения, полученному с использованием конкретного экземпляра средства измерений. Погрешность измерения – это положительное или отрицательное число, которое является результатом сложения в ходе эксперимента со своими положительными или отрицательными знаками систематической погрешности и реализованной случайной погрешности. Отсутствуют основания придавать погрешности смысл статистического параметра определенного множества реальных или предполагаемых значений, но можно оценить неопределенность измерений для такой «известной» погрешности, например, при калибровке (см. 6.1.4).

Если же погрешность неизвестна (опорное значение отсутствует), то могут быть оценены ее (доверительные) границы.

4.6 среднее квадратическое отклонение; стандартное отклонение: Параметр функции распределения измеренных значений или показаний, характеризующий их рассеивание и равный положительному корню квадратному из дисперсии этого распределения.

Примечания

1 Оценкой среднего квадратического отклонения является выборочное стандартное отклонение, определяемое по формуле

$$s(x) = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^{n}(x_k - \bar{x})^2}{n-1}},$$

где x_k – k-е измеренное значение или показание в ряду из n значений; $\bar{x}$ – среднее арифметическое из n измеренных значений или показаний.

2 $s(x)/\sqrt{n}$ является оценкой стандартного отклонения распределения $\bar{x}$ и называется выборочным стандартным отклонением среднего арифметического.

3 Выборочное стандартное отклонение иногда неправильно называют средняя квадратическая погрешность.

[РМГ 29-2013, статья 5.18]

4.7 доверительные границы (погрешности измерения): Верхняя и нижняя границы интервала, внутри которого с заданной вероятностью находится значение погрешности измерений.

Примечания

1 Доверительные границы при вероятности, равной 1, называют границами погрешности.

2 Доверительные границы погрешности иногда неправильно называют доверительная погрешность.

[РМГ 29-2013, статья 5.22]

Комментарий – Определение понятия «доверительные границы погрешности измерения» (ДГПИ) противоречиво. При отсутствии опорных значений измеряемых величин ДГПИ вопреки смыслу понятия «погрешность измерения», как правило, отсчитывают от измеренного значения. Кроме того, необходимо иметь в виду, что погрешность конкретного измерения по определению – это одно положительное или отрицательное число соответствующих единиц. Поэтому в определении (4.7) под границами погрешности измерений с заданной вероятностью фактически подразумеваются границы множества возможных значений погрешностей измерений, выполняемых по данной методике измерений. Таким образом, интервал внутри ДГПИ, отложенных от измеренного значения, по смыслу близок (но не эквивалентен) к понятию «интервал охвата» (см. 4.12).

4.8 неопределенность (измерений): Неотрицательный параметр, характеризующий рассеяние значений величины, приписываемых измеряемой величине на основании измерительной информации.

Примечание – Неопределенность измерений включает составляющие, обусловленные систематическими эффектами, в том числе составляющие, связанные с поправками и приписанными значениями эталонов, а также дефиниальную неопределенность. Иногда поправки на оцененные систематические эффекты не вводят, а вместо этого их рассматривают как составляющие неопределенности измерений.

[РМГ 29-2013, статья 5.34]

Комментарий – Приведено следующее определение для термина «неопределенность измерений»: неотрицательный параметр, характеризующий рассеяние значений величины, приписываемых измеряемой величине на основании используемой информации (см. статью 2.26 словаря [2]).

Параметром, характеризующим рассеяние значений величины, может быть, например, стандартное отклонение, называемое стандартной неопределенностью измерений (или кратное ему число) или половина ширины интервала с установленной вероятностью охвата.

В общем случае неопределенность измерений включает в себя много составляющих. Некоторые из этих составляющих могут быть оценены по типу А на основании статистического распределения значений величины из серий измерений и характеризоваться стандартными отклонениями. Другие составляющие, которые могут быть оценены по типу В, также могут характеризоваться стандартными отклонениями, оцениваемыми через функции плотности вероятностей на основании опыта или другой информации. В целом при данном объеме информации подразумевается, что неопределенность измерений связывают с определенным значением, приписываемым измеряемой величине. Изменение этого значения приводит к изменению связываемой с ним неопределенности (см. статью 2.26 словаря [2]). Для данного значения в РМГ 29 используется термин «измеренное значение», в руководстве [1] – термины «результат измерения» или «оценка значения измеряемой величины».

Неопределенность измерений является параметром, относящимся к результату измерения и характеризующим рассеяние значений, которые могли бы быть обоснованно приписаны измеряемой величине (см. 2.2.3 руководства [1]). Количественно «неопределенность измерений», как правило, принято характеризовать понятиями «стандартная неопределенность», «суммарная стандартная неопределенность» или «расширенная неопределенность».

4.9 стандартная неопределенность (измерений): Неопределенность измерений, выраженная в виде стандартного отклонения.

[РМГ 29-2013, статья 5.35]

4.10 суммарная стандартная неопределенность (измерений): Стандартная неопределенность измерений, которую получают суммированием отдельных стандартных неопределенностей измерений, связанных с входными величинами в модели измерений.

Примечание – В случае корреляции входных величин в модели измерений при вычислении суммарной стандартной неопределенности измерений должны также учитываться ковариации.

[РМГ 29-2013, статья 5.36]

Комментарий – Приведено следующее определение для термина «суммарная стандартная неопределенность измерений»: стандартная неопределенность измерений, которую получают исходя из индивидуальных стандартных неопределенностей измерений, связанных с входными величинами в модели измерений (см. статью 2.31 словаря [2]).

4.11 расширенная неопределенность (измерений): Произведение суммарной стандартной неопределенности и коэффициента охвата большего, чем число один.

Примечание – Коэффициент зависит от вида распределения вероятностей выходной величины в модели измерений и выбранной вероятности охвата.

[РМГ 29-2013, статья 5.37]

Комментарий – Из расширенной неопределенности измерений может быть получен интервал охвата.

4.12 интервал охвата: Интервал, основанный на имеющейся информации, который содержит совокупность истинных значений измеряемой величины с заданной вероятностью.

Примечания

1 Если результат измерения представлен плотностью распределения вероятностей на множестве возможных значений измеряемой величины, то для любого интервала значений может быть вычислена соответствующая вероятность. Наличие плотности распределения вероятностей позволяет для заданной вероятности определить интервал

значений измеряемой величины. Таких интервалов существует множество, обычно подразумевают наикратчайший интервал или интервал, симметричный относительно измеренного значения величины.

2 Интервал охвата не следует отождествлять с «доверительным интервалом» во избежание путаницы с этим статистическим понятием.

3 Интервал охвата может быть получен из расширенной неопределенности измерений.

[РМГ 29-2013, статья 5.38]

Комментарий – Центр интервала охвата может не совпадать с измеренным значением величины (см. статью 2.36 словаря [2]).

4.13 шкала (значений) величины; шкала измерений: Упорядоченная совокупность значений величины, служащая исходной основой для измерений данной величины.

Примечание – Международная температурная шкала, состоящая из ряда реперных точек, значения которых приняты по соглашению между странами Метрической конвенции и установлены на основании точных измерений, предназначена служить исходной основой для измерений температуры.

[РМГ 29-2013, статья 3.31]

5 О соотношении понятий «погрешность», «неопределенность» и «точность измерений»

5.1 Необходимо подчеркнуть, что термины «погрешность» и «неопределенность» представляют собой различные понятия; они не являются синонимами и их не следует путать друг с другом или неправильно использовать (см. пункты 3.2.2, 3.2.3 руководства [1]). Для правильного понимания данных понятий представляется важным установить: как именно они соотносятся с понятием «точность измерений», отражающим качество измерений в целом; каким образом они используются для характеристики точности измерений в различных метрологических ситуациях, которые в зависимости от наличия или отсутствия возможности определения погрешности могут быть условно разделены на две большие группы:

- погрешность известна (имеется опорное значение);
- погрешность неизвестна и не может быть определена (процедура измерений не предусматривает наличие опорного значения).

5.2 Погрешность известна

В общем случае можно говорить о наличии наряду с измеренным значением опорного значения и связанной с ним неопределенности измерений (например, неопределенности, обусловленной применяемым эталоном). Очевидно, что точность измерений, характеризующая близость измеренного значения к истинному значению измеряемой величины, будет зависеть от погрешности, т. е. разности между измеренным значением величины и опорным значением величины, и от неопределенности измерений, связанной с опорным значением.

В зависимости от соотношения между погрешностью и данной неопределенностью могут быть рассмотрены следующие ситуации.

5.2.1 Погрешность имеет существенное значение, а неопределенность измерений можно считать пренебрежимой для заданной цели измерения (результат измерения может быть выражен как одно измеренное значение величины (см. статью 2.9 словаря [2]), что во многих областях является обычным способом выражения результата измерения).

В этом случае принятое (опорное) значение величины может быть рассмотрено как оценка истинного значения величины, имеющая достаточно малую или равную нулю неопределенность измерений, а измеренное значение тем ближе к истинному значению измеряемой величины, чем меньше разность (без учета знака) между измеренным и принятым (опорным) значением величины. Таким образом, измерение является более точным, если оно имеет меньшую погрешность измерения (см. статью 2.13 словаря [2]).

5.2.2 Значение погрешности пренебрежимо мало для заданной цели измерения при наличии неопределенности измерений, например, после внесения в результат измерения поправки на известные систематические эффекты (см. 3.3.1 руководства [1]).

В данной ситуации можно полагать, что измеренное значение совпадает с опорным значением, а точность измерений будет зависеть от неопределенности измерений. Чем больше расширенная неопределенность измерений одной и той же величины при заданной вероятности охвата (например, вместо одного эталона используют другой, с большей инструментальной неопределенностью), тем больше соответствующий ей интервал охвата, откладываемый от опорного (в данном случае измеренного) значения, тем большая часть из совокупности «истинных значений измеряемой величины с заданной вероятностью» (см. 4.12) будет находиться «дальше» от измеренного значения, и с большей вероятностью можно утверждать, что измерение является менее точным, и наоборот [так как определить фактическое значение разности между измеренным значением в каждом конкретном эксперименте и истинным значением невозможно (см. 4.5)].

5.2.3 Погрешность и неопределенность измерений имеют существенное значение.

В общем случае при наличии нескольких измеренных значений и одного опорного значения необходимо анализировать, как именно соотносятся абсолютные значения погрешностей между собой и с расширенной неопределенностью измерений, связанной с имеющимся опорным значением, имеют ли погрешности одинаковые или противоположные знаки, каким является уровень доверия, соответствующий данной расширенной неопределенности измерений.

Если предположить, что погрешности измерений имеют один знак, их абсолютные значения превышают вышеназванную расширенную неопределенность измерений, соответствующую уровню доверия 100 % (что означает, что сравниваемые измеренные значения находятся на шкале величины (см. 4.13) «по одну сторону» как от опорного значения, так и от любого из возможных истинных значений величины, совокупность которых определена интервалом охвата), то уместно утверждение, что измерение является более точным, если оно имеет меньшую погрешность измерения.

При иной вероятности охвата, наличии у погрешностей измерений противоположных знаков, других соотношениях погрешностей и неопределенности измерений утверждение о большей или меньшей точности измерений (с той или иной вероятностью) возможно лишь после проведения дополнительных исследований в каждом конкретном случае.

5.3 Погрешность неизвестна

При отсутствии опорного значения, когда погрешность не может быть определена, точность измерений может характеризоваться неопределенностью, связанной с измеренным значением.

Чем больше расширенная неопределенность измерений одной и той же величины при заданной вероятности охвата, тем с большей вероятностью можно утверждать, что измерение является менее точным, и наоборот [так как определить фактическое значение разности между измеренным значением в каждом конкретном эксперименте и истинным значением невозможно (см. 4.5)].

6 Рекомендации по корректному применению понятий «погрешность измерения» и «неопределенность измерений»

6.1 Применение понятий «погрешность измерения» и «неопределенность измерений» в конкретных метрологических ситуациях

6.1.1 Выполнение измерений по методикам измерений при отсутствии опорного значения измеряемой величины

Применение понятия «погрешность измерения» в данной ситуации невозможно, так как на практике погрешность при отсутствии опорного значения неизвестна, а результат измерения в общем случае может характеризоваться измеренным значением и связанной с ним неопределенностью.

В методиках измерений, разрабатываемых по ГОСТ 8.010, в качестве показателей точности измерений могут быть использованы как неопределенность (стандартная неопределенность измерений, суммарная стандартная и расширенная неопределенности), так и характеристики погрешности [среднее квадратическое отклонение, (доверительные) границы погрешности, пределы погрешности]. В качестве примера некоторые из данных показателей точности приведены также в статье 5.1 РМГ 29-2013.

Примечания

1 Применение характеристик погрешности в качестве показателей точности сложилось исторически до разработки концепции неопределенности, и в настоящее время они используются в ряде государств СНГ наряду с неопределенностью измерений.

2 В статье 2.9 словаря [2] использование характеристик погрешности не предусмотрено: «как правило, результат измерения выражается одним измеренным значением величины и неопределенностью измерений».

В соответствии с ГОСТ 8.010 показатели точности представляют собой установленные характеристики точности любого результата измерения, полученного при соблюдении требований и правил конкретной методики измерений. Они могут быть заданы в качестве норм показателей точности, либо быть приписанными любому результату измерения, полученному по аттестованной методике измерений.

Для методик измерений, показатели точности которых устанавливаются в процессе или после выполнения измерений, они представляют из себя некие статистические оценки параметров, характеризующих рассеивание полученных измеренных значений.

При выборе показателей точности измерений при разработке методик измерений следует принимать во внимание следующие обстоятельства:

- концепция неопределенности измерений (см. руководство [1] и другие международные стандарты) принята в настоящее время всеми международными метрологическими организациями, поэтому результаты измерений, выполняемых в рамках международного сотрудничества, для зарубежных партнеров следует характеризовать показателями точности в терминах неопределенности измерений;

- использование в качестве показателей точности измерений (стандартной, расширенной) неопределенности измерений более целесообразно исходя из логического смысла понятия неопределенности, по определению связанного именно с измеренным (а не с отсутствующим при выполнении измерений опорным) значением и характеризующего разброс значений, которые могли бы быть обоснованно приписаны измеряемой величине;

- использование в качестве показателей точности результата измерения характеристик погрешности в некоторых метрологических ситуациях приводит к некорректному использованию термина «погрешность» в значении этих характеристик, что противоречит определению погрешности. Например, термином «погрешность» могут подменять понятие «доверительные границы погрешности измерения».

Таким образом, с учетом вышесказанного рекомендуется результаты измерений, выполняемых по методикам измерений, характеризовать именно неопределенностью измерений, что позволит выполнить рекомендации руководства [1], словаря [2] и других международных документов, не вступая при этом в противоречие с положениями ГОСТ 8.010 и РМГ 29.

Классификация понятий и терминов, связанных с ключевыми словами «погрешность» и «неопределенность», на предмет их соотношения с понятием «погрешность» приведена в приложении А.

6.1.2 Результаты измерений с помощью эталона, выполняемых при сличениях (ключевых, региональных, межгосударственных) национальных эталонов (см. Договоренность (Соглашение) [3]), представляют с подробными сведениями об оценке неопределенности. Указанные в паспортах на национальные эталоны (государственные эталоны) нормы границ составляющих погрешностей эталонов по ГОСТ 8.381 при этом используют для оценки неопределенности результатов измерений.

6.1.3 Калибровочные и измерительные возможности национальных метрологических институтов (см. приложение С Договоренности (Соглашения) [3]) представляют с указанием неопределенности измерений и коэффициента охвата. При этом обязательно приводят сведения о прослеживаемости передачи соответствующей шкалы измерений или единицы измерений.

6.1.4 При калибровке средств измерений (СИ) устанавливают при определенных условиях соотношение между значением величины, полученным по показаниям СИ, и соответствующим значением величины, определенным с помощью эталона, с целью определения метрологических характеристик этого СИ. При данной процедуре возможно определение погрешности СИ. Показателем точности измерений при калибровке (калибровочных возможностей) может быть только неопределенность измерений (см. приложение С Договоренности (Соглашения) [3]). По результатам калибровки СИ его метрологические характеристики, в том числе погрешность СИ, калибровочную функцию указывают с соответствующими неопределенностями.

По результатам калибровки могут быть внесены поправки к показаниям СИ или уточнены реализуемые СИ значения.

Необходимо иметь в виду различие смысла терминов «калибровка» и «поверка» (verification – подтверждение соответствия). Калибровка не является процедурой подтверждения соответствия (см. [4]).

6.1.5 Нормирование метрологических характеристик СИ осуществляют, оперируя понятием «погрешность» и руководствуясь ГОСТ 8.401 и ГОСТ 8.009. При этом характеристики погрешностей используют для установления пределов допускаемых погрешностей СИ конкретного типа.

6.1.6 Поверка СИ (verification) – установление пригодности СИ (СИ) к применению на основании экспериментального определения метрологических характеристик и подтверждения их соответствия установленным требованиям. При поверке используют эталоны.

Поверка СИ может включать:

а) определение пригодности СИ к применению с отбраковкой тех СИ, погрешность которых превышает пределы допускаемой погрешности, установленной для СИ данного типа;

б) установление действительных значений или градуировочных характеристик СИ (если нестабильностью метрологических характеристик этих СИ можно пренебречь), поступивших на поверку (в том числе путем введения поправок);

в) определение пригодности СИ к применению по нормам их стабильности (с отбраковкой тех СИ, изменение действительного значения или градуировочной характеристики которых за межповерочный интервал превысило предел допускаемой нестабильности, установленный для СИ данного типа) и установление действительных значений или градуировочных характеристик остальных СИ.

При поверке оперируют установленными для СИ нормами пределов характеристик их погрешностей. Поэтому в методиках поверки допускается указывать, в каком соотношении должны находиться расширенная неопределенность измерений при поверке и нормы

допустимых пределов погрешностей СИ данного утвержденного типа, а также критерии годности СИ с учетом неопределенности измерений при поверке (см. приложение Б).

6.1.7 При построении поверочных схем по ГОСТ 8.061 результаты измерений при передаче единиц величин рекомендуется характеризовать неопределенностью. Нормы пределов погрешностей воспроизведения единиц и методы поверки также рекомендуется устанавливать с учетом расширенной неопределенности соответствующих измерений.

6.2 Общая рекомендация

Из рассмотренных метрологических ситуаций можно предложить общее правило: результаты измерений в большинстве случаев следует характеризовать неопределенностью, а нормативы точности СИ, измерительных и контрольных процедур – пределами (границами) погрешности. Таким образом, понятия «неопределенность» и «погрешность» рекомендуется гармонично использовать без взаимного противопоставления и исключения одного из них.

Общие принципы оценки соответствия с использованием понятия «неопределенность измерений» изложены в ГОСТ 34100.1 (см. также ИСО [6]).

Методология применения указанных общих принципов оценки соответствия детально изложена с примерами (см. [7]).

В международном руководстве [8] подробно рассмотрена роль неопределенности измерений при принятии решений об оценке соответствия в законодательной метрологии. При этом детально описаны отличие и важность применения в законодательной метрологии обоих терминов «погрешность» и «неопределенность», представлены рекомендации и примеры по определению и выражению неопределенности измерений в прикладных задачах законодательной метрологии. Рекомендации предназначены для использования как при оценке типа, так и при поверке СИ.

В ГОСТ 34100.3 установлены общие правила оценивания и выражения неопределенности измерений, которые следует соблюдать при измерениях разной точности в различных областях деятельности, в приложении J содержатся унифицированные математические обозначения терминов, а в приложении Н – разнообразные примеры оценивания и представления неопределенности измерений.

Приложение А (справочное)

Классификация понятий и терминов, связанных с ключевыми словами «погрешность» и «неопределенность»

А.1 Общие положения

Понятия «погрешность измерения» и «неопределенность измерений» рекомендуется применять в соответствии с их определениями без взаимного противопоставления и исключения одного из них, не подменяя погрешность оценками параметров и составляющих рассеяния результатов измерений. Однако практическое применение данной рекомендации вызывает затруднение ввиду наличия в нормативных документах различных терминов со словом «погрешность». Ниже приведены термины по РМГ 29, которые разделены на смысловые группы: соответствующие определению погрешности; связанные с погрешностями, смысл некоторых из них уточнен. Также рассмотрены варианты применения понятий, связанных с неопределенностью.

А.2 Результаты измерений

А.2.1 Понятия, относящиеся к погрешности измерения:

- погрешность (результата измерения), погрешность измерения;
- случайная погрешность (измерения);
- систематическая погрешность (измерения);
- погрешность метода (измерений);
- инструментальная погрешность (измерения);
- абсолютная погрешность (измерения);
- относительная погрешность (измерения).

Комментарий – Систематическую погрешность измерения, оставшуюся после введения поправки, называют неисключенной систематической погрешностью.

Относительная погрешность измерения выражают как отношение абсолютной погрешности измерения к опорному значению измеряемой величины. Заменять в этом отношении опорное значение на измеренное значение не рекомендуется, так как это противоречит определению понятия «погрешность измерения».

В соответствии с РМГ 83 понятие «относительная погрешность измерения» применимо при измерениях величин по шкалам отношений и абсолютным шкалам, а также к интервалам величин, описываемых шкалами разностей (интервалов). Однако к самим величинам, описываемым шкалами разностей, это понятие неприменимо. Например, невозможно выражать в процентах погрешность измерения температуры по шкале Цельсия или погрешность датировки события. Понятие

«относительная погрешность измерения» неприменимо при измерениях по шкалам порядка и наименований.

А.2.2 Другие понятия, связанные с погрешностями измерений:

- среднее квадратическое отклонение (СКО);
- доверительные границы (погрешности измерения);
- максимальная допускаемая погрешность (измерения);
- поправка;
- поправочный множитель.

Комментарий – Оценку СКО – выборочное стандартное отклонение – иногда неправильно называют «средняя квадратическая погрешность».

Доверительные границы (погрешности измерения) при вероятности, равной 1, называют границами погрешности. Доверительные границы погрешности иногда неправильно называют «доверительная погрешность». Границы относительной погрешности в долях или процентах находят из отношений

$$\delta = \Delta x/x \text{ или } \delta = \Delta x/x \cdot 100, \%, \qquad (A.1)$$

где Δx – границы абсолютной погрешности измерения; x – опорное значение величины.

Имеются в виду доверительные границы модельного множества возможных значений погрешностей измерений, предположительно выполняемых по данной измерительной процедуре. У одной конкретной погрешности не может быть границ или границы. Поэтому логичнее применять термин с множественным числом погрешностей: «доверительные границы погрешностей измерений».

Эквивалентом понятия «максимальная допускаемая погрешность» является применяемое выражение «погрешность измерения – не более …». Также согласно ГОСТ 8.010 может быть использован термин «предел (допускаемой) погрешности». Нормируемые значения максимальных допускаемых погрешностей, как правило, существенно превышают значения оцененных доверительных границ погрешностей измерений.

Поправка может иметь различные формы, такие как дополнительное слагаемое или множитель, или она может быть определена по соответствующей таблице. Поправочный множитель используют в случаях, когда систематическая погрешность пропорциональна значению измеряемой величины.

А.2.3 Понятия, связанные с неопределенностью измерений:

- неопределенность (измерений);
- стандартная неопределенность (измерений);
- суммарная стандартная неопределенность (измерений);
- расширенная неопределенность (измерений);
- относительная стандартная неопределенность измерений;

- дефинициальная неопределенность;
- целевая неопределенность (измерений).

Комментарий – Понятие «неопределенность измерений» относится (имеет смысл) только к результатам измерений. Термин «неопределенность средств измерений» отсутствует, но существует термин «инструментальная неопределенность». Неопределенность измерений, так же как СКО, является неотрицательным параметром (перед числовым значением неопределенности знак «±» неуместен), характеризует рассеяние множества возможных значений результатов измерений в рассматриваемой измерительной ситуации, но не погрешность конкретного результата измерения. Возможен случай, когда конкретный (из множества возможных) результат измерения в данном эксперименте имеет пренебрежимо малую погрешность при большой неопределенности.

Дефинициальная неопределенность: составляющая неопределенности измерений, являющаяся результатом ограниченной детализации в определении измеряемой величины. Дефинициальная неопределенность есть практический минимум неопределенности измерений при любом измерении данной величины.

Целевая неопределенность (измерений) является верхней границей неопределенности измерений, заранее установленной исходя из предполагаемого использования результатов измерений. Целевая неопределенность – это не оцененная неопределенность измерений, а установленная норма на измерительную процедуру.

А.3 Средства измерений

А.3.1 Понятия, относящиеся к погрешности СИ:
- погрешность СИ;
- систематическая погрешность СИ;
- случайная погрешность СИ;
- абсолютная погрешность СИ;
- относительная погрешность СИ;
- приведенная погрешность (СИ);
- основная погрешность (СИ);
- дополнительная погрешность (СИ);
- статическая погрешность (СИ);
- динамическая погрешность (СИ);
- погрешность в контрольной точке;
- погрешность нуля;
- погрешность меры.

Комментарий – Погрешность СИ: разность между показанием СИ и известным опорным (действительным) значением величины.

Показанием меры является ее номинальное (паспортное) значение. Для СИ за опорное значение измеряемой величины принимают показание рабочего эталона, для рабочего эталона – значение, полученное с помощью эталона более высокого ранга. Погрешности СИ различаются: по характеру проявления – систематические и случайные; по способу выражения – абсолютные, относительные, приведенные; по отношению к условиям применения – основные и дополнительные; по отношению к изменениям во времени измеряемой величины – динамические и статические.

Систематическая погрешность СИ: составляющая погрешности СИ, принимаемая за постоянную или закономерно изменяющуюся. Систематическая погрешность данного СИ, как правило, будет отличаться от систематической погрешности другого экземпляра СИ этого типа, вследствие чего для группы однотипных СИ систематическая погрешность может иногда рассматриваться как случайная погрешность.

Случайная погрешность СИ: составляющая погрешности СИ, изменяющаяся случайным образом.

Абсолютная погрешность СИ: погрешность СИ, выраженная в единицах измеряемой величины.

Относительная погрешность СИ: погрешность СИ, выраженная отношением абсолютной погрешности СИ к опорному значению измеряемой величины.

Приведенная погрешность (СИ): погрешность СИ, выраженная отношением абсолютной погрешности СИ к нормирующему значению величины.

Примечания

1 Часто за нормирующее значение принимают максимальное значение диапазона измерений или разность между максимальным и минимальным значениями диапазона измерений.

2 Приведенную погрешность, как правило, выражают в процентах.

Основная погрешность (СИ): погрешность СИ, применяемого в нормальных условиях.

Дополнительная погрешность (СИ): составляющая погрешности СИ, возникающая дополнительно к основной погрешности вследствие отклонения какой-либо из влияющих величин от нормального ее значения или вследствие ее выхода за пределы нормальной области значений.

Статическая погрешность (СИ): погрешность СИ, применяемого для измерения постоянной величины.

Динамическая погрешность (СИ): разность между погрешностью СИ в динамическом режиме и его статистической погрешностью, соответствующей значению величины в данный момент времени.

Погрешность в контрольной точке: погрешность СИ или измерительной системы для заданного значения измеряемой величины.

Погрешность нуля: погрешность СИ в контрольной точке, когда заданное значение измеряемой величины равно нулю.

Погрешность меры: разность между номинальным значением меры и опорным значением воспроизводимой ею величины.

А.3.2 Другие понятия, связанные с погрешностями СИ:

- точность (СИ);
- класс точности;
- предел допускаемой погрешности (СИ);
- инструментальное смещение.

Комментарий – Точность (СИ): качество СИ, отражающее близость к нулю его погрешности. Считается, что чем меньше погрешность, тем точнее СИ.

Класс точности: обобщенная характеристика данного типа СИ, как правило, отражающая их уровень точности и выражаемая точностными характеристиками СИ. Класс точности СИ конкретного типа устанавливают в стандартах технических требований (условий) или в других нормативных документах.

Примечания

1 Класс точности, как правило, обозначают числом или символом, принятым по соглашению.

2 Класс точности дает возможность судить о значениях инструментальных погрешностей или инструментальных неопределенностей СИ данного типа при выполнении измерений.

3 Класс точности применяют и к материальным мерам.

Класс точности соответствует пределам допускаемых основной и дополнительных погрешностей СИ, а также другим характеристикам, влияющим на точность. Правила построения и примеры обозначения классов точности в документации и на СИ приведены в ГОСТ 8.401.

Предел допускаемой погрешности (СИ): наибольшее значение погрешности СИ (без учета знака), устанавливаемое нормативным документом для данного типа СИ, при котором оно еще признается метрологически исправным. Нормированные значения пределов допускаемых погрешностей СИ, как правило, существенно превышают значения оцененных погрешностей при испытаниях СИ для учета их долговременной нестабильности.

Примечание – Обычно устанавливают пределы допускаемой погрешности, т. е. нижнюю и верхнюю границы интервала, за которые не должна выходить погрешность.

Инструментальное смещение: разность между средним повторных показаний и опорным значением величины.

А.3.3 Неопределенности измерений, связанные со СИ (поверкой, калибровкой):

- инструментальная неопределенность;
- неопределенность калибровки СИ.

Комментарий – Инструментальная неопределенность: составляющая неопределенности измерений, обусловленная применяемым СИ или измерительной системой.

Примечания

1 Инструментальную неопределенность, как правило, устанавливают при калибровке СИ или измерительной системы, за исключением первичного эталона, когда для этого используют иные подходы.

2 Инструментальную неопределенность используют при оценивании неопределенности измерений по типу В.

3 Информация, касающаяся инструментальной неопределенности, может быть приведена в документации на СИ.

Неопределенность калибровки СИ иногда ошибочно называют погрешностью калибровки СИ. Неопределенность калибровки СИ имеет смысл неопределенности измерений при калибровке СИ, значение которой зависит от уровня точности используемого при этом эталона, и поэтому применять ее в качестве нормируемой метрологической характеристики СИ невозможно. Ее использование (учет) допустимо (допустим) при поверке (подтверждении соответствия) СИ (см. приложение Б) и при установлении границ погрешностей аттестуемых эталонов с учетом экспериментально оцененной долговременной нестабильности СИ (эталона).

А.4 Метрологическая прослеживаемость

А.4.1 Понятия, относящиеся к погрешности:

- погрешность воспроизведения (единицы величины);
- погрешность передачи единицы (величины);
- погрешность метода передачи единицы величины; погрешность метода поверки; погрешность метода калибровки.

Комментарий – Данные понятия, приведены в соответствии с 9.10–9.12 РМГ 29–2013; в словаре [2] (см. статью 2.41) при рассмотрении вопросов, связанных с метрологической прослеживаемостью, они не используются.

Погрешность воспроизведения (единицы величины): разность между значением величины, воспроизводимым эталоном и опорным (действительным) значением величины, деленная на опорное (действительное) значение.

Примечание – Это теоретическое понятие соответствует относительной погрешности воспроизведения единицы величины и для

нормирования точности эталонов не применяется. Принято для эталонов устанавливать показатели точности воспроизводимых ими одной или ряда значений величин, возможно, отличных от единицы.

Погрешность передачи единицы (величины): погрешность измерения при передаче единицы величины, включающая погрешности метода передачи единицы величины и эталона, от которого осуществляется передача, а также случайные погрешности эталона (СИ), которому осуществляется передача единицы величины.

Погрешность метода передачи единицы величины, погрешность метода поверки, погрешность метода калибровки: составляющая погрешности измерения при передаче единицы величины, обусловленная несовершенством применяемого метода поверки или калибровки.

А.4.2 Другие понятия, связанные с погрешностями:

- СКО результатов измерений при воспроизведении единицы величины (первичным) эталоном; СКО случайной погрешности первичного эталона;
- границы или доверительные границы неисключенной систематической погрешности первичного эталона;
- доверительные границы суммарной погрешности первичного эталона;
- суммарное СКО, характеризующее суммарную погрешность вторичного эталона;
- доверительные границы суммарной погрешности вторичного эталона.

А.4.3 Неопределенности измерений, связанные с метрологической прослеживаемостью:

- стандартная неопределенность измерений при воспроизведении единицы величины первичным эталоном, оцениваемая по типу А (по типу В); суммарная стандартная неопределенность измерений при воспроизведении единицы величины первичным эталоном;
- расширенная неопределенность измерений при воспроизведении единицы величины первичным эталоном;
- суммарная стандартная неопределенность, обусловленная стандартными неопределенностями измерений при передаче единицы величины, оцениваемыми по типу А и по типу В;
- расширенная неопределенность измерений при передаче размера единицы величины.

Примечание – В пунктах А.4.2 и А.4.3 приведены термины по ГОСТ 8.381.

Приложение Б (справочное)

Пояснения к использованию понятия «неопределенность измерений» при поверке

В международном документе [5] применено понятие «неопределенность измерений при поверке СИ» без конкретизации этого положения. Возможны различные варианты его реализации из-за многообразия реальных ситуаций в зависимости от выбранного способа поверки (поверка способом отбраковки или поверка способом градуировки), соотношения пределов погрешностей поверяемых СИ и применяемых при этом эталонов, требований к достоверности результатов поверки.

Порядок учета неопределенности измерений при поверке (см. [6]) может выглядеть следующим образом.

- измеряют (предположительно одновременно) некоторую величину эталоном (действительное значение величины $X_д$) и поверяемым СИ (показания СИ – $X_{изм\ СИ}$);

- погрешность Δ поверяемого СИ вычисляют как разность между показаниями СИ и действительным значением величины $\Delta_{СИ} = X_{изм\ СИ} - X_{д,}$, значение $\Delta_{СИ}$ может быть положительным, нулевым или отрицательным;

- оценивают суммарную стандартную неопределенность u_C измерения $\Delta_{СИ}$ (см. [1]). По определению u_C неотрицательный параметр.

- для наиболее распространенного случая симметричных пределов погрешности эталона стандартную неопределенность типа В (u_B) вычисляют по формуле

$$u_B = \frac{b}{\sqrt{3}}, \qquad (Б.1)$$

где $\pm b$ – пределы погрешности эталона.

При этом предполагают, что погрешность может находиться с равной вероятностью в интервале, ограниченном пределами погрешности.

- для однократных измерений (достаточно частый случай при поверке, если известно, что случайный разброс результатов измерений пренебрежимо мал) полагают, что неопределенность типа А равна нулю ($u_A = 0$).

- оценивают расширенную неопределенность $U = k \cdot u_C$ (неотрицательный параметр), где k – коэффициент охвата.

- рассчитывают: верхнюю границу интервала неопределенности измеренной погрешности как сумму измеренной погрешности $\Delta_{СИ}$ (положительной или отрицательной) и расширенной неопределенности U и нижнюю границу интервала неопределенности как разность измеренной погрешности $\Delta_{СИ}$ и расширенной неопределенности U.

Решение о положительном результате поверки может быть принято только в том случае, если интервал неопределенности результата измерения погрешности находится внутри области допустимых значений погрешности, т. е. верхняя граница этого интервала неопределенности не превышает положительного предела погрешности поверяемого СИ $\Delta_{\text{пр СИ}}$, а нижняя граница этого интервала не менее отрицательного предела погрешности поверяемого СИ минус $\Delta_{\text{пр СИ}}$. Графически этот случай представлен на рис. Б.1, а.

Если интервал неопределенности результата измерения погрешности полностью лежит в области недопустимых значений погрешности СИ, принимают решение о несоответствии требованиям, т. е. об отрицательных результатах поверки (рис. Б.1, в).

Если интервал неопределенности результата измерения погрешности включает в себя положительный $\Delta_{\text{пр СИ}}$ или отрицательный предел погрешности минус $\Delta_{\text{пр СИ}}$, результат поверки является неокончательным и требуются повторные измерения с использованием более точного эталона. Если это невозможно (отсутствует более точный эталон), приходится принимать решение об отрицательных результатах поверки и в этом случае (рис. Б.1, б).

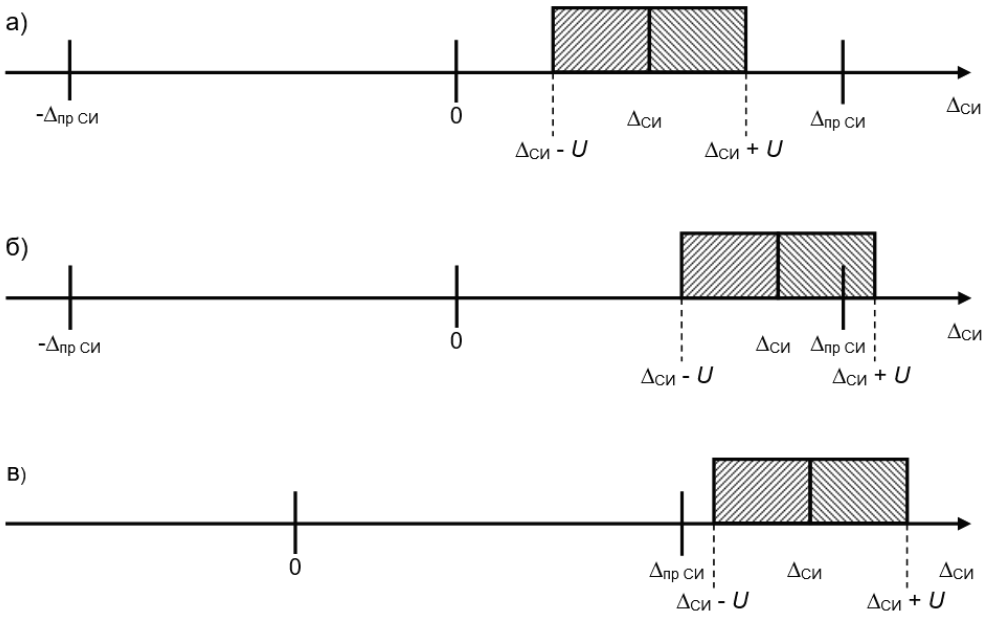


Рисунок Б.1 – Схема учета неопределенности при подтверждении соответствия поверяемого СИ допустимым пределам погрешности:
а) положительный результат поверки;
б) неокончательный результат поверки (в случае отсутствия более точного эталона должен считаться отрицательным);
в) отрицательный результат поверки

При оценке расширенной неопределенности U, как правило, применяют коэффициент охвата $k = 2$. Компьютерный анализ процесса поверки с использованием статистической имитационной модели поверки для такого способа подтверждения соответствия показал, что для $k = 2$ обеспечивается риск заказчика $R_З$ менее 0,01 % при уровне забракования СИ по результатам поверки не более 5 %, но только для отношений пределов погрешностей поверяемых СИ и применяемых при этом эталонов более 3. Для меньших отношений пределов погрешностей поверяемых СИ и применяемых при этом эталонов такой способ учета неопределенности измерений при поверке практически неприемлем из-за высокого уровня забракования СИ.

В качестве характеристики достоверности поверки принят «риск заказчика» $R_З$ – условная вероятность того, что СИ является фактически непригодным (метрологически неисправным) при условии, что оно признано в результате поверки годным на множестве поверенных СИ.

Так как для большинства практических случаев вполне допустим риск заказчика $R_З \leq 5$ % (например, такой уровень достоверности поверки на множестве поверенных СИ обеспечивается при поверке способом отбраковки для отношений пределов погрешностей поверяемых СИ и применяемых при этом эталонов более 2,5 без учета неопределенности измерений при поверке, – т.е. в наиболее распространенном в настоящее время случае), то целесообразно применить другой метод учета неопределенности измерений при поверке. В данной ситуации может быть применено решающее правило, основанное на защитных полосах (см. раздел 8 [7], в котором предлагается осуществлять «соответствующий выбор сдвига пределов принятия относительно допускаемых пределов»). В русскоязычной литературе «предел принятия» (acceptance limit) принято переводить как «приемочный предел» или «контрольный допуск». Таким образом, с целью оптимизации процедуры поверки способом отбраковки целесообразно устанавливать контрольный допуск внутри допустимого интервала, т. е. менее, чем значение допускаемого предела погрешности поверяемого СИ (по модулю) на ширину защитной полосы. Ширину защитной полосы обозначают символом «w» (см. 8.3.2.3 [7]) и вычисляют по формуле

$$w = r \cdot U, \qquad (Б.2)$$

где r – множитель, обеспечивающий минимальную вероятность соответствия для объекта, который принят; U – расширенная неопределенность измерений при поверке.

С учетом вышесказанного алгоритм принятия решения о соответствии СИ установленным требованиям при поверке способом отбраковки может выглядеть следующим образом:

- оценивают расширенную неопределенность измерений при поверке $U = k \cdot u_C$ (неотрицательный параметр), где k – коэффициент охвата (обычно принимается $k = 2$);

- оценивают ширине защитной полосы по формуле (Б.2);

- если измеренное значение погрешности $\Delta_{СИ}$ менее или равно контрольному допуску, вычисляемому как разность между допускаемым пределом (погрешности) $\Delta_{пр\,СИ}$ и шириной защитной полосы w, принимают решение о соответствии СИ установленным требованиям (все указанные величины берут по модулю);

- в противном случае принимают решение о несоответствии СИ установленным требованиям, т.е. оно бракуется.

На основании результатов статистического имитационного моделирования множитель r может быть выбран следующим образом:

- для r = 0,75 обеспечивается $R_З$ менее 0,1 % при уровне забракования СИ по результатам поверки не более 5 % и при отношении пределов погрешностей поверяемых СИ и применяемых при этом эталонов более 2,5;

- для r = 0,45 обеспечивается $R_З$ менее 1 % при уровне забракования СИ по результатам поверки не более 5 % и при отношении пределов погрешностей поверяемых СИ и применяемых при этом эталонов более 1,8;

- для r = 0,3 обеспечивается $R_З$ менее 5 % при уровне забракования СИ по результатам поверки не более 5 % и при отношении пределов погрешностей поверяемых СИ и применяемых при этом эталонов более 1,4.

Если не учитывать неопределенность измерений при поверке, т.е. использовать решающее правило, основанное на простом принятии (см. подраздел 8.2 [7]), то $R_З$ менее 5 % при уровне забракования СИ по результатам поверки не более 5 % обеспечивается лишь для отношения пределов погрешностей поверяемых СИ и применяемых при этом эталонов более 2,5.

Таким образом, можно сделать вывод, что для отношения пределов погрешностей поверяемых СИ и применяемых при этом эталонов более 1,4 учет неопределенности измерений при поверке позволяет в несколько раз повысить достоверность результатов поверки.

Библиография

1	ISO/IEC Guide 98-3:2008	Uncertainty of measurement – Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM:1995) (Неопределенность измерения. Часть 3 Руководство по выражению неопределенности измерения)
2	International vocabulary of metrology JCGM 200:2008	International vocabulary of metrology – Basic and general concepts and associated terms (VIM) (Международный словарь по метрологии. Основные и общие понятия и соответствующие термины)
3	Mutual recognition of national measurement standards and of calibration and measurement certificates issued by national metrology institutes, Paris, 14 October 1999 [Договоренность (Соглашение) о взаимном признании национальных эталонов и сертификатов калибровки и измерений, выдаваемых национальными метрологическими институтами]	
4	Resolution 11 of the 22nd CGPM, Paris, October 2003	Relationship between National Metrology Institutes and nationally recognized accreditation bodies (Отношения между национальными метрологическими институтами и национально признанными органами по аккредитации)
5	International Document OIML D8	Measurement standards. Choice, recognition, use, conservation and documentation (Эталоны. Выбор, признание, применение, хранение и документация)
6	ISO 10576-1:2003	Statistical methods – Guidelines for the evaluation of conformity with specified requirements – Part 1: General principles (Статистические методы. Руководство по оценке соответствия установленным требованиям. Часть 1. Общие принципы)
7	JCGM 106:2012	Evaluation of measurement data – The role of measurement uncertainty in conformity assessment (Оценивание данных измерений – роль неопределенности измерений при оценке соответствия)
8	Guide OIML G19:2017	The role of measurement uncertainty in conformity assessment decisions in legal metrology (Роль неопределенности измерений при принятии решений об оценке соответствия в законодательной метрологии)

А.С. Дойников

ЛЕКЦИИ ПО МЕТРОЛОГИИ

2-е издание,
переработанное и дополненное

Ответственная за выпуск Л.А. Токина

Выпускающий редактор,
компьютерная верстка
и оформление,
дизайн обложки Г.А. Мирошникова

Редакторы: Е.И. Губарева
Л.Е. Белогай

ФГУП «ВНИИФТРИ»
Подписано в печать 27.07.2021 г. Формат 70x90$^{1/16}$
Уч.-изд. л. 32,1. Тираж 500 экз. Заказ № 82

Полиграфучасток ФГУП «ВНИИФТРИ»,
141570, Московская область, г. Солнечногорск, п/о Менделеево