

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации  
Уральский государственный аграрный университет

Т. В. Казанцева, В. А. Александров, Н. К. Казанцева

# ОСНОВЫ МЕТРОЛОГИИ

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

Екатеринбург  
Издательство Уральского ГАУ  
2026

УДК 006.91:531.7(075.8)  
ББК 30.10я73  
К14

*Утверждено и рекомендовано  
к изданию Учебно-методическим  
советом ФГБОУ ВО Уральский ГАУ  
(протокол № 3 от 12.11.2025 г.)*

Рецензенты:

В. В. Илюшин – кандидат технических наук, доцент, и. о. заведующего кафедрой технологических машин и технологии машиностроения Уральского государственного лесотехнического университета  
С. В. Михеева – заместитель руководителя Приволжско-Уральского территориального межрегионального управления Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии

**Казанцева, Татьяна Владимировна**

К14 Основы метрологии: учебное пособие / Т. В. Казанцева, В. А. Александров, Н. К. Казанцева. – Екатеринбург: Издательство Уральского ГАУ, 2026. – 164 с.

ISBN 978-5-87203-607-4

В настоящем пособии рассматриваются основы метрологии: основные понятия и определения, объекты измерений, процедура измерения и результаты измерений, обеспечение единства измерений. Приведены сведения из истории метрологии в России и на Урале, а также информация о международных и региональных организациях по метрологии.

Пособие предназначено для студентов направлений подготовки 15.03.02 «Технологические машины и оборудование», 20.03.01 «Техносферная безопасность», 23.03.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов», 35.03.06 «Агроинженерия». Данное пособие может быть полезно студентам других направлений подготовки, а также инженерно-техническим работникам предприятий.

**УДК 006.91:531.7(075.8)  
ББК 30.10я73**

ISBN 978-5-87203-607-4

© Т. В. Казанцева, 2026  
© В. А. Александров, 2026  
© Н. К. Казанцева, 2026  
© Уральский государственный  
аграрный университет, 2026

# ОГЛАВЛЕНИЕ

---

|                                                                                    |    |
|------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ВВЕДЕНИЕ .....                                                                     | 5  |
| ГЛАВА 1. ИЗ ИСТОРИИ МЕТРОЛОГИИ .....                                               | 7  |
| 1.1. Создание главной палаты мер и весов России .....                              | 7  |
| 1.2. Из истории Уральского научно-исследовательского<br>института метрологии ..... | 12 |
| 1.3. Современная эталонная база России .....                                       | 14 |
| ГЛАВА 2. ОБЪЕКТЫ ИЗМЕРЕНИЙ .....                                                   | 19 |
| 2.1. Метрология – фундамент, обеспечивающий<br>качество измерений .....            | 19 |
| 2.2. Величины, характеризующие качества объекта .....                              | 23 |
| 2.3. Измерительные шкалы .....                                                     | 26 |
| 2.4. Международная система единиц СИ .....                                         | 32 |
| Вопросы для самопроверки .....                                                     | 44 |
| ГЛАВА 3. ИЗМЕРЕНИЯ .....                                                           | 46 |
| 3.1. Общие положения .....                                                         | 46 |
| 3.2. Виды измерений .....                                                          | 48 |
| 3.3. Методы измерений .....                                                        | 54 |
| 3.4. Средства измерений .....                                                      | 57 |
| 3.5. Метрологические характеристики средств измерений .....                        | 66 |
| Вопросы для самопроверки .....                                                     | 68 |
| ГЛАВА 4. РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ .....                                                | 72 |
| 4.1. Погрешности измерений .....                                                   | 72 |
| 4.2. Единство измерений и неопределенность измерений .....                         | 79 |
| 4.3. Методика оценивания результата измерений<br>и его неопределенности .....      | 83 |
| 4.4. Пример оценивания результата измерений<br>и его неопределенности .....        | 89 |
| Вопросы для самопроверки .....                                                     | 94 |

|                                                                                                  |         |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| ГЛАВА 5. ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЕДИНСТВА ИЗМЕРЕНИЙ .....                                                    | 99      |
| 5.1. Основные нормативные и правовые документы<br>в области обеспечения единства измерений ..... | 99      |
| 5.2. Организационное обеспечение единства измерений .....                                        | 105     |
| 5.3. Стандартные образцы и справочные данные .....                                               | 113     |
| 5.4. Требования к средствам измерений .....                                                      | 116     |
| 5.5. Федеральный государственный метрологический<br>контроль (надзор) .....                      | 122     |
| 5.6. Международные и региональные организации<br>по метрологии .....                             | 125     |
| Вопросы для самопроверки .....                                                                   | 133     |
| <br>ОСНОВНЫЕ ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ .....                                                         | <br>138 |
| <br>БИБЛИОГРАФИЯ .....                                                                           | <br>149 |
| <br>ПРИЛОЖЕНИЯ .....                                                                             | <br>155 |
| <br>ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ .....                                                                  | <br>163 |

# ВВЕДЕНИЕ

---

Искусство измерения является могущественным оружием, созданным человеческим разумом для проникновения в законы природы и подчинения ее сил нашему господству.

*Б. С. Якоби*

Все отрасли науки и техники не могли бы существовать без измерений. Наука, промышленность, экономика и коммуникации нуждаются в измерениях различного рода. Каждую секунду в нашей стране производятся миллионы измерений, результаты которых необходимы для обеспечения качества выпускаемой продукции, бесперебойной и безопасной работы транспорта, установления медицинских диагнозов, анализа информационных потоков и других видов деятельности.

Измерения – это один из важнейших путей познания природы, т. к. измерения дают количественную информацию об интересующих нас объектах и позволяют устанавливать действующие в природе закономерности. Метрология способствует развитию всех областей естественных наук. При этом успехи в естественных науках и технике обеспечивают прогресс и в метрологии. С развитием науки и техники совершенствуются средства измерений, и наоборот. В настоящее время появились принципиально новые средства измерений, в том числе и информационно-измерительные системы, в которых используются цифровые технологии. Цифровизация позволяет значительно повысить точность измерений и упростить процесс их передачи и обработки. Развитие беспроводных технологий делает возможной передачу данных в режиме реального времени, что значительно облегчает мониторинг всех процессов производства и управление ими.

Все достижения точности измерений базируются на результатах как фундаментальных, так и специальных исследований в области измерений. Однако, чтобы полученные научные решения могли использоваться во всех сферах деятельности человека, необходима большая работа по организации работ по законодательной и практической метрологии.

В настоящее время примерно 15 % затрат общественного труда расходуется на проведение измерений. Наш мир развивается все быстрее и становится все сложнее с технологической точки зрения. При этом человек, совершая промышленные революции, продолжает расширять границы возможного и искать ресурсы для новых прорывов. На протяжении всей истории человечества рядом с промышленной революцией идет и метрология, которая обеспечивает принципиально новым и прорывным технологиям точность и единство измерений.

Данное учебное пособие подготовлено для студентов высших учебных заведений для освоения курса «Метрология, стандартизация и сертификация», который введен в учебные планы очень многих направлений и специальностей. В пособии изложены основы метрологии, касающиеся объектов измерений, используемых единиц величин, требований к измерениям и средствам измерений, а также представлению полученных результатов. Пособие ориентировано на формирование системного подхода к процессу измерений различных величин.

# ГЛАВА 1. ИЗ ИСТОРИИ МЕТРОЛОГИИ

---

## 1.1. СОЗДАНИЕ ГЛАВНОЙ ПАЛАТЫ МЕР И ВЕСОВ РОССИИ

С самых древних времен человек для обеспечения собственных нужд проводил измерения времени, длины, массы и других величин, используя при этом подручные естественные меры. После появления первых великих цивилизаций (Месопотамии, Египта, Китая, Вавилона) возникли новые потребности в более надежных способах измерения расстояний, площадей, объемов, веса и времени. В результате в разных регионах мира появились различные меры или единицы измерения. В России это были аршин, сажень, вершок и др. В приложении 1 приведены сведения о старинных мерах России и других стран.

Первые упоминания о различных мерах в России можно встретить в летописях X века. Общерусская система мер сложилась к концу XVII века, а уже к началу XVIII века появились легендарные учебники Леонтия Филипповича Магницкого «Арифметика», «Роспись полевой меры», которые издаются до настоящего времени [29].

Дальнейшее развитие общерусская система мер получила уже в начале XIX века, когда в 1835 году Николай I издал императорский Указ «О Российской системе мер и весов», где впервые на законодательном уровне были установлены основные единицы Российской системы мер и весов (фунт и аршин), а также было предписано изготовить их эталоны. Данный Указ дал старт созданию единой российской системы мер и весов.

Три крупных русских ученых – А. Я. Купфер, В. С. Глухов и Д. И. Менделеев – внесли огромный вклад в создание и развитие

Депо образцовых мер и весов России, представляющего собой хранилище национальных эталонов.



Адольф Яковлевич  
Купфер (1799–1865)

Адольф Яковлевич Купфер (1799–1865) – крупнейший физико-химик своего времени. Первый главный метролог России, основатель и первый руководитель Депо образцовых мер и весов – первого метрологического и поверочного учреждения России, которое в настоящее время известно во всем мире как Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии имени Д. И. Менделеева.



Владимир Семенович  
Глухов (1813–1894)

Владимир Семенович Глухов (1813–1894) – выдающийся русский физик, в 1865–1892 годах он был хранителем Депо образцовых мер и весов. Благодаря деятельности В. С. Глухова было учреждено первое в мире специализированное государственное поверочное учреждение. Глухов видел научное будущее метрологии, понимал ее решающую роль как основы измерительной техники и делал всё возможное для превращения ее в строгую науку.

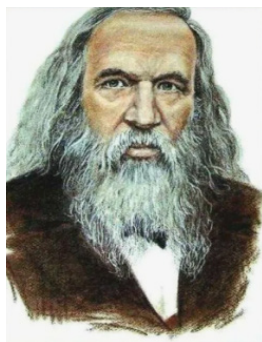
Дмитрий Иванович Менделеев (1834–1907) – великий русский ученый, который открыл периодический закон химических элементов – один из основных законов естествознания. В 1892 году Д. И. Менделеев был назначен хранителем Депо образцовых гирь и весов, которое в 1893 году было преобразовано в Главную палату мер и весов. Важная задача, которая ставилась перед данным метрологическим учреждением, – создание системы эталонов, копий и рабочих эталонов, необходимой для установления мер и весов. По содержанию своей работы Главная палата мер и весов явилась одним из первых в мире научно-исследовательских учреждений метрологического профиля.

А. Я. Купфер на протяжении более чем 20 лет являлся хранителем Депо образцовых мер и весов. Именно в это время при непосредственном и активном участии А. Я. Купфера был издан фундаментальный труд Ф. И. Петрушевского «Общая метрология», по которому учились первые поколения русских метрологов. Эта легендарная и очень интересная книга издается до настоящего времени [33].

В 1865 году Депо образцовых мер и весов возглавил последователь академика А. Я. Купфера, выдающийся физик генерал-майор В. С. Глухов. Именно в период его работы Депо образцовых мер и весов было оснащено новым оборудованием. В 1878 году В. С. Глухов предложил установить периодическую поверку мер и весов и подготовил проект нового закона о мерах и весах.

Одним из важнейших результатов деятельности В. С. Глухова явилась подготовка подписания Россией Метрической конвенции. Это событие, бесспорно, является важнейшим в развитии отечественной метрологии. Впервые в мире объединившись, государства, подписавшие Метрическую конвенцию, обязались основать и содержать Международное бюро мер и весов (МБМВ) – постоянное учреждение, находящееся в Париже. Финансирование предусматривалось на общие взносы государств – участников МБМВ. Члены МБМВ взяли на себя ответственность изготовить эталоны и передать их всем заинтересованным странам, и уже в 1889 году было изготовлено 34 носителя эталона метра, 43 эталона килограмма. Россия получила два эталона метра и один эталон килограмма, которые поступили в российское Депо образцовых мер и весов. С помощью этих эталонов было произведено сличение различных мер и весов в России [50].

В ноябре 1892 года Депо образцовых мер и весов возглавил выдающийся русский ученый, автор более 500 научных трудов Д. И. Менделеев. Нашим современникам он наиболее известен как ученый, который открыл периодический закон химических элементов – один из основных законов естествознания. Также Д. И. Менделеев является



Дмитрий Иванович  
Менделеев  
(1834–1907)

автором фундаментальных исследований по физике, воздухоплаванию, метеорологии, сельскому хозяйству, экономике, народному просвещению. Может быть, наименее известно широкому кругу читателей, какой фундаментальный вклад в развитие отечественной и мировой метрологии внес Д. И. Менделеев.

Д. И. Менделеев был убежден, что для развития экономики государства необходима эффективно действующая государственная система метрологического обеспечения. В 1893 году он предложил Метрологическую реформу, разработав Положение о мерах и весах, основанное на новых принципах организации метрологического и поверочного дела в России, а также Программу переустройства государственной службы мер и весов. Данные документы были внесены в Государственный совет. Вскоре Депо образцовых мер и весов было преобразовано в Главную палату мер и весов.

Во многом благодаря Д. И. Менделееву на рубеже XIX–XX веков в России была создана полноценная метрологическая инфраструктура, способная обеспечить единство измерений по всей территории России. Именно в это время была законодательно установлена национальная система единиц измерений, а Главная палата мер и весов стала ведущим научным метрологическим центром мирового уровня. В этот период была начата работа по усовершенствованию существующих государственных эталонов и созданию новых. В 1895 году Д. И. Менделеев был избран членом постоянного Международного комитета мер и весов. По всей территории России были открыты поверочные палатки.

Одним из положений метрологической реформы Д. И. Менделеева являлось открытие сети поверочных учреждений в различных городах Российской империи для контроля над применением мер и измерительных приборов. Данные учреждения получили название поверочных палаток.

Наряду с решением задач глобальных организационных изменений и стратегического развития метрологии в России и мире Д. И. Менделеев уделял большое внимание разработке новых методик измерений, а зачастую сам конструировал приборы. Менделеев является создателем пикнометра – прибора для определения плотности жидкости, дифференциального барометра, двухъярусных весов, на которых можно измерять массу вещества и газа, и других приборов.

После кончины Д. И. Менделеева в 1907 году Главную палату мер и весов возглавил ученик и коллега Д. И. Менделеева Николай Григорьевич Егоров, который управлял ею до 1919 года. В советский период Главная палата мер и весов была преобразована во Всероссийский научно-исследовательский институт имени Д. И. Менделеева, в котором работали такие известные советские ученые, как Дмитрий Иванович Коновалов, Александр Николаевич Доброхотов, Михаил Андреевич Шателен, Николай Феодосьевич Гаркуша и многие другие.

## 1.2. ИЗ ИСТОРИИ УРАЛЬСКОГО НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ИНСТИТУТА МЕТРОЛОГИИ

В 1899 году по указанию Д. И. Менделеева была организована Комиссия по изучению кризисного состояния уральской промышленности. В состав комиссии, которая отправилась на Урал, вошли Д. И. Менделеев – руководитель Главной палаты мер и весов, П. А. Земятинский – профессор Петербургского университета, Н. А. Саларев – представитель Министерства государственных имуществ, В. В. Мамонтов – секретарь Постоянной совещательной конторы железнодорожников и другие ученые и администраторы. Во время Уральской экспедиции Д. И. Менделеева были осмотрены уральские заводы, проведены магнитные измерения по выявлению аномалий вследствие наличия железной руды. Впоследствии Д. И. Менделеев написал об этом путешествии: «Вера в будущее России, всегда жившая во мне, прибыла и окрепла от близкого знакомства с Уралом» [50].

В 1900 году было принято решение о размещении региональной поверочной палатки именно в Екатеринбурге.

14 октября 1902 года именно в уездном городе Екатеринбурге, а не в губернской Перми была открыта 19-я по счету в России поверочная палатка, что многие считают рождением метрологии на Урале. Управляющим поверочной палаткой был назначен кандидат естественных наук П. В. Писаревский.

До революции Екатеринбургская палатка мер и весов являлась единственным поверочным учреждением на Урале и самым восточным в России. По объему проверок она занимала пятое место в России после Петербурга, Москвы, Варшавы и Нижнего Новгорода.

После Октябрьской революции 1917 года данное поверочное учреждение продолжило свою деятельность. В 1926 оно получило новое здание, а позже были открыты межрегиональные отделения в Нижнем Тагиле, Серове и Красноуфимске. Позже были открыты областные поверочные учреждения в Челябинске и Перми.

В 1934 году на Урале были открыты метрологические курсы по подготовке кадров метрологов, поверителей и стандартизаторов,

которые долгое время оставались базовым учреждением при подготовке метрологических кадров в Советском Союзе.

В предвоенные годы поверочную работу в Уральской палатке осуществляли лаборатории общих поверок, электроизмерений, теплотехнических измерений, линейных и угловых измерений. В среднем поверялось около 300 тысяч мер и измерительных приборов в год.

В июле 1941 года в Свердловск из Ленинграда прибыл первый эшелон с аппаратурой, государственными эталонами и специалистами Всероссийского научно-исследовательского института метрологии имени Д. И. Менделеева (ВНИИМ). Уже в сентябре 1941 года в Свердловске была создана научно-исследовательская группа ВНИИМ, которая впоследствии была преобразована в филиал ВНИИМ в Свердловской области. За время войны филиал ВНИИМ значительно расширил номенклатуру поверяемых приборов, повысилась точность поверок.

Во время войны в Свердловской области в филиале ВНИИМ работали крупнейшие метрологи страны: академик АН СССР А. А. Байков, профессор С. В. Липин, профессор М. Ф. Романова и др.

После окончания войны в 1945 году специалисты и оборудование ВНИИМ вернулись в Ленинград, а филиал ВНИИМ остался в Свердловске и продолжил поверочную деятельность и проведение научно-исследовательских работ.

С середины 60-х годов начался значительный рост научной деятельности Свердловского ВНИИМ. В это время в рамках организации Всесоюзного института повышения квалификации руководящих и инженерно-технических работников в области стандартизации, качества продукции и метрологии в Свердловском филиале ВНИИМ был создан сектор подготовки метрологических кадров. В 1966 году образован Всесоюзный научно-исследовательский центр Государственной службы стандартных образцов. Именно с этим направлением связана во многом дальнейшая научная деятельность филиала ВНИИМ.

В 2020 году ФГУП УНИИМ преобразован в Уральский научно-исследовательский институт метрологии – филиал Федерального государственного унитарного предприятия «Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д. И. Менделеева».

Сегодня УНИИМ является держателем 10 государственных первичных эталонов, перечень которых приведен в приложении 2.

### 1.3. СОВРЕМЕННАЯ ЭТАЛОННАЯ БАЗА РОССИИ

Основой обеспечения единства измерений в стране является мощная современная база первичных эталонов и соответствующая инфраструктура для использования эталонов.

Высокий уровень развития эталонной базы Российской Федерации подтверждается положительными результатами сличений государственных первичных эталонов с международными эталонами и национальными эталонами иностранных государств. В настоящее время Россия занимает второе место в мире по измерительным возможностям, уступая только Китаю. При этом измерительные возможности России увеличились (на начало 2017 года они составляли 1693). У США измерительные возможности снизились с 2112 в 2017 году до 1361 (почти на 30 %), а у Германии – уменьшились с 1572 в 2017 году до 1386 в 2025 году. На рис. 1.1 приведена сравнительная диаграмма по измерительным возможностям мировых лидеров на начало 2025 года [28].

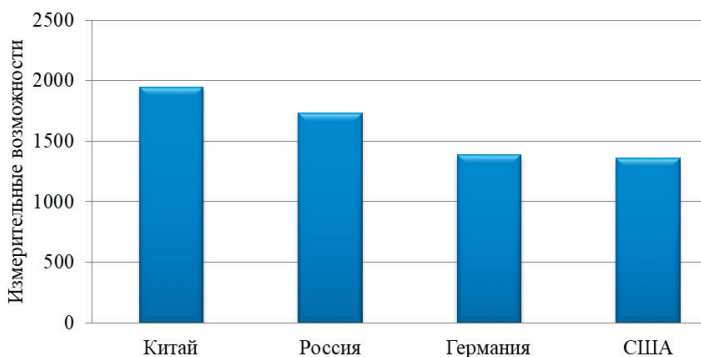


Рис. 1.1. Измерительные возможности отдельных стран по состоянию на начало 2025 года

В настоящее время эталонную базу России составляет 161 первичный эталон единиц величин. Работа с эталонами должна проводиться постоянно. В настоящее время средний возраст эталонной базы составляет 7,89 года, ведутся работы по его сокращению. Средний воз-

раст эталонной базы – это срок, прошедший с момента утверждения государственного первичного эталона или его актуализации до даты расчета показателя.

В настоящее время ведутся работы по созданию нового эталона массы ( $m$ ), введению в эталон температуры Кельвина ( $K$ ) и эталон моля ( $mol$ ) новых элементов, а также по модернизации эталонов ампера ( $A$ ), метра ( $m$ ), канделы ( $cd$ ) и др.

Для создания нового эталона массы – килограмма – проводятся фундаментальные исследования в области измерений механических величин. Цель данных исследований – новое определение килограмма на основе фундаментальных физических констант с использованием ватт-весов (весов Киббла).

Всероссийский научно-исследовательский институт им. Д. И. Менделеева (Санкт-Петербург) – это главный центр государственных эталонов Российской Федерации, в нем хранится большая часть из всех государственных первичных эталонов, в том числе 4 государственных первичных эталона основных единиц СИ (метр, килограмм, ампер, кельвин). ВНИИ им. Д. И. Менделеева является лидером по производству государственных стандартных образцов: более 550 видов.

В 2025 году впервые Государственный первичный специальный эталон расхода природного газа высокого давления расположен на площадке Газпром. В апреле 2025 года произведен пуск первого газа. В работе эталона предусмотрено применение уникальных физических принципов. На рис. 1.2 приведен общий вид данного эталона, а характеристики данного эталона – в таблице 1.1.

Введение данного государственного эталона обеспечивает передачу единицы величины и первичную аттестацию рабочих эталонов первого разряда, а также отказ от услуг зарубежных партнеров в рамках собственных измерительных возможностей.

Утверждение типа средств измерений – важная задача метрологических учреждений страны, представляющая собой процедуру, которая подтверждает соответствие измерительных устройств метрологическим и техническим стандартам.

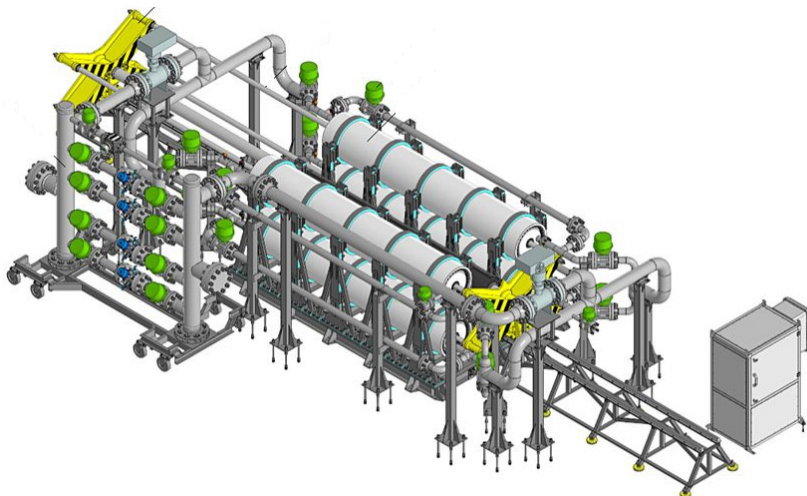


Рис. 1.2. Общий вид Государственного первичного специального эталона расхода природного газа высокого давления

Таблица 1.1. Характеристики Государственного первичного специального эталона расхода природного газа высокого давления

| Характеристика                                                                                                                        | Значение                      |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|
| Воспроизведение единицы объемного расхода природного газа в диапазоне, м <sup>3</sup> /ч                                              | от не более 5 до не менее 400 |
| Расширенная неопределенность воспроизведения объемного расхода газа трубопоршневой установкой в составе ГПСЭ ( $k = 2$ ), не более, % | 0,08                          |
| Рабочий диапазон абсолютного давления, МПа                                                                                            | от 0,1 до 10,0                |
| Температура рабочей среды, °С                                                                                                         | 20 ±5                         |

Утверждение типа необходимо в следующих случаях:

1. *Создание новых моделей.* Экспертиза подтверждает точность, безопасность и долговечность оборудования перед запуском в серийное производство.
2. *Ввоз импортных изделий.* Оборудование, произведенное за пределами ЕАЭС, допускается к использованию только после согласования характеристик с региональными нормативами.

3. *Модернизация выпускаемых устройств.* Любые изменения в конструкции или производственных процессах готовых моделей проходят повторную экспертизу. Корректировки не должны нарушать заявленных ранее параметров.

4. *Работа в регулируемых отраслях.* Медицина, энергетика, торговля и другие сферы с повышенными требованиями к измерениям допускают эксплуатацию только сертифицированных приборов.

5. *Плановые проверки оборудования.* Регулярная поверка и калибровка возможны исключительно для устройств с утвержденным типом. Процедура гарантирует сохранение точности на протяжении всего срока службы.

На рис. 1.3 и 1.4 приведена динамика измерения количества типов утвержденных средств измерений и типов утвержденных стандартных образцов в России за период с 2013 по 2024 год.

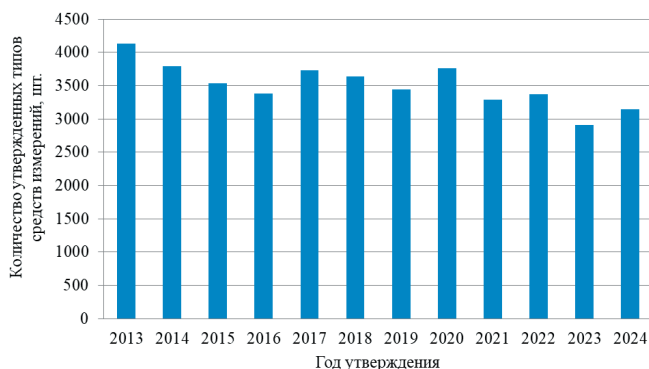


Рис. 1.3. Динамика изменения количества типов утвержденных средств измерений в РФ за период с 2013 по 2024 год

На основе измерений получают информацию о состоянии производственных, экономических и социальных процессов. Достоверность и соответствующая точность результатов измерений обеспечивают правильность принимаемых решений на всех уровнях управления процессами.

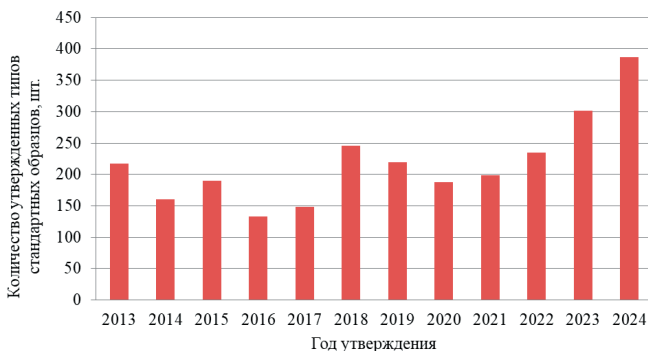


Рис. 1.4. Динамика изменения количества типов утвержденных стандартных образцов в РФ за период с 2013 по 2024 год

Метрология играет чрезвычайно важную роль в современном обществе, обеспечивая точность и единообразие измерений в различных сферах деятельности человека [49], что хорошо иллюстрирует известное высказывание Д. И. Менделеева: «Наука начинается с тех пор, когда начинают измерять. Точная наука немыслима без меры» [31].

Кроме того, метрология как наука об измерениях сама постоянно развивается и совершенствуется, обеспечивая свой вклад в познание окружающего нас мира.

## ГЛАВА 2. ОБЪЕКТЫ ИЗМЕРЕНИЙ

---

### 2.1. МЕТРОЛОГИЯ – ФУНДАМЕНТ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИЙ КАЧЕСТВО ИЗМЕРЕНИЙ

В процессе познавательной деятельности человека возникает множество задач, для решения которых необходимо располагать количественной информацией о том или ином свойстве объектов материального мира. Основным способом получения такой информации являются измерения, выполнение которых позволяет получать результаты, с большей или меньшей точностью отражающие определенные свойства объекта познания.

В своей книге «Диалектика природы» Ф. Энгельс писал: «Всякое качество имеет бесконечно много количественных градаций» [49].

Как же производится количественная оценка этих свойств или качеств объекта? Наши органы чувств делают это интуитивно. Измерения непрерывно совершают (сознательно или неосознанно) все живые существа, имеющие органы чувств, которые, по сути, являются сложнейшими измерительными приборами, созданными природой. Но окружающий мир давно перестал познаваться нами с помощью одних только органов чувств. Человек для своих целей создал огромное количество различных средств измерений.

Очень хорошо высказался о метрологии известный советский ученый, создатель квантовой электроники, лауреат Ленинской и Нобелевской премий, академик Николай Геннадьевич Басов: «Еще недавно сугубо прикладная область знаний, метрология сейчас использует самые передовые научные методы и достижения – как экспериментальные, так и теоретические... Сегодняшняя метрология – крупная и важная область науки, объединяющая усилия большого числа ученых... Сегодняшняя метрология – одно из звеньев цепи между

большой наукой и производством, она убедительно показывает, как много может дать фундаментальная наука в приложении к непосредственной практике».

С развитием науки, техники, новых технологий измерения охватывают все новые и новые физические величины, существенно расширяются диапазоны измерений в сторону как сверхмалых значений, так и очень больших значений. Непрерывно повышается точность измерений.

Для получения достоверных результатов нужен единый научный и законодательный фундамент, обеспечивающий на практике высокое качество измерений независимо от того, где и с какой целью они проводятся. Таким фундаментом и является метрология – наука об измерениях.

Для обеспечения единства измерений в России в настоящее время действует большое количество нормативно-правовых актов и нормативно-технической документации, которые постоянно актуализируются в соответствии с новыми требованиями и условиями экономики. С 1 января 2015 года введены рекомендации РМГ 29-2013 «ГСИ. Метрология. Основные термины и определения», которые заменили ранее действовавший документ РМГ 29-99. В РМГ 29-2013 зафиксировано развитие понятийного аппарата современной метрологии, отражающее расширение влияния метрологии на новые области измерений, а также учтены термины международного словаря по метрологии [30; 52]. РМГ 29–2013 устанавливает основные термины и определения понятий в области метрологии. Данные термины рекомендуется применять во всех видах документации, в научно-технической, учебной и справочной литературе по метрологии.

*Метрология* – наука об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства и способах достижения требуемой точности [40].

В настоящее время практически нет ни одной сферы деятельности человека, где бы не использовались результаты измерений, испытаний и контроля. По оценке экспертов, до 9 % валового национального продукта в развитых экономиках мира приходится на процедуры измерений и связанные с ними операции. Для обеспечения единства измерений в современных условиях метрология развивается в трех направлениях (рис. 2.1).

*Теоретическая (фундаментальная) метрология* – раздел метрологии, предметом которого является разработка фундаментальных основ метрологии [40]. Теоретическая метрология занимается изучением проблем измерения в целом и элементов, образующих измерение, а именно средств измерений физических величин и их единиц, методов и методик измерений, результатов и погрешностей измерений и других составляющих. Также в сферу интересов теоретической метрологии входит определение наиболее точных значений важнейших физических констант, необходимых для многих отраслей науки и техники.

*Законодательная метрология (Legal Metrology)* – раздел метрологии, предметом которого является установление обязательных технических и юридических требований по применению единиц величин, эталонов, методов и средств измерений, направленных на обеспечение единства и требуемой точности измерений [40]. Различные аспекты отношений по обеспечению единства измерений представлены в целом ряде федеральных законов:

- № 184-ФЗ от 27.12.2002 «О техническом регулировании»;
- № 102-ФЗ от 26.06.2008 «Об обеспечении единства измерений»;
- № 99-ФЗ от 04.05.2011 «О лицензировании отдельных видов деятельности»;
- № 107-ФЗ от 03.06.2011 «Об исчислении времени»;
- № 412-ФЗ от 28.12.2013 «Об аккредитации в национальной системе аккредитации».

Также существуют другие документы федерального уровня, которые затрагивают сферу единства измерений.

*Практическая (прикладная) метрология* – раздел метрологии, предметом которой являются вопросы практического применения разработок теоретической метрологии и положений законодательной метрологии [40].

Главная цель метрологии как науки – это обеспечение единства измерений, получение количественной информации о свойствах различных объектов окружающего мира с заданной точностью и достоверностью.



Рис. 2.1. Направления развития метрологии

Основные задачи метрологии, которые решаются с помощью теоретической, законодательной и практической метрологии, включают следующие позиции:

- создание и принятие общей теории измерений;
- установление единиц физических величин;
- создание государственной базы эталонов и стандартных образцов;
- разработка и стандартизация методов и средств измерений;
- разработка методов передачи размеров единиц от эталонов рабочим средствам измерений.

## 2.2. Величины, ХАРАКТЕРИЗУЮЩИЕ КАЧЕСТВА ОБЪЕКТА

Любой объект окружающего мира (предмет, процесс, явление) можно охарактеризовать такими его свойствами или качествами, которые проявляются в большей или меньшей степени и которые, следовательно, можно измерить и подвергнуть количественной оценке.

В измерениях для количественного описания различных свойств, процессов и физических тел вводят понятие величины, которую можно измерить или исчислить. Любые свойства объекта можно описать различными величинами, характеризующими выделенные свойства и качества объекта.

*Величина* – свойство явления, тела или вещества, которое может быть выражено в виде числа с указанием отличительного признака в качестве основы для сравнения [51].

Анализ существующих величин показывает, что они могут быть разделены на два вида: реальные и идеальные (рис. 2.2).

*Идеальные величины* – это числовые значения, которые не связаны с каким-либо реальным объектом, а рассматриваются как *математические абстракции*, которые служат обобщением или моделью конкретных реальных понятий. В метрологии идеальные величины не изучают, но используют при обработке результатов измерений.

Реальные величины делятся на физические и нефизические величины. Обычным объектом измерений являются физические величины, определенные свойства физического объекта (предмета или процесса): например, длина, масса, время, температура и др. В последнее время, кроме физических величин, в прикладной метрологии начали использоваться так называемые нефизические величины. Это связано с применением термина «измерение» в экономике, информатике и управлении качеством.

Бесконечное множество величин, окружающих нас, обладает бесконечным множеством различных качеств и свойств. Из этого огромного количества человек выделяет некоторое ограниченное число свойств, общих в качественном отношении для ряда однородных объектов и достаточных для описания этих объектов. В каждом

таком качестве, в свою очередь, может быть выделено множество градаций. Если мы в состоянии установить размер градации, то есть величину данного свойства, и физически реализовать ее в виде меры или шкалы, то, сопоставив размер интересующего нас свойства объекта с такой мерой или со шкалой, мы получим его количественную оценку. Свойства, для которых могут быть установлены и воспроизведены градации определенного размера, определяют род величины.

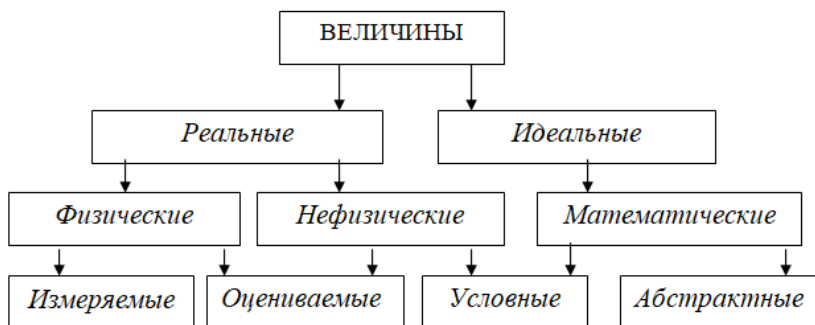


Рис. 2.2. Классификация величин

*Род величины* (*Kind of Quantity*) определяет качественную определенность величины: например, род величины – длина как характеристика протяженности вообще или электрическое сопротивление как общее свойство проводников электричества и т. п. [40].

Для того чтобы для каждого объекта можно было установить различия в количественном содержании свойства, отображаемого физической величиной, в метрологии введены понятия размера и значения величины.

*Размер величины* (*Size of Quantity*) – количественная определенность величины, присущая конкретному материальному объекту или явлению [40].

*Значение величины* (*Value of a Quantity*) – выражение размера величины в виде некоторого числа принятых единиц или баллов по соответствующей шкале измерения [40].

*Единица измерения величины* (*Unit of Measurement*) – величина фиксированного размера, которой присвоено числовое значение, равное

единице, определяемая и принимаемая по соглашению для количественного выражения однородных с ней величин [40].

Целью измерения и его конечным результатом является нахождение значения величины. Для достижения этой цели в метрологии используют понятия истинного и действительного значения величины. Нахождение истинного значения измеряемой величины является центральной проблемой метрологии.

*Истинное значение величины (True Value of a Quantity)* – это значение величины, которое соответствует определению измеряемой величины [40]. При этом *измеряемая величина (Measurand)* – величина, подлежащая измерению [40].

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.

*Дефинициальная неопределенность* представляет собой практический минимум неопределенности измерений при любом измерении данной величины и является результатом ограниченной детализации в определении измеряемой величины.

*Действительное значение (Conventional True Value of a Quantity)* – значение величины, полученное экспериментальным путем и настолько близкое к истинному значению, что в поставленной измерительной задаче может быть использовано вместо него [40].

Размеры величин как измеряются, так и оцениваются при помощи измерительных шкал.

## 2.3. ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ШКАЛЫ

*Шкала величины / шкала измерений (Quantity-Value Scale / Measurement Scale)* – упорядоченная совокупность значений величины, служащая исходной основой для измерения данной величины [40]. Она может быть представлена в общем случае совокупностью условных знаков, выстроенных особым образом. При этом определенные знаки означают начало и конец шкалы, а интервалы между знаками характеризуют принятую градацию шкалы и могут иметь цветное и цифровое оформление. Например, 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 измерения температуры.

Среди множества специфических проявлений свойств физических объектов выделяют три наиболее общих проявления в отношениях эквивалентности, порядка и аддитивности, описываемых простейшими выражениями.

*Отношение эквивалентности* – это отношение, в котором данное свойство  $X$  у различных объектов оказывается одинаковым или неодинаковым:

$$X(A) \approx X(B) \text{ или } X(A) \neq X(B).$$

*Отношение порядка* – это отношение, в котором данное свойство  $X$  у различных объектов оказывается больше или меньше:

$$X(A) > X(B),$$

причем если  $X(A) > X(B)$  и  $X(B) > X(C)$ , то  $X(A) > X(C)$ .

*Отношение аддитивности* – это отношение, в котором однородные свойства различных объектов могут суммироваться:

$$X(A) + X(B) = X(C).$$

В РМГ 29-2013 введены следующие понятия: аддитивная величина, неаддитивная величина, порядковая величина.

*Аддитивная величина (Additive Quantity)* – величина, разные значения которой могут быть суммированы, умножены на числовой коэффициент, разделены друг на друга: например, длина, масса и др. [40].

*Неаддитивная величина (Non-Additive Quantity)* – величина, для которой суммирование ее значений не имеет смысла: например, термодинамическая температура [40].

*Порядковая величина (Ordinal Quantity)* – величина, определенная в соответствии с принятыми по соглашению методом измерения или методикой измерений, для которой может быть установлено в соответствии с ее размером общее порядковое соглашение с другими величинами того же рода, но для которой неприменимы алгебраические операции над этими величинами [40]: например, твердость по шкале Роквелла или твердость по шкале Бринелля.

В зависимости от вида проявлений свойств для измерения или их оценивания могут быть использованы различные шкалы [41]. Описание пяти основных типов шкал приводится ниже [23; 48].

### 2.3.1. ШКАЛА НАИМЕНОВАНИЙ

*Шкала наименований* – это своего рода качественная, а не количественная шкала, которая не содержит нуля и единиц измерений. Примером может служить атлас цветов (шкала цветов) для идентификации оттенка цвета или экспертные оценки запахов. Процесс оценивания по шкале цветов заключается в визуальном сравнении окрашенного предмета с образцами цветов (эталонными образцами цветов). Другими словами, множество проявлений качественного свойства может быть упорядочено по признаку близости и/или по признаку возможных качественных различий.

Шкала наименований – это самый простой тип шкал, основанный на приписывании качественным свойствам объекта чисел или имен. Такие шкалы применяют для свойств, проявляющих себя только в отношении эквивалентности, которые у различных объектов могут либо совпадать, либо не совпадать. Шкала наименований – это шкала значений неаддитивной величины.

### 2.3.2. ШКАЛА ПОРЯДКОВОЙ ВЕЛИЧИНЫ

*Шкала порядковой величины* – шкала значений величины для порядковой величины. Данная шкала характеризует упорядочение объектов

относительно какого-то определенного свойства, то есть расположение объектов в порядке убывания или возрастания данного свойства: например, шкала землетрясений, шкала твердости физических тел и т. п. Полученный при этом упорядоченный ряд называют ранжированным рядом, а саму процедуру – ранжированием.

Шкалы порядковой величины применяют для оценивания размеров порядковых величин, которые проявляют себя в отношении эквивалентности и порядка по возрастанию или убыванию количественного проявления рассматриваемого свойства. В шкалах порядковой величины обычно имеется понятие о нуле шкалы, но единицы измерения нельзя ввести в принципе, т. к. для них не установлена пропорциональность изменения размеров величины и неприменимы алгебраические операции над этими величинами. Поэтому данные величины не измеряют, а оценивают по заранее выбранным методикам в порядке возрастания или убывания размера величины.

По шкале порядковой величины сравниваются между собой однородные объекты, у которых значения интересующих свойств неизвестны. Поэтому ранжированный ряд может дать ответ на вопросы типа «Что больше (меньше)?» или «Что лучше (хуже)?». Более подробную информацию (насколько больше или меньше, во сколько раз хуже или лучше) шкала порядка дать не может, т. к. результаты, полученные по шкале порядковой величины, не могут подвергаться никаким алгебраическим операциям.

### 2.3.3. ИНТЕРВАЛЬНАЯ ШКАЛА

Измерительные шкалы интервалов применяют для измерений интервалов величин, которые в отличие от самих величин удовлетворяют отношениям эквивалентности, порядка и аддитивности. По шкале интервалов измеряют аддитивные величины. Шкала интервалов состоит из одинаковых интервалов и, как следствие, линейна и имеет единицу измерения. Ноль такой шкалы принят по соглашению, поэтому является условным. Деление шкалы интервалов на равные части-градации устанавливает единицу физической величины, что позволяет не только выразить результат измерения в числовой мере, но и оценить погрешность измерения.

На шкале интервалов откладывается разность значений величины, например шкала температур. На температурной шкале Цельсия за начало отсчета разности температур принята температура таяния льда. С ней сравниваются все другие температуры. Для удобства пользования такой шкалой интервал между температурой таяния льда и температурой кипения воды разделен на 100 равных интервалов – градусов. Шкала Цельсия распространяется в сторону как положительных, так и отрицательных интервалов. Когда говорят, что температура воздуха равна 25 °С, это означает, что она на 25 °С выше температуры, принятой за нулевую отметку шкалы. На другой шкале температур – шкале Фаренгейта – тот же интервал между температурой таяния льда и температурой кипения воды разбит на 180 градусов. Следовательно, градус Фаренгейта по размеру меньше, чем градус Цельсия. Кроме того, начало отсчета интервалов на шкале Фаренгейта сдвинуто на 32 градуса в сторону низких температур, температура таяния льда по шкале Фаренгейта составляет 32 °F, а температура кипения воды – 212 °F [23].

По шкале интервалов также определяют летоисчисление по различным календарям, в которых за точку отсчета принимается либо Рождество Христово, либо сотворение мира, либо другие варианты.

В общем случае по шкале интервалов размер величины  $Q$  может быть определен по шкале интервалов на основании уравнения:

$$Q = Q_0 + q [Q],$$

где  $Q_0$  – начало отсчета;

$[Q]$  – единица измерения;

$q$  – числовые значения величины.

Результаты измерений по шкале интервалов можно складывать друг с другом и вычитать друг из друга, т. е. определять, насколько одно значение величины больше или меньше другого. Определить по шкале интервалов, во сколько раз одно значение величины больше или меньше другого, невозможно, поскольку на шкале не определено естественное начало отсчета физической величины.

### 2.3.4. ШКАЛА ОТНОШЕНИЙ

В шкале отношений используется деление диапазона параметра на равные отрезки аналогично интервальной шкале. Отличие состоит в том, что предусматривается нулевая отметка, символизирующая то, что в данной точке свойство не проявляется или его интенсивность нулевая. Другими словами, имеется естественное нулевое значение.

Шкала отношений является самой совершенной и наиболее информативной. Она представляет собой интервальную шкалу с естественным нулевым началом и единицей измерения, которая реализуется через уравнение связи между величинами в конкретной измерительной задаче:

$$H(Y, X_1, \dots, X_n) = 0,$$

где  $Y$  – выходная величина в модели измерений, которая является измеряемой величиной, значение которой должно быть получено;

$X_1, \dots, X_n$  – информация о входных величинах в модели измерений.

С помощью этих шкал измеряются аддитивные величины, для которых справедливы отношения эквивалентности, порядка и аддитивности, а также определены все арифметические и алгебраические операции: сложение, вычитание, умножение, деление и др.

Примерами величин, для которых используют шкалы отношений, являются масса, длина, термодинамическая температура (шкала Кельвина), сила электрического тока, электрическое напряжение и т. д. Иначе говоря, измерить какую-либо величину по шкале отношений – значит найти ее отношение к соответствующей единице измерения. В данном случае размер величины  $Q$  может быть описан уравнением:

$$Q = q [Q],$$

где  $[Q]$  – единица измерения величины;

$q$  – числовые значения величины.

### 2.2.5. Абсолютная шкала

Для аддитивных величин, для которых справедливы отношения эквивалентности, порядка и аддитивности, которые имеют естественное определение единицы измерения, не зависящее от принятой системы единиц, используют понятие «абсолютная шкала». Абсо-

лютные шкалы обладают всеми признаками шкал отношений, но дополнительно в них существует естественное однозначное определение единицы измерений. Такие шкалы используются для измерения относительных и логарифмических величин, например коэффициентов усиления или ослабления, КПД, коэффициентов отражений и поглощений, уровня шума и др. Результаты измерений в абсолютных шкалах могут выражаться в относительных единицах: процентах, промилле, децибелах, фонах.

С результатами, полученными по абсолютной шкале, можно выполнять все арифметические действия: сложение, вычитание, умножение, деление и др.

Все рассмотренные измерительные шкалы реализуются через стандартизацию самих шкал единиц измерений и в необходимых случаях – способов и условий их однозначного воспроизведения.

## 2.4. МЕЖДУНАРОДНАЯ СИСТЕМА ЕДИНИЦ СИ

По своей природе физические величины разделяют на основные и производные. В соответствии с данным подходом единицы величин также разделяют на основные и производные, образующие систему единиц.

*Система единиц (System of Units)* – совокупность основных и производных единиц вместе с их кратными и дольными единицами, определенными в соответствии с установленными правилами для данной системы единиц [40].

*Основная величина (Base Quantity)* – единица измерения, принятая по соглашению для основной величины. Основная величина – это одна из величин из подмножества, выбранного для данной системы величин так, что никакая из величин этого подмножества не может выражаться через другие величины [8].

*Производная величина (Derived Quantity)* – единица измерения для производной величины. Производная величина – это величина, входящая в систему величин и определяемая через основные величины этой системы [40].

В настоящее время в различных сферах деятельности применяют различные системы единиц. Так, например, в некоторых разделах теоретической физики используют системы единиц, основанные на атомных постоянных: система Планка, система Хартри и др.

Однако самое широкое распространение в мире получила действующая в настоящее время Международная система единиц СИ (SI – от франц. *Système International d'Unités*, англ. *The International System of Units*). Система единиц СИ принята в 1960 году XI Генеральной конференцией по мерам и весам (ГКМВ). На территории нашей страны система единиц СИ действует с 1 января 1982 года. Ее достоинствами являются:

- универсальность;
- возможность воспроизведения единиц с высокой точностью;
- унификация всех областей и видов измерения;
- упрощение записи формул и уменьшение числа допускаемых единиц;
- единая система образования кратных и дольных единиц, имеющих собственные наименования.

*Международная система единиц СИ* – система единиц, основанная на *Международной системе величин* вместе с наименованиями и обозначениями, а также набором приставок и их наименованиями и обозначениями вместе с правилами их применения, принятая Генеральной конференцией по мерам и весам [40].

В 2018 году на 26-м заседании Генеральной конференции по мерам и весам в Международной системе единиц были установлены следующие константы, определяющие систему единиц СИ:

- частота сверхтонкого расщепления невозмущенного основного состояния атома цезия-133;
- скорость света в вакууме;
- постоянная Планка  $h$ ;
- элементарный заряд  $e$ ;
- постоянная Больцмана  $k$ ;
- постоянная Авогадро  $N_A$ ;
- световая эффективность монохроматического излучения частотой  $540 \cdot 10^{12}$  Гц  $K_{cd}$ .

Численные значения семи определяющих констант не имеют неопределенности. Именно через эти константы определяются основные единицы системы СИ. При определении СИ фиксацией численных значений определяющих констант разделения на основные и производные единицы в принципе больше не требуется. Тем не менее оно сохраняется для удобства и по историческим причинам.

В соответствии с ГОСТ 8.417-2024 «Государственная система обеспечения единства измерений. Единицы величин», который введен в действие 30.09.2024 г., в настоящее время приняты следующие определения основных единиц [10].

$T$  – время. Единица измерения – секунда. Определяется путем принятия фиксированного числового значения частоты перехода сверхтонкого расщепления невозмущенного основного состояния атома цезия-133  $\Delta\nu_{Cs}$  равным 9192631770, при выражении в единице Гц, что соответствует  $s^{-1}$ .

$L$  – длина. Единица измерения – метр. Определяется путем принятия фиксированного числового значения скорости света в вакууме равным 299792458 при выражении в единице  $m \cdot s^{-1}$ , где секунда определяется через частоту перехода в цезии  $\Delta\nu_{Cs}$ .

$M$  – масса. Единица измерения – килограмм. Определяется путем принятия фиксированного числового значения постоянной Планка  $h$  равным  $6,626\,970\,15 \cdot 10^{-34}$  при выражении в единице Дж·с, что соответствует  $\text{кг} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$ , где метр и секунда определяются через  $c$  и  $\Delta\nu_{\text{Cs}}$ .

$I$  – сила электрического тока. Единица измерения – ампер. Определяется путем принятия фиксированного числового значения элементарного заряда  $e$  равным  $1,602176634 \cdot 10^{-19}$  при выражении в единице Кл, что соответствует А·с, где секунда определяется через  $\Delta\nu_{\text{Cs}}$ .

$\theta$  – термодинамическая температура. Единица измерения – кельвин. Определяется путем принятия фиксированного числового значения постоянной Больцмана  $k$  равным  $1,380\,649 \cdot 10^{-23}$  при выражении в единице Дж·К<sup>-1</sup>, что соответствует  $\text{кг} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{с}^{-2} \cdot \text{К}^{-1}$ , где килограмм, метр, секунда определяются через  $h$ ,  $c$  и  $\Delta\nu_{\text{Cs}}$ .

$N$  – количество вещества. Единица измерения – моль. Один моль содержит точно  $6,022\,140\,76 \cdot 10^{23}$  структурных элементов. Это число есть фиксированное числовое значение постоянной Авогадро  $N_{\text{д}}$ , выраженное в единице моль<sup>-1</sup> и называемое числом Авогадро. Количество вещества в системе является мерой количества конкретных структурных элементов. Структурными элементами могут быть атомы, молекулы, ионы, электроны и любые другие частицы или определенные группы частиц.

$J$  – сила света. Единица измерения – кандела. Определяется путем принятия фиксированного числового значения световой эффективности монохроматического излучения частотой  $540 \cdot 10^{12}$  Гц  $K_{\text{cd}}$  равным 683 в единице  $\text{лм} \cdot \text{Вт}^{-1}$ , или  $\text{кд} \cdot \text{ср} \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^3$ , где килограмм, метр и секунда определяются через  $h$ ,  $c$  и  $\Delta\nu_{\text{Cs}}$ .

Формализованным отражением качественного различия измеряемых величин является их размерность. В системе СИ выбраны семь основных физических величин со следующими размерностями.

*Размерность (Dimension of a Quantity)* – выражение в форме степенного одночлена, составленного из произведений символов основных величин в различных степенях и отражающее связь данной физической величины с величинами, принятыми в данной системе за основные с коэффициентом пропорциональности, равным 1. Таким образом, размерность производной величины  $Q$  обозначается следующим образом:

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

где  $L, M, T, I, \theta, N, J$  – размерности основных величин: длины, массы, времени, силы электрического тока, термодинамической температуры, количества вещества и силы света соответственно;

$\alpha, \beta, \gamma, \delta, \epsilon, \zeta, \eta$  – показатели размерности физических величин (показатели степени, в которую возведены размерности основных величин).

Каждый показатель размерности может быть положительным или отрицательным, целым, дробным или равным нулю. Если все показатели размерности равны нулю, то величина называется безразмерной.

Над размерностями можно проводить действия умножения, деления, возведения в степень и извлечения корня, при этом следует подчеркнуть, что одна и та же размерность может быть присуща величинам, имеющим разную качественную природу и различающимся между собой по форме определяющих их уравнений. Например, путь, пройденный автомобилем, и длина окружности в качественном отношении являются длинами, но определяются совершенно разными уравнениями.

В системе СИ используют:

- производные единицы СИ, имеющие специальные наименование и обозначение;
- производные единицы СИ, наименование и обозначение которых образованы с использованием специальных наименований и обозначений;
- внесистемные единицы, допустимые к применению наряду с единицами СИ;
- относительные и логарифмические величины и их единицы;
- внесистемные единицы, временно допустимые к применению.

В таблице 2.2 приведены примеры производных единиц СИ, наименование и обозначение которых образованы с использованием наименований и обозначений основных единиц СИ. Производные единицы системы СИ, имеющие специальные наименования, также могут быть использованы для образования других производных единиц. Например, паскаль – эта производная единица, которая образована производными единицами – ньютоном и метром квадратным.

В таблице 2.3 приведены примеры производных единиц СИ, имеющих специальное наименование и обозначение.

В таблице 2.4 приведены примеры производных единиц СИ, наименования и обозначения которых образованы с использованием специальных наименований и обозначений, указанных в таблице 2.3.

Таблица 2.1. Обозначение основных единиц системы СИ

| Величина                      |                         | Единица      |             |               |
|-------------------------------|-------------------------|--------------|-------------|---------------|
| Наименование                  | Обозначение размерности | Наименование | Обозначение |               |
|                               |                         |              | Русское     | Международное |
| Время                         | $T$                     | секунда      | с           | s             |
| Длина                         | $L$                     | метр         | м           | m             |
| Масса                         | $M$                     | килограмм    | кг          | kg            |
| Сила электрического тока      | $I$                     | ампер        | А           | A             |
| Термодинамическая температура | $\theta$                | кельвин      | К           | K             |
| Количество вещества           | $N$                     | моль         | моль        | mol           |
| Сила света                    | $J$                     | кандела      | кд          | cd            |

Таблица 2.2. Примеры производных единиц СИ, наименование и обозначение которых образованы с использованием наименований и обозначений основных единиц СИ

| Величина                      |                         | Единица                      |                   |                     |
|-------------------------------|-------------------------|------------------------------|-------------------|---------------------|
| Наименование                  | Обозначение размерности | Наименование                 | Обозначение       |                     |
|                               |                         |                              | Русское           | Международное       |
| Площадь                       | $L^2$                   | Квадратный метр              | $m^2$             | $m^2$               |
| Объем, вместимость            | $L^3$                   | Кубический метр              | $m^3$             | $m^3$               |
| Скорость                      | $LT^{-1}$               | Метр в секунду               | $m \cdot c^{-1}$  | $m \cdot s^{-1}$    |
| Ускорение                     | $LT^{-2}$               | Метр на секунду в квадрате   | $m \cdot c^{-2}$  | $m \cdot s^{-2}$    |
| Плотность, массовая плотность | $L^{-3}M$               | Килограмм на кубический метр | $kg \cdot m^{-3}$ | $kg \cdot m^{-3}$   |
| Удельный объем                | $L^3M^{-1}$             | Кубический метр на килограмм | $m^3 kg^{-1}$     | $m^3 \cdot kg^{-1}$ |
| Напряженность магнитного поля | $L^{-1}I$               | Ампер на метр                | $A \cdot m^{-1}$  | $A \cdot m^{-1}$    |

Таблица 2.3. Примеры производных единиц, имеющих специальные наименования и обозначения

| Наименование величины                                                                                       | Наименование единицы | Обозначение единицы |               | Выражение через основные и производные единицы СИ                 |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|---------------------|---------------|-------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                             |                      | Русское             | Международное |                                                                   |
| Плоский угол                                                                                                | радиан               | рад                 | rad           | м/м                                                               |
| Телесный угол                                                                                               | стерадиан            | ср                  | sr            | м <sup>2</sup> /м <sup>2</sup>                                    |
| Частота                                                                                                     | герц                 | Гц                  | Hz            | с <sup>-1</sup>                                                   |
| Сила                                                                                                        | ньютон               | Н                   | N             | кг·м·с <sup>-2</sup>                                              |
| Давление                                                                                                    | паскаль              | Па                  | Pa            | кг·м <sup>-1</sup> ·с <sup>-2</sup>                               |
| Энергия, работа, количество теплоты                                                                         | джоуль               | Дж                  | J             | кг·м <sup>2</sup> ·с <sup>-2</sup>                                |
| Мощность                                                                                                    | ватт                 | Вт                  | W             | кг·м <sup>2</sup> ·с <sup>-3</sup>                                |
| Электрическое напряжение, электрический потенциал, разность электрических потенциалов, электродвижущая сила | вольт                | В                   | V             | кг·м <sup>2</sup> ·с <sup>-3</sup> ·А <sup>-1</sup>               |
| Электрическая емкость                                                                                       | фарад                | Ф                   | F             | кг <sup>-1</sup> ·м <sup>-2</sup> ·с <sup>4</sup> ·А <sup>2</sup> |
| Электрическое сопротивление                                                                                 | ом                   | Ом                  | Ω             | кг·м <sup>2</sup> ·с <sup>-3</sup> ·А <sup>-2</sup>               |

В таблице 2.5 приведены внесистемные единицы, допустимые к применению наравне с единицами СИ.

В таблице 2.6 приведены некоторые относительные и логарифмические величины, используемые в СИ.

В таблице 2.7 приведены внесистемные единицы, временно допустимые к применению.

Для удобства применения единиц физических величин СИ приняты приставки для образования десятичных кратных (больших) и дольных (меньших) единиц, множители и приставки которых приведены в табл. 2.8.

*Кратная единица* – это единица величины в целое число раз больше системной или внесистемной единицы, а *дольная единица* – в целое число раз меньше системной или внесистемной единицы. Множители и приставки, используемые для образования наименований и обозначений десятичных кратных и дольных единиц СИ, приведены в таблице 2.8.

Таблица 2.4. Примеры производных единиц СИ, наименования и обозначения которых образованы с использованием специальных наименований и обозначений

| Наименование производной величины                | Наименование единицы      | Обозначение единицы |                  | Выражение через основные и производные единицы СИ                 |
|--------------------------------------------------|---------------------------|---------------------|------------------|-------------------------------------------------------------------|
|                                                  |                           | Русское             | Международное    |                                                                   |
| Момент силы                                      | ньютон-метр               | Н·м                 | N·m              | кг·м <sup>2</sup> ·с <sup>-2</sup>                                |
| Поверхностное натяжение                          | ньютон на метр            | Н/м                 | N/m              | кг·с <sup>-2</sup>                                                |
| Динамическая вязкость                            | паскаль-секунда           | Па·с                | Pa s             | кг·м <sup>-1</sup> ·с <sup>-1</sup>                               |
| Пространственная плотность электрического заряда | кулон на кубический метр  | Кл/м <sup>3</sup>   | C/m <sup>3</sup> | А·с·м <sup>-3</sup>                                               |
| Напряженность электрического тока                | вольт на метр             | В/м                 | V/m              | кг·м <sup>-1</sup> ·с <sup>-2</sup>                               |
| Диэлектрическая проницаемость                    | фарад на метр             | Ф/м                 | F/m              | кг <sup>-1</sup> ·м <sup>-3</sup> ·с <sup>4</sup> ·А <sup>2</sup> |
| Магнитная проницаемость                          | генри на метр             | Гн/м                | H/m              | кг·м·с <sup>-2</sup> ·А <sup>-2</sup>                             |
| Удельная энергия                                 | джоуль на килограмм       | Дж/кг               | J/kg             | м <sup>2</sup> ·с <sup>-2</sup>                                   |
| Плотность энергии, удельная теплота сгорания     | джоуль на кубический метр | Дж/м <sup>3</sup>   | J/m <sup>3</sup> | кг·м <sup>-1</sup> ·с <sup>-2</sup>                               |

Таблица 2.5. Внесистемные единицы, допустимые к применению наравне с единицами СИ

| Наименование величины                         | Наименование единицы           | Обозначение единицы |               | Соотношение с единицей СИ                                                                                                                | Область применения                            |
|-----------------------------------------------|--------------------------------|---------------------|---------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
|                                               |                                | Русское             | Международное |                                                                                                                                          |                                               |
| Масса                                         | тонна                          | т                   | t             | $1 \text{ т} = 10^3 \text{ кг}$                                                                                                          | Все области                                   |
|                                               | атомная единица                | а.е.м.<br>дальтон   | u<br>dalton   | $1 \text{ а.е.м.} = 1,66053906660 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$                                                                             | Атомная физика                                |
| Время                                         | минута<br>час<br>сутки         | мин.<br>ч<br>сут.   | min<br>h<br>d | $1 \text{ мин.} = 60 \text{ с}$<br>$1 \text{ ч} = 60 \text{ мин.} = 3600 \text{ с}$<br>$1 \text{ сут.} = 24 \text{ ч} = 86400 \text{ с}$ | Все области                                   |
| Плоский угол                                  | градус<br>минута<br>секунда    | °<br>'<br>"         | °<br>'<br>"   | $1^\circ = (\pi/180) \text{ рад}$<br>$1' = (1/60)^\circ$<br>$1'' = (1/60)'$                                                              | Все области                                   |
|                                               | град (гон)                     | град                | gon           | $1 \text{ град} = (\pi/200) \text{ рад}$                                                                                                 | Геодезия                                      |
|                                               | литр                           | л                   | l             | $1 \text{ л} = 10^{-3} \text{ м}^3$                                                                                                      | Все области                                   |
| Длина                                         | астрономическая единица        | а.е.                | ua            | $1 \text{ а.е.} = 149597870700 \text{ м}$                                                                                                | Астрономия                                    |
|                                               | световой год                   | св. год             | ly            | $1 \text{ св. год} = 9460730472580800 \text{ м}$                                                                                         |                                               |
|                                               | парсек                         | пк                  | pc            | $1 \text{ пк} = 3,085677 \cdot 10^{16} \text{ м (приблиз.)}$                                                                             |                                               |
| Оптическая сила                               | диоптрия                       | дптр                | -             | $1 \text{ дптр} = 1 \text{ м}^{-1}$                                                                                                      | Оптика                                        |
| Площадь                                       | гектар                         | га                  | ha            | $1 \text{ га} = 10^4 \text{ м}^2$                                                                                                        | Сельское и лесное хозяйство                   |
| Энергия                                       | электрон-вольт<br>киловатт-час | эВ<br>кВт-ч         | eV<br>kWh     | $1 \text{ эВ} = 1,602176634 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$<br>$1 \text{ кВт-ч} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ Дж}$                                  | Физика<br>Для счетчиков электрической энергии |
| Полная мощность                               | вольт-ампер                    | В·А                 | V·A           |                                                                                                                                          | Электротехника                                |
| Реактивная мощность                           | вар                            | вар                 | var           |                                                                                                                                          | Электротехника                                |
| Электрический заряд, количество электричества | ампер-час                      | А·ч                 | Ah            | $1 \text{ А·ч} = 3,6 \cdot 10^3 \text{ Кл}$                                                                                              | Электротехника                                |

Таблица 2.6. Некоторые относительные и логарифмические величины и их единицы

| Наименование величины                                                                                                                                                                                              | Наименование единицы                              | Обозначение единицы              |                    | Значение                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|----------------------------------|--------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                                                                                                                    |                                                   | Русское                          | Международное      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| 1. Относительная величина:<br>КПД; относительное удлинение; относительная плотность; деформация; относительная диэлектрическая и магнитная проницаемость, массовая доля компонента; молярная доля компонента и др. | единица<br>процент<br>промилле<br>миллионная доля | 1<br>%<br>‰<br>млн <sup>-1</sup> | 1<br>%<br>‰<br>ppm | 1<br>$1 \cdot 10^{-2}$<br>$1 \cdot 10^{-3}$<br>$1 \cdot 10^{-6}$                                                                                                                                                                                                                                        |
| 2. Логарифмическая величина:<br>уровень звукового давления;<br>усиление; ослабление                                                                                                                                | бел<br>децибел                                    | Б<br>дБ                          | В<br>дВ            | $1 \text{ Б} = \lg (P_2/P_1)$ при $P_2 = 10 \cdot P_1$ ,<br>где $P_1$ и $P_2$ – одноименные энергетические величины: мощность, энергия и др.<br>$1 \text{ Б} = 2 \lg (F_2/F_1)$ при $F_2 = \sqrt{10} F_1$ ,<br>где $F_1$ и $F_2$ – одноименные «силовые» величины: напряжение, сила тока и др.<br>0,1 Б |
| 3. Логарифмическая величина:<br>уровень громкости                                                                                                                                                                  | фон                                               | фон                              | phon               | 1 phon равен громкости звука, для которого уровень звукового давления равногромкого с ним звука частотой 1000 Hz равен 1 дБ                                                                                                                                                                             |

Таблица 2.7. Внесистемные единицы, временно допустимые к применению

| Наименование величины | Наименование единицы          | Обозначение единицы |               | Соотношение с единицей СИ                    | Область применения                                                    |
|-----------------------|-------------------------------|---------------------|---------------|----------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
|                       |                               | Русское             | Международное |                                              |                                                                       |
| Длина                 | морская миля                  | миля                | n mile        | 1852 м (точно)                               | Морская, авиационная навигация                                        |
|                       | фут                           | фт                  | ft            | 0,3048 м (точно)                             | Авиационная навигация                                                 |
|                       | ангстрем                      | Å                   | Å             | $10^{-10}$ м                                 | Физика, оптика                                                        |
| Масса                 | карат                         | кар                 | -             | $2 \cdot 10^{-4}$ кг                         | Добыча и производство драгоценных камней и жемчуга                    |
| Линейная плотность    | текс                          | текс                | tex           | $10^{-6}$ кг/м (точно)                       | Текстильная промышленность                                            |
| Скорость              | узел                          | уз                  | kn            | 0,514 м/с                                    | Морская навигация                                                     |
| Ускорение             | гал                           | Гал                 | Gal           | $0,01 \text{ м/с}^2$                         | Гравиметрия                                                           |
| Частота вращения      | оборот в секунду              | об/с                | r/s           | $1 \text{ с}^{-1}$                           | Электротехника                                                        |
|                       | оборот в минуту               | об/мин              | r/min         | $1/60 \text{ с}^{-1} = 0,016 \text{ с}^{-1}$ |                                                                       |
| Давление              | бар миллиметр ртутного столба | бар мм. рт. ст.     | bar mm Hg     | $10^5 \text{ Па}$<br>133,3224 Па             | Физика, промышленность, медицина, метеорология, авиационная навигация |

Таблица 2.8. Множители и приставки, используемые для образования наименований и обозначений десятичных кратных и дольных единиц СИ

| Десятичный множитель | Приставка | Обозначение приставки |               |
|----------------------|-----------|-----------------------|---------------|
|                      |           | Русское               | Международное |
| 10                   | дека      | да                    | da            |
| 10 <sup>2</sup>      | гекто     | г                     | h             |
| 10 <sup>3</sup>      | кило      | к                     | k             |
| 10 <sup>6</sup>      | мега      | М                     | M             |
| 10 <sup>9</sup>      | гига      | Г                     | G             |
| 10 <sup>12</sup>     | тера      | Т                     | T             |
| 10 <sup>15</sup>     | пета      | П                     | P             |
| 10 <sup>18</sup>     | экса      | Э                     | E             |
| 10 <sup>21</sup>     | зетта     | З                     | Z             |
| 10 <sup>24</sup>     | иотта     | И                     | Y             |
| 10 <sup>27</sup>     | ронна     | Рн                    | R             |
| 10 <sup>30</sup>     | кветта    | Кв                    | Q             |
| 10 <sup>-1</sup>     | деци      | д                     | D             |
| 10 <sup>-2</sup>     | санتي     | с                     | C             |
| 10 <sup>-3</sup>     | милли     | м                     | M             |
| 10 <sup>-6</sup>     | микро     | мк                    | μ             |
| 10 <sup>-9</sup>     | нано      | н                     | n             |
| 10 <sup>-12</sup>    | пико      | п                     | p             |
| 10 <sup>-15</sup>    | фемто     | ф                     | f             |
| 10 <sup>-18</sup>    | атто      | а                     | a             |
| 10 <sup>-21</sup>    | зепто     | з                     | z             |
| 10 <sup>-24</sup>    | иокто     | и                     | y             |
| 10 <sup>-27</sup>    | ронто     | рн                    | r             |
| 10 <sup>-30</sup>    | квекто    | кв                    | q             |

Приставки набирают прямым шрифтом, как и обозначения единиц, вне зависимости от шрифта, без пробела между ними и символом для единицы. Все кратные приписки пишут с прописной (заглавной) буквы за исключением дека (да), гекто (г) и кило (к), а дольные – со строчной (маленькой) буквы. При выборе кратных и дольных единиц предпочтение отдают единицам, в которых показатель степени  $n$  десятичного множителя кратности или дольности кратен 3.

Для снижения вероятности ошибок при расчетах десятичные кратные и дольные единицы рекомендуется подставлять только в конечный результат, а в процессе вычислений все величины выражать в единицах СИ, заменяя приставки степенями числа 10.

Примеры правильного написания обозначения кратных и дольных единиц приведены в таблице 2.9.

Таблица 2.9. Примеры правильного написания обозначения единиц

| Правильно                      | Неправильно                |
|--------------------------------|----------------------------|
| 100 кВт                        | 100 кВт                    |
| 80 %                           | 80 %                       |
| 20 °С                          | 20 °C                      |
| $(1/60) \cdot \text{с}^{-1}$   | $1/60/\text{с}^{-1}$       |
| $(100,0 \pm 0,1) \text{ кг}$   | $100,0 \pm 0,1 \text{ кг}$ |
| $50 \text{ г} \pm 1 \text{ г}$ | $50 \pm 1 \text{ г}$       |
| Вт/(м·К)                       | Вт/м·К                     |
| 80 км/ч                        | 80 км/час                  |
| От 10 кг до 100 кг             | От 10 до 100 кг            |
| От 10 °С до 100 °С             | От 10° до 100 °C           |

В современных условиях развивающейся цифровой экономики используются единицы количества информации для записи объема памяти запоминающих устройств, количества памяти, используемой компьютерной программой (таблица 2.10).

Таблица 2.10. Единицы количества информации

| Наименование величин  | Наименование единицы | Обозначение единицы |               | Значение    | Примечание                                      |
|-----------------------|----------------------|---------------------|---------------|-------------|-------------------------------------------------|
|                       |                      | Русское             | Международное |             |                                                 |
| Количество информации | бит                  | бит                 | bit           | 1           | Единица информации в двоичной системе счисления |
|                       | байт                 | Б (байт)            | В (byte)      | 1 Б = 8 бит |                                                 |

Единицы бит и байт применяют с приставками СИ либо специальными кратными приставками для двоичных множителей [11].

## ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Перечислите основные задачи метрологии.
2. Какие величины можно отнести к реальным, а какие – к идеальным? Приведите примеры.
3. Что такое род величины?
4. В чем заключается отличие между истинным и действительным значением величины?
5. Приведите примеры аддитивной, неаддитивной и порядковой величины.
6. Перечислите типы основных шкал для определения значения величины.
7. По каким шкалам определяют значение аддитивной, неаддитивной и порядковой величины?
8. Понятие основной и производной величины в системе единиц.
9. Примеры основных и производных величин в Международной системе единиц СИ.
10. Кратные и дольные единицы в системе СИ.
11. Силе тока 0,1 А соответствуют следующие значения (требуется более одного ответа):
  - 11.1. 1 мА
  - 11.2. 100 мА
  - 11.3. 0,001 мА
  - 11.4. 0,01 мА
  - 11.5. 1 дА
12. Работа определяется по уравнению  $A = F \cdot l$ , где сила  $F = m \cdot a$ ,  $m$  – масса,  $a$  – ускорение,  $l$  – длина перемещения. Как можно записать уравнение размерности для  $A$  через основные единицы системы СИ?
  - 12.1.  $L^2MT^{-2}$
  - 12.2.  $MT^{-2}$
  - 12.3.  $L^3MT^{-2}$
  - 12.4.  $L^2M$ .
13. Давление определяется по уравнению  $p = F/S$ , где  $F = m \cdot a$ ,  $m$  – масса,  $a$  – ускорение,  $S$  – площадь поверхности, воспринимающей усилие  $F$ . Как можно записать уравнение размерности для  $p$  через основные единицы системы СИ?

13.1.  $L^{-1}MT^{-2}$

13.2.  $LMT^{-2}$

13.3.  $L^3MT^{-2}$

13.4.  $MT^{-2}$ .

14. Какому множителю соответствует используемая для образования наименования величины приставка микро?

14.1.  $10^{-1}$

14.2.  $10^{-2}$

14.3.  $10^{-3}$

14.4.  $10^{-6}$

14.5.  $10^2$

14.6.  $10^3$

14.7.  $10^6$

15. Какому множителю соответствует используемая для образования наименования величины приставка кило?

15.1.  $10^{-1}$

15.2.  $10^{-2}$

15.3.  $10^{-3}$

15.4.  $10^{-6}$

15.5.  $10^2$

15.6.  $10^3$

15.7.  $10^6$

## ГЛАВА 3. ИЗМЕРЕНИЯ

---

### 3.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Метрология как наука об измерениях содержит философский, научный и технический аспекты.

*Философский аспект* метрологии обусловлен тем, что измерения являются важнейшим универсальным методом познания физических явлений и процессов, через *научный аспект* измерений осуществляется связь теории с практикой, *технический аспект* обеспечивает получение количественной информации об объекте управления или контроля.

При этом следует понимать, что *измеряемая величина существует лишь в рамках принятой модели измерений*.

*Модель измерений (Model of Measurement)* – уравнение связи между величинами в конкретной измерительной задаче [8].

В общем виде модель измерений представляет собой следующее уравнение:

$$h = (Y, X_1, \dots, X_n) = 0,$$

где  $Y$  – выходная величина в модели измерений;

$X_1, \dots, X_n$  – информация о входных величинах в модели измерения.

В простейшем случае выходная величина  $Y$  в модели измерений может быть записана в явном виде как

$$Y = f(X_1, \dots, X_n),$$

где  $f$  – функция измерений.

В общем случае  $f$  может обозначать алгоритм, по которому для значений входных величин  $X_1, \dots, X_n$  получается соответствующее единственное значение выходной величины  $Y = f(X_1, \dots, X_n)$ .

В любой модели измерения конкретная процедура выполнения измерений рассматривается как последовательность сложных

и разнородных действий, состоящих из ряда этапов, которые могут существенно различаться по числу, виду и трудоемкости выполняемых операций. В каждом конкретном случае соотношение и значимость каждого из этапов измерения могут заметно меняться, но четкое выделение этапов и осознанное выполнение необходимого и достаточного числа выполняемых действий измерения приводит к оптимизации процесса реализации измерений и устранению соответствующих методических ошибок. К числу основных этапов измерения относятся следующие:

- постановка измерительной задачи;
- планирование измерений;
- проведение измерительного эксперимента;
- обработка экспериментальных данных.

Качество подготовки измерения всегда зависит от того, в какой степени была получена и использована необходимая априорная информация, т. к. ошибки, допущенные при подготовке измерений, с трудом обнаруживаются и корректируются на последующих этапах.

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

Результатом измерения является оценка величины в виде некоторого числа принятых для нее единиц.

## 3.2. ВИДЫ ИЗМЕРЕНИЙ

*Измерение величины (Measurement)* – процесс экспериментального получения одного и более значений величины, которые могут быть обоснованно приписаны измеряемой величине [40].

Измерение предусматривает описание величины в соответствии с предполагаемым использованием результата измерения, а также использованием методики измерений и средства измерений, которые функционируют в соответствии с регламентированной методикой измерений и с учетом условий измерений.

Цель измерения – получение определенной физической величины в форме, наиболее удобной для пользования. Любое измерение заключается в сравнении данной величины с некоторым ее значением, принятым за единицу измерения. Такой подход выработан практикой измерений, исчисляемой сотнями лет. Еще великий математик Л. Эйлер утверждал, что невозможно определить или измерить одну величину иначе как, приняв в качестве известной другую величину этого же рода и указав соотношение, в котором они находятся [50].

Измерения как экспериментальные процедуры весьма разнообразны и могут быть классифицированы по разным признакам (рис. 3.1).

1. По способу получения результата выделяют прямые, косвенные, совокупные и совместные измерения.

*Прямое измерение (Direct Measurement)* – это измерение, при котором искомое значение величины получают непосредственно от средства измерения [40]. При таком измерении искомое значение находится непосредственно по показаниям средства измерения при сравнении рассматриваемой физической величины с ее мерой. В современных приборах микропроцессорной техники операция вычислений может представлять внутреннюю неотделимую процедуру, в таком случае измерения, проведенные с помощью такого измерительного прибора, должны быть отнесены к прямым. К простейшим примерам прямых измерений можно отнести измерение длины детали микрометром, измерение силы тока амперметром, измерение массы на весах.

*Косвенное измерение (Indirect Measurement)* – измерение, при котором искомое значение величины определяют на основании результа-

тов прямых измерений других величин, функционально связанных с искомой величиной [8]. Так, если измерить силу тока  $I$  амперметром, а напряжение  $U$  вольтметром, то по известной взаимосвязи трех величин можно рассчитать мощность электрической цепи ( $P = UI$ ). Другой пример – определение плотности тела цилиндрической формы по результатам прямых измерений массы  $m$ , высоты  $h$  и диаметра цилиндра  $d$ , связанных с плотностью уравнением:

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

Довольно часто вместо термина «косвенные измерения» применяют термин «метод косвенных измерений».

Совокупные измерения – это проводимые одновременно измерения нескольких одноименных величин, при которых искомые значения величин определяют путем решения системы уравнений, получаемых при измерении этих величин в различных сочетаниях [40]. Классический пример выполнения совокупных измерений – это определение веса каждой гири из набора по одной эталонной гире, проводимое путем измерений гирь в различных сочетаниях этого набора и решения полученных уравнений. Для определения значений искомых величин число уравнений должно быть не меньше числа величин. При этом, как правило, в модели совокупных измерений несколько выходных величин.

В качестве еще одного примера косвенных измерений можно рассмотреть один из методов определения взаимной индуктивности между двумя катушками. Имеются катушки с индуктивностями  $L_1$  и  $L_2$ . Для получения исходного результата сначала катушки соединяют так, чтобы их магнитные поля складывались, при этом общая индуктивность  $L_{01} = L_1 + L_2 + 2M$ , где  $M$  – взаимная индуктивность между катушками. Затем катушки соединяют так, чтобы их магнитные поля вычитались. В этом случае общая индуктивность  $L_{02} = L_1 + L_2 - 2M$ . Значения  $L_{01}$  и  $L_{02}$  получают с помощью прямых измерений. Решение системы уравнений позволяет найти искомую величину  $M$ , которая измеряется в Генри,  $M = (L_{01} - L_{02}) / 4$ .

*Совместные измерения* – это проводимые одновременно измерения двух или нескольких неоднородных величин для определения зависимости между ними [40].

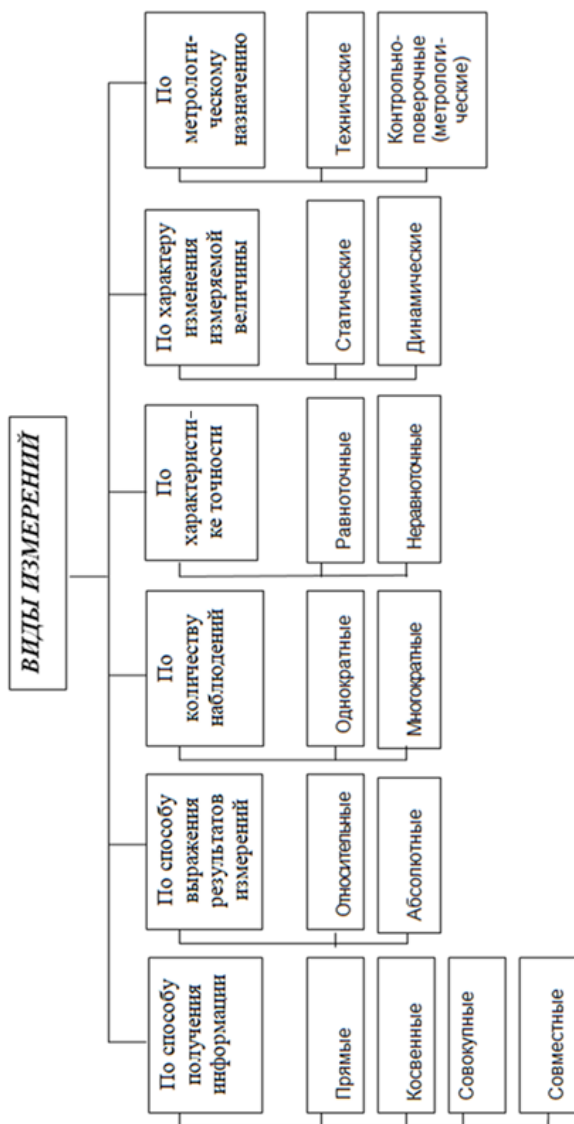


Рис. 3.1. Виды измерений

Отличие совместных и совокупных измерений заключается в том, что при совокупных измерениях одновременно определяется несколько одноименных величин, а при совместных – несколько неоднородных величин. Как правило, модель совместных измерений объединяет параметрическую зависимость между измеряемыми величинами и алгоритм оценки параметров данной зависимости на основе результатов. Например, на основании ряда одновременных измерений приращений длины  $\Delta l$  образца в зависимости от изменений его температуры  $\Delta t$  определяют коэффициент  $k$  линейного расширения образца  $k = \Delta l / (l \cdot \Delta t)$ . В данном случае были измерены неоднородные физические величины.

2. По характеру выражения результатов все измерения делят на абсолютные и относительные.

*Абсолютное измерение (Absolute Measurement)* – это измерение, основанное на прямых измерениях одной или нескольких основных величин и (или) использовании значений физических констант [8]. Например, измерение энергии  $E = mc^2$  по формуле является абсолютным измерением (масса относится к основным величинам, которая может быть измерена прямым взвешиванием, а скорость света является физической константой) или измерение силы  $F = mg$  основано на измерении основной величины  $m$  и использовании физической постоянной  $g$ .

*Относительное измерение (Relative Measurement)* – это измерение отношения одноименных величин или функций этого отношения [40]. Относительные измерения дают более точные результаты, чем абсолютные, так как не содержат погрешности меры величины. Пример – измерение активности радионуклида в источнике по отношению к активности радионуклида в однотипном источнике, аттестованном в качестве эталонного результата от выбранной единицы измерения, меры активности. Однако надо иметь в виду, что может существовать зависимость результата от выбранной единицы измерения.

3. По числу измерений.

*Однократное измерение* – это измерение, выполненное один раз. Во многих случаях на практике выполняются только однократные измерения: например, измерение конкретного момента времени по часам. В обычных условиях их точность вполне приемлема, а про-

стота, высокая производительность и низкая стоимость ставят их вне конкуренции. Однако при использовании этого вида измерений велика вероятность грубой ошибки – промаха. Поэтому рекомендуется выполнять не менее двух или трех измерений.

*Множественное измерение* – это измерение физической величины одного и того же размера, результат которого получен из нескольких следующих друг за другом измерений, то есть состоящих из ряда однократных измерений. При множественных измерениях минимальное количество измерений равно 4. Преимуществом множественных измерений является снижение влияния случайных факторов на погрешность измерения. Множественные измерения проводят при точных научных экспериментах, которые представляют собой сложные, трудоемкие и дорогостоящие измерения, целесообразность которых должна всегда обосновываться.

4. По характеристике точности измерения выделяют равноточные и неравноточные измерения.

*Равноточные измерения* – ряд измерений какой-либо величины, выполненных одинаковыми по точности средствами измерений в одних и тех же условиях с одинаковой тщательностью. Результаты таких измерений, как правило, рассматриваются как величины, распределенные по одному и тому же закону.

*Неравноточные измерения* – ряд измерений какой-либо величины, выполненных различающимся по точности средствами измерений или выполненными одинаковыми по точности средствами измерений в разных условиях. Результаты неравноточных измерений обрабатываются с учетом веса отдельных измерений, входящих в ряд. Вес результатов измерений – это положительное число ( $p$ ), служащее оценкой доверия к тому или иному отдельному результату измерения, входящему в ряд неравноточных измерений, а результат обработки неравноточных измерений – среднее взвешенное или среднее весовое значение.

5. По характеру изменения измеряемой величины в процессе измерения выделяют статические и динамические измерения.

*Статическое измерение (Static Measurement)* – это измерение физической величины, принимаемой в соответствии с конкретной измерительной задачей за неизменную величину на протяжении времени измерения [40]. Такие измерения имеют место, когда измеряемая

величина практически постоянна. Например, измерение размеров земельного участка или измерение геометрических параметров детали при нормальной температуре.

*Динамическое измерение (Dynamic Measurement)* – это измерение, при котором средства измерения используют динамический режим [40]. Другими словами, выбирается режим использования средства измерения, связанный с изменением условий за время проведения измерительного эксперимента, которые влияют на результат измерения, в т. ч. изменение измеряемой величины за время измерения.

6. По метрологическому назначению различают технические и метрологические измерения

*Технические (рабочие) измерения* проводятся рабочими средствами измерения с целью получения информации об исследуемых свойствах объекта. Это, как правило, массовые измерения. Практически все измерения, проводимые во всех отраслях народного хозяйства с целью контроля и управления научными экспериментами, контроля параметров изделий, технологических процессов, диагностики заболеваний, контроля загрязненности окружающей среды, относятся к техническим измерениям. Проводит их персонал средней квалификации, в функции которого обычно не входит учет погрешностей измерений при принятии тех или иных решений по результатам измерений.

*Метрологические (контрольно-поверочные) измерения* выполняются при помощи эталонов с целью воспроизведения единицы физической величины для передачи ее размера рабочим средствам измерения. Соотношение погрешностей поверяемого прибора и эталона устанавливаются в поверочных схемах и методиках поверки, однако в любом случае точность эталона должна быть выше точности рабочего средства измерения. Способы установления точности эталонов регламентированы нормативно-технической документацией [7; 8].

### 3.3. МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЙ

Все представленные виды измерений реализуются путем использования различных методов измерения, которые представляют собой способы решения измерительной задачи с теоретическим обоснованием и разработкой практических рекомендаций использования средств измерений.

*Метод измерения (Method of Measurement)* – это прием или совокупность приемов сравнения измеряемой величины с ее единицей или соотнесения со шкалой в соответствии с реализованным принципом измерений [40].

*Принцип измерения (Principle of Measurement)* – явление материального мира, положенное в основу измерения [40]. К наиболее распространенным подобным явлениям относятся использование гравитационного притяжения при измерении массы взвешиванием, применение эффекта Доплера для измерения скорости, применение эффекта Джозефсона для измерения электрического напряжения, применение эффекта Пельтье для измерения поглощенной энергии ионизирующих излучений.

В соответствии с РМГ 29-2013 различают следующие методы измерений [40].

*Метод сравнения с мерой* – метод измерений, в котором измеряемую величину сравнивают с величиной, воспроизводимой мерой [40]. Отличительной чертой методов сравнения с мерой является непосредственное участие меры в процедуре измерения, а размеры меры перенесены на отчетное устройство (шкалу) средства измерения заранее, при его градуировке. Обязательным в методе сравнения с мерой является наличие сравнивающего устройства: например, измерение массы на рычажных весах с уравниванием гирями, измерение напряжения постоянного тока на компенсаторе сравнения с ЭДС (электродвижущей силы) параллельного элемента.

*Нулевой метод (Null Method of Measurement)* – метод сравнения с мерой, в котором результирующий эффект воздействия измеряемой величины и меры на средство измерения доводят до нуля [40]. Например, измерение электрического сопротивления мостом с полным его уравниванием (рис. 3.2, а).

*Метод измерений замещением (Substitution Method of Measurement)* – метод сравнения с мерой, в котором измеряемую величину замещают мерой с известным значением величины [8]: например, взвешивание с поочередным помещением измеряемой массы гирь на одну и ту же чашку весов (рис. 3.2, б).

*Метод измерений дополнением* – метод сравнения с мерой, в котором значение измеряемой величины дополняется мерой этой же величины, с таким расчетом, чтобы на прибор сравнения воздействовала их сумма, равная заданному значению [40].

*Дифференциальный метод (Differential Method of Measurement)* – это метод измерений, при котором измеряемая величина сравнивается с однородной величиной, имеющей известное значение, незначительно отличающееся от значения измеряемой величины, при котором измеряется разность между этими двумя величинами [40]. Например, измерить длину  $x$  стержня, если известна длина  $l$  ( $l < x$ ) меры (см. рис. 3.2, в). Измерив небольшую разность между длинами этих двух предметов  $a$ , мы сможем узнать длину  $x = l + a$ . Предположим, что погрешность измерения размера  $a$  не превышает  $\Delta$ . Тогда результат измерения можно будет изобразить выражением:

$$a_{\text{д}} = a \pm \Delta = a \left(1 \pm \frac{\Delta}{a}\right).$$

Тогда

$$x = l + a \pm \Delta = \left(l + a \left(1 \pm \frac{\Delta}{a}\right)\right).$$

Так как  $l$  значительно больше  $a$ , то относительная погрешность измерения  $x$  значительно меньше относительной погрешности измерения  $a$ :

$$\frac{\Delta}{l + a} < \frac{\Delta}{a}.$$

Пусть  $l = 500$  мм;  $a = 5$  мм;  $\Delta/a = 0,01$  (1%), тогда  $\Delta / (l + a) = 0,0001$  (или 0,01%).

Таким образом, для достижения такой высокой точности мы можем воспользоваться сравнительно грубым прибором. Правда, при этом измерении мы применили весьма точную меру, значение  $l$  которой определено с еще меньшей (чем 0,01%) погрешностью. И все-таки преимущества этого метода несомненны, так как изготовить точную

меру и сравнительно грубый прибор для измерения небольших величин легче, чем средство измерений высокой точности для измерения всей величины в целом.

Огромный опыт, накопленный в области измерений, гласит, что основная потеря точности при измерениях происходит не за счет возможной неисправности применяемых технических средств измерений, а в первую очередь за счет несовершенства методов и методик выполнения измерений.

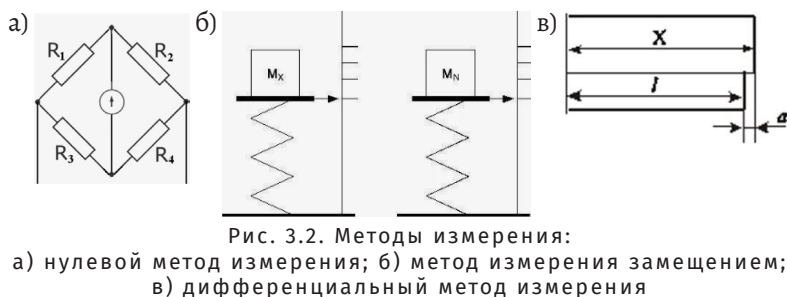


Рис. 3.2. Методы измерения:

*Методика выполнения измерений (Measurement Procedure)* – установленная логическая последовательность операций и правил при измерении, выполнение которых обеспечивает получение результатов измерений в соответствии с принятым методом измерений [40].

В своей деятельности предприятия могут использовать как аттестованные методики, так и методики, утвержденные на предприятии. Данные вопросы регламентируются целым рядом нормативно-правовых и нормативно-технических документов. При этом вопрос разработки новых методик измерений постоянно остается актуальным [2; 24; 25; 43].

Обычно методика измерений устанавливается определенным нормативно-техническим документом.

### 3.4. СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

*Средство измерений (Measuring Instrument)* – это техническое средство, предназначенное для измерений, имеющее нормированные метрологические характеристики [40].

В настоящее время насчитывается огромное количество различных видов средств измерений, реализующих различные методы измерений. Все средства измерения можно классифицировать по целому ряду признаков:

- по конструктивному исполнению;
- по метрологическому назначению;
- по степени универсальности;
- по степени автоматизации;
- по видам шкал и другим признакам.

Рассмотрим некоторые предлагаемые классификации более подробно.

#### 3.4.1. КЛАССИФИКАЦИЯ ВИДОВ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ ПО КОНСТРУКТИВНОМУ ИСПОЛНЕНИЮ

Классификация видов средств измерений по конструктивному исполнению представлены на рис. 3.3.

*Мера физической величины (Material Measure)* – средство измерений, которое воспроизводит в процессе использования или постоянно хранит величины одного или более данных родов, с приписанными им значениями [40]. Различают следующие разновидности мер:

- *однозначная мера* – мера, воспроизводящая физическую величину одного размера: концевая мера, гиря, калибр, конденсатор постоянной емкости;
- *многозначная мера* – мера, воспроизводящая физическую величину разных размеров: масштабная линейка;
- *набор мер* – комплект мер разного размера одной и той же физической величины, предназначенных для использования на практике как в отдельности, так и в различных сочетаниях: набор концевых мер, набор угловых мер и т. п.;

– *магазин мер* – набор мер, конструктивно объединенных в единое устройство, в котором имеются приспособления для их соединения в различных комбинациях: магазин электрических сопротивлений.

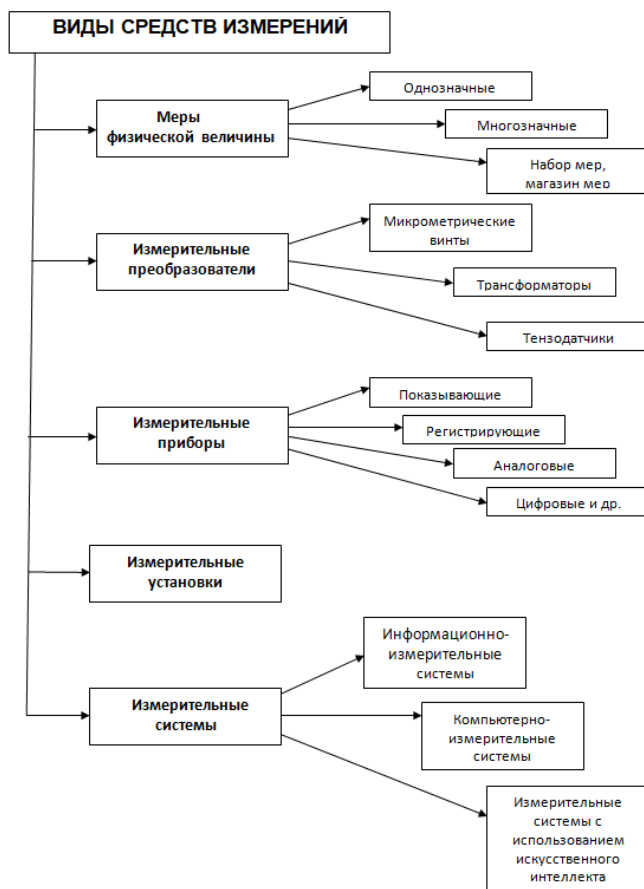


Рис. 3.3. Классификация видов средств измерений по роли в процессе измерения и конструктивному выполнению

К однозначным мерам можно отнести также и стандартные образцы.

*Измерительный преобразователь (Measuring Transducer)* – средство измерений или его часть, служащее для получения и преобразования информации об измеряемой величине в форму, удобную для обработки, хранения, дальнейших преобразований, индикации или передачи [40].

Если входная и выходная величины измерительного преобразователя являются однородными, то он называется масштабным преобразователем, или усилителем (усилитель напряжения, измерительные микроскопы, электронные усилители).

*Измерительный прибор (Indicating Measuring Instrument)* – средство измерений, предназначенное для выработки сигнала измерительной информации в форме, доступной для непосредственного восприятия [40]. Сигнал измерительной информации может быть представлен в визуальной, звуковой или другой заданной форме. Он также может быть передан одному или нескольким другим средствам измерений. Измерительный прибор также может быть эталоном.

По способу индикации измеряемой величины измерительные приборы подразделяются на показывающие и регистрирующие. *Показывающий прибор* допускает только отсчитывание измеряемой величины (например, микрометр, аналоговый или цифровой вольтметр). В *регистрирующем приборе* предусмотрена регистрация показаний в форме диаграммы, путем печатания показаний (например, профилограф, разрывная машина).

Цифровые приборы более удобны, имеют высокую точность результатов измерений, высокое быстродействие, возможность автоматизации процесса измерений.

*Измерительная установка (Measuring Installation)* – совокупность функционально объединенных в одном месте мер, измерительных приборов, измерительных преобразователей и других устройств, предназначенная для измерения одной или нескольких величин [40]. Измерительные установки применяют как для технических, так и для метрологических измерений.

Примером измерительной установки является установка для испытания магнитных материалов или установка для измерения удельного сопротивления электротехнических материалов. Измерительную установку, применяемую для поверки, называют поверочной установ-

кой. Измерительную установку, входящую в состав эталона, называют эталонной установкой.

*Измерительная система (Measuring System)* – 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 [40]. В данной классификации различают информационно-измерительные системы, компьютерно-измерительные системы и измерительно-вычислительные комплексы.

*Информационно-измерительные системы* – это совокупность функционально объединенных измерительных, вычислительных и других вспомогательных технических средств, которые предназначены для получения измерительной информации, ее преобразования и обработки. Цель такой системы – представить полученную информацию потребителю в требуемом виде или автоматически реализовать логические функции измерения, контроля, диагностики, идентификации и другие.

*Компьютерно-измерительные системы* заменяют стандартные измерительные приборы (вольтметры, осциллографы, анализаторы спектра, генераторы) системой виртуальных приборов. Компьютер используется для обработки результатов измерения, управления процессом измерения и для управления воздействием на объект исследования.

*Измерительно-вычислительные комплексы* представляют собой функционально объединенные средства измерений, компьютеры и вспомогательные устройства, которые служат для выполнения конкретной измерительной задачи.

Примером измерительной системы может служить радионавигационная система для определения местоположения судов, состоящая из ряда измерительных комплексов, разнесенных в пространстве на значительном расстоянии друг от друга, или измерительная система теплоэлектростанции, позволяющая получать измерительную информацию о ряде физических величин в разных энергоблоках и соединенная, может быть, сотням измерительных каналов.

Измерительная система в зависимости от решаемой измерительной задачи может рассматриваться как единое средство измерений.

### 3.4.2. КЛАССИФИКАЦИЯ ВИДОВ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ ПО МЕТРОЛОГИЧЕСКОМУ НАЗНАЧЕНИЮ

По метрологическому назначению средства измерений подразделяются на рабочие и метрологические.

*Рабочее средство измерения* – средство измерения, предназначенное для измерений, не связанных с передачей размера единицы другим средствам измерений. Другими словами, рабочие средства измерений предназначены для проведения технических измерений. Примеры рабочих средств измерений: электросчетчик для измерения расхода электрической энергии, нутромер для измерения диаметра внутренних цилиндрических поверхностей, термометр для измерения температуры, измерительная система теплоэлектростанции, позволяющая получить измерительную информацию о ряде физических величин в разных энергоблоках и др.

*Метрологические средства измерений* предназначены для метрологических целей – воспроизведения единицы, ее хранения и передачи размера единицы рабочим средствам измерений. Метрологические средства измерений формируют эталонную базу государства, которая является индикатором технико-экономического развития государства. Метрологические средства разрабатывают, производят и эксплуатируют в специализированных научно-исследовательских центрах. Метрологические средства измерения можно разделить на эталоны и стандартные образцы.

*Эталон (Measurement Standard)* – средство измерительной техники, предназначенное для воспроизведения, хранения и передачи единицы величины или шкалы измерений [40].

Конструкция эталона, его свойства и способ воспроизведения единицы определяются природой данной физической величины и уровнем развития измерительной техники в данной области измерений. Эталон должен обладать по крайней мере тремя тесно связанными друг с другом существенными признаками: неизменностью, воспроизводимостью и сличаемостью.

Эталоны являются высокоточными средствами измерений и используются для проведения метрологических измерений в качестве средств передачи информации о размере единицы величины. Размер единицы передается сверху вниз, от более точных средств измерения

к менее точным. По точности эталоны классифицируются на первичные, вторичные и рабочие.

*Первичный эталон (Primary Measurement Standard)* – эталон, основанный на использовании первичной референтной методики измерений или созданный как артефакт, выбранный по соглашению [40]. Референтная методика измерений используется для получения результата измерения без сравнения с эталоном единицы величины того же рода, референтные методики измерений реализуют шкалы измерений с более высокой по сравнению с другими методиками измерений точностью [1].

Первичный эталон обеспечивает воспроизведение единицы или шкалы измерений с наивысшей точностью. Метрологические свойства первичных эталонов устанавливают независимо от других эталонов единиц этих же величин. Для первичных эталонов, воспроизводящих единицу в специфических условиях (высокие и сверхвысокие частоты, малые и большие энергии, давления, температуры и т. п.) используют термин «*специальный первичный эталон*».

Первичный эталон может быть национальным и международным. Национальный эталон признан национальными органами власти для использования в государстве в качестве исходного для страны. Международный эталон признан всеми государствами, подписавшими международное соглашение, и предназначен для всего мира.

*Вторичный эталон (Secondary Measurement Standard)* – эталон, получающий единицу величины или шкалу измерений непосредственно от первичного эталона данной единицы или шкалы [40].

Вторичные эталоны создаются и утверждаются для обеспечения сохранности и меньшего износа первичного национального эталона. По метрологическому назначению вторичные эталоны бывают следующих видов:

- *эталон сравнения (Transfer Standard)* – эталон, применяемый для сличений эталонов, которые по тем или иным причинам не могут быть непосредственно сличены друг с другом [40];

- *транспортируемый эталон (Travelling Measurement Standard)* – эталон, предназначенный для транспортирования к местам поверки (калибровки) средств измерений или сличения эталонов [40]. Сличение эталонов необходимо для установления соотношения между результатами измерений при воспроизведении и передаче единицы

измерения или шкалы измерений данными эталонами одного уровня точности.

Рабочие эталоны предназначены для передачи размера единицы рабочим средствам измерений.

*Рабочий эталон (Working Measurement Standard)* – эталон, предназначенный для передачи единицы величины или шкалы измерений средствам измерения [40]. При необходимости рабочие эталоны подразделяют на разряды: 1-го разряда, 2-го разряда, ...*n*-го разряда. Передачу единицы величины осуществляют через цепочку соподчиненных по разрядам рабочих эталонов. При этом от последнего рабочего эталона в этой цепочке единицу величины передают средству измерений (рис. 3.4).



Рис. 3.4. Пирамида передачи размера от эталона к средствам измерений

Кроме эталонов, для передачи размера величины используют стандартные образцы, которые широко используются для градуировки, поверки и калибровки средств измерений, проверки правильности методов измерений, а также для контроля качества продукции методом непосредственного сличения.

*Стандартный образец (Reference Material)* – материал, достаточно однородный и стабильный в отношении определенных свойств для того, чтобы использовать его при измерении или при оценивании качественных свойств в соответствии с предполагаемым назначением [40]. Некоторые примеры стандартных образцов:

- *стандартные образцы состава веществ* – содержание определенных компонентов: например, массовая доля калия хлористого, молярная концентрация глюкозы;
- *стандартные образцы свойств веществ* – физические, химические, биологические и другие свойства вещества: например, общая жёсткость воды, мутность;
- *стандартные образцы лекарств и субстанций* используются отделами контроля качества фармацевтических предприятий на различных этапах производства;
- *стандартные образцы вязкости*: например, материал биодизельного топлива на основе говяжьего жира.

### 3.4.3. ДРУГИЕ КЛАССИФИКАЦИИ ВИДОВ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

По уровню автоматизации все средства измерений делят на автоматизированные, автоматические, неавтоматические.

*Автоматизированное средство измерений* – средство измерений, производящее в автоматическом режиме одну или часть измерительных операций. Примером такого средства может служить электрический счетчик: измерение и регистрация данных нарастающим итогом.

*Автоматическое средство измерений* – средство измерений, производящее без непосредственного участия человека измерения и все операции, связанные с обработкой результатов измерений, их регистрацией, передачей данных или выработкой управляющего сигнала. Автоматическое средство измерений, встроенное в автоматическую технологическую линию, нередко называют измерительным автоматом или контрольным автоматом.

*Неавтоматическое средство измерений* – средство измерений, не имеющее устройств для автоматического выполнения измерений и обработки их результатов: например, штангенциркуль, микроскоп инструментальный и др.

По отношению к измеряемой величине все средства измерений делятся на основные и вспомогательные.

*Основное средство измерений* – средство измерений той величины, значение которой необходимо получить в соответствии с измерительной задачей [40].

*Вспомогательное средство измерений (Auxiliary Instrument)* – средство измерений той величины, влияние которой на основное средство измерений или объект измерений необходимо учитывать для получения результатов измерений требуемой точности [8]. Например, в качестве вспомогательного средства измерений используют термометр для измерения температуры газа в процессе измерений объемного расхода газа, тогда как расходомер является основным средством измерений.

### 3.5. МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

Все средства измерений независимо от их исполнения имеют ряд свойств, которые необходимы для выполнения ими своего функционального назначения. Метрологические характеристики средств измерений необходимы для обеспечения возможности оценки точности измерений, обеспечения взаимозаменяемости средств измерений, обеспечения возможности выбора средств измерений по заданным характеристикам и точности.

Свойства, влияющие на результат измерений и его погрешность, называют *метрологическими свойствами средств измерений*, а количественные показатели метрологических свойств – *метрологическими характеристиками*.

*Метрологическая характеристика средства измерений (Metrological Characteristic of a Measuring Instrument)* – характеристика одного из свойств средства измерений, влияющая на результат измерений [40]. Для каждого типа средств измерений устанавливают свои метрологические характеристики. *Нормируемыми метрологическими характеристиками* называют совокупность метрологических характеристик данного типа средств измерений, устанавливаемая нормативными документами.

ГОСТ 8.009-84 «ГСИ Нормируемые метрологические характеристики средств измерений» устанавливает номенклатуру метрологических характеристик на средства измерений, правила выбора комплекса метрологических характеристик и способы нормирования метрологических характеристик в нормативно-технической документации [4].

Все метрологические свойства средства измерений можно разделить на две группы: свойства, определяющие область применения средства измерения, и свойства, определяющие качество результатов измерения.

К основным метрологическим свойствам, определяющим область применения средства измерений, относятся диапазон измерений и чувствительность средства измерений.

*Диапазон измерений (Measuring Interval)* – множество значений величин одного рода, которые могут быть измерены данным средством измерений или измерительной системой с указанной инструментальной неопределенностью или указанными показателями точности при определенных условиях [40]. Значения величин, которые ограничивают диапазон измерений снизу или сверху (слева или справа), называют *нижним или верхним пределом измерений* соответственно.

*Чувствительность средства измерений (Sensitivity of a Measuring System)* – отношение изменения показаний средства измерений к вызывающему его изменению измеряемой величины [40]. Различают абсолютную чувствительность  $S = \frac{\Delta l}{\Delta x}$  и относительную чувствительность  $S_o = \frac{\Delta l}{\Delta x / x}$ ,

где  $\Delta l$  – изменение показаний;

$x$  – измеряемая величина;

$\Delta x$  – изменение измеряемой величины.

Например, порог чувствительности весов 10 мг означает, что заметное перемещение стрелки весов достигается при таком малом изменении массы, как 10 мг.

К метрологическим свойствам, характеризующим качество измерений, относятся точность, правильность, и прецизионность результатов измерений. Об этих понятиях речь пойдет в следующей главе.

## ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

ВНИМАНИЕ! Если в номере вопроса указан знак !!!, то для ответа на вопрос необходимо выбрать несколько вариантов ответа.

1. !!! При измерении силы тока амперметром реализуется измерение:
  - 1.1. Совместное
  - 1.2. Совокупное
  - 1.3. Косвенное
  - 1.4. Прямое
  - 1.5. Абсолютное
2. !!! К средствам измерений относятся:
  - 2.1. Меры
  - 2.2. Режущий инструмент
  - 2.3. Делительная головка
  - 2.4. Измерительные преобразователи
3. Что такое модель измерения?
  - 3.1. Способ получения количественной информации об исследуемом объекте
  - 3.2. Обеспечение связи теории и практики метрологии
  - 3.3. Метод познания физических явлений и процессов
4. Измерение – это:
  - 4.1. Процесс экспериментального получения одного и более значений величины, которые могут быть обоснованно приписаны измеряемой величине
  - 4.2. Измерение отношения одноименных величин или функций этого отношения
  - 4.3. Прием или совокупность приемов сравнения измеряемой величины с ее единицей или соотнесения со шкалой в соответствии реализованным принципом измерений
  - 4.4. Явление материального мира, положенное в основу приема сравнения с мерой.
5. Дать определению термину «метод измерения».

- 5.1. Процесс экспериментального получения одного и более значений величины, которые могут быть обоснованно приписаны измеряемой величине
- 5.2. Измерение отношения одноименных величин или функций этого отношения
- 5.3. Прием или совокупность приемов сравнения измеряемой величины с ее единицей или соотнесения со шкалой в соответствии реализованным принципом измерений
- 5.4. Явление материального мира, положенное в основу приема сравнения с мерой.
- 6. Принцип измерения – это:
  - 6.1. Процесс экспериментального получения одного и более значений величины, которые могут быть обоснованно приписаны измеряемой величине
  - 6.2. Измерение отношения одноименных величин или функций этого отношения
  - 6.3. Прием или совокупность приемов сравнения измеряемой величины с ее единицей или соотнесения со шкалой в соответствии реализованным принципом измерений
  - 6.4. Явление материального мира, положенное в основу приема сравнения с мерой.
- 7. Методика выполнения измерений – это:
  - 7.1. Нормативно-технический документ, устанавливающий нормы, правила и требования к объекту исследования
  - 7.2. Нормативно-правовой акт, который принимается законодательным органом государственной власти и регулирует определенные общественные отношения
  - 7.3. Установленная логическая последовательность операций и правил при измерении, выполнение которых обеспечит получение результатов измерений в соответствии с принятым методом измерений.
  - 7.4. Характеристика ряда свойств средства измерений, влияющих на результат измерений
- 8. Метрологические характеристики средства измерений – это:
  - 8.1. Нормативно-технический документ, устанавливающий нормы, правила и требования к объекту исследования

- 8.2. Нормативно-правовой акт, который принимается законодательным органом государственной власти и регулирует определенные общественные отношения
- 8.3. Установленная логическая последовательность операций и правил при измерении, выполнение которых обеспечит получение результатов измерений в соответствии с принятым методом измерений.
- 8.4. Характеристика ряда свойств средства измерений, влияющих на результат измерений
- 9. !!! Средства измерений, объединяющиеся по виду конструктивного исполнения, – это:
  - 9.1. Мера физической величины
  - 9.2. Эталон
  - 9.3. Стандартный образец
  - 9.4. Измерительная система
- 10. !!! Средства измерений, объединяющиеся по виду метрологическому назначению, – это:
  - 10.1. Мера физической величины
  - 10.2. Эталон
  - 10.3. Стандартный образец
  - 10.4. Измерительная система
- 11. Что такое основное средство измерений?
  - 11.1. Средство измерений, производящее в автоматическом режиме одну или часть измерительных операций
  - 11.2. Средство измерений, производящее без непосредственного участия человека измерения и все операции, связанные с обработкой результатов измерений, их регистрацией, передачей данных или выработкой управляющего сигнала
  - 11.3. Средство измерений, не имеющее устройств для автоматического выполнения измерений и обработки их результатов
  - 11.4. Средство измерений той величины, значение которой необходимо получить в соответствии с измерительной задачей
- 12. Автоматическое средство измерений – это:
  - 12.1. Средство измерений, производящее в автоматическом режиме одну или часть измерительных операций
  - 12.2. Средство измерений, производящее без непосредственного участия человека измерения и все операции, связанные

с обработкой результатов измерений, их регистрацией, передачей данных или выработкой управляющего сигнала.

12.3. Средство измерений, не имеющее устройств для автоматического выполнения измерений и обработки их результатов

12.4. Средство измерений той величины, значение которой необходимо получить в соответствии с измерительной задачей

## ГЛАВА 4. РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ

---

### 4.1. ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ

Любые измерения направлены на получение результата, то есть получение значения физической величины в принятых единицах измерения. Вследствие несовершенства средств и методов измерений, воздействия внешних факторов и многих других причин на результат каждого измерения важно оценить их точность.

*Точность измерений (Measurement Accuracy)* – близость измеренного значения к истинному значению измеряемой величины [40].

*Истинное значение величины (True Quantity Value)* – значение величины, которое соответствует определению измеряемой величины [40].

Понятие точность измерений описывает качество измерений в целом, объединяя понятия правильность и прецизионность измерений.

*Правильность измерений (Measurement Trueness)* – близость среднего арифметического бесконечно большого числа повторно измеренных значений величины к опорному значению величины [40]. Правильность измерений не является величиной и поэтому не может быть выражена численно. В качестве опорного значения принимают согласованное значение по одному из возможных вариантов: как теоретическое или установленное значение, базирующееся на научных принципах; или приписанное/аттестованное значение, базирующееся на экспериментальных работах какой-либо национальной или международной организации; или приписанное/аттестованное значение, базирующееся на совместных экспериментальных работах под руководством научной или инженерной группы. Если ни один из перечисленных вариантов установления опорного значения недоступен, тогда в качестве опорного значения используют математическое ожидание измеряемой величины или среднее значение заданной

совокупности результатов измерений [20]. Показателем правильности измерений обычно является значение систематической погрешности.

*Прецизионность измерений (Measurement Precision)* – близость между показаниями или измеренными значениями величины, полученными при повторных измерениях для одного и того же или аналогичных объектов при заданных условиях [40]. Термин «прецизионность измерений» используется для определения понятий повторяемости измерений, промежуточной прецизионности измерений и воспроизводимости измерений. Промежуточная прецизионность измерений предполагает прецизионность измерений в фиксированных условиях. Один из наборов условий измерений включает разные месторасположения, разные средства измерений, участие разных операторов и выполнение повторных измерений на одном и том же или аналогичных объектах. При этом допустимо, что в некоторых случаях разные средства измерений могут применяться в соответствии с разными методиками измерений.

Прецизионность измерений характеризует близость к нулю случайной погрешности измерений. Точность измерения тем выше, чем меньше погрешность. Понятие «погрешность» – одно из центральных в метрологии.

*Погрешность результата измерений (Error of Measurement)* – разность между измеренным и опорным значениями величины [40].

Классификация погрешностей измерений по различным признакам представлена на рис. 4.1.

По закономерностям проявления различают случайную, систематическую и грубую погрешности.

*Случайная погрешность измерения (Random Measurement Error)* – составляющая погрешности измерения, изменяющаяся случайным образом (по знаку, значению) при повторных измерениях, проведенных в определенных условиях [40].

В проявлениях таких погрешностей не наблюдается какой-либо закономерности, они обнаруживаются при повторных измерениях одной и той же величины в виде некоторого разброса результатов. Случайные погрешности неизбежны, неустранимы и всегда присутствуют в результате измерения. Описание случайных погрешностей возможно только на основе теории случайных процессов и матема-

тической статистики. Отметим, что случайные погрешности уменьшаются с увеличением количества измерений.

*Систематическая погрешность измерения (Systematic Measurement Error)* – составляющая погрешности результата измерения, остающаяся постоянной или же закономерно изменяющаяся при повторных измерениях одной и той же величины [40].

В зависимости от характера изменения во времени систематические погрешности подразделяют на постоянные, прогрессирующие, периодические и погрешности, изменяющиеся по сложному закону. Постоянные погрешности встречаются наиболее часто. К прогрессирующим погрешностям относятся непрерывно возрастающие или убывающие погрешности, которые возникают, например, при износе измерительных наконечников средства измерения. Периодические погрешности являются функцией времени или перемещения указателя измерительного прибора. Погрешности, изменяющиеся по сложному закону, происходят вследствие совместного действия нескольких систематических погрешностей. Такие погрешности выявляют детальным анализом их возможных источников (например, точное нанесение отметок на шкалу или деформация стрелки) и уменьшают введением соответствующей поправки, применением более точных средств измерений, калибровкой средств измерений.

*Промех (иногда применяют термин «грубая погрешность»)* – погрешность результата отдельного измерения, входящего в ряд измерений, которая для данных условий резко отличается от остальных результатов этого ряда. Грубые погрешности возникают из-за ошибочных действий оператора, неисправности средства измерения или из-за резких изменений условий измерения. В случае однократного измерения обнаружить промах нельзя. При многократных измерениях грубые погрешности выявляют и исключают в процессе обработки результатов измерений [6].

По форме выражения различают абсолютную, относительную и приведенную погрешности.

*Абсолютная погрешность измерения (Absolute Error of a Measurement)* – погрешность измерения, выраженная в единицах измеряемой величины [40].

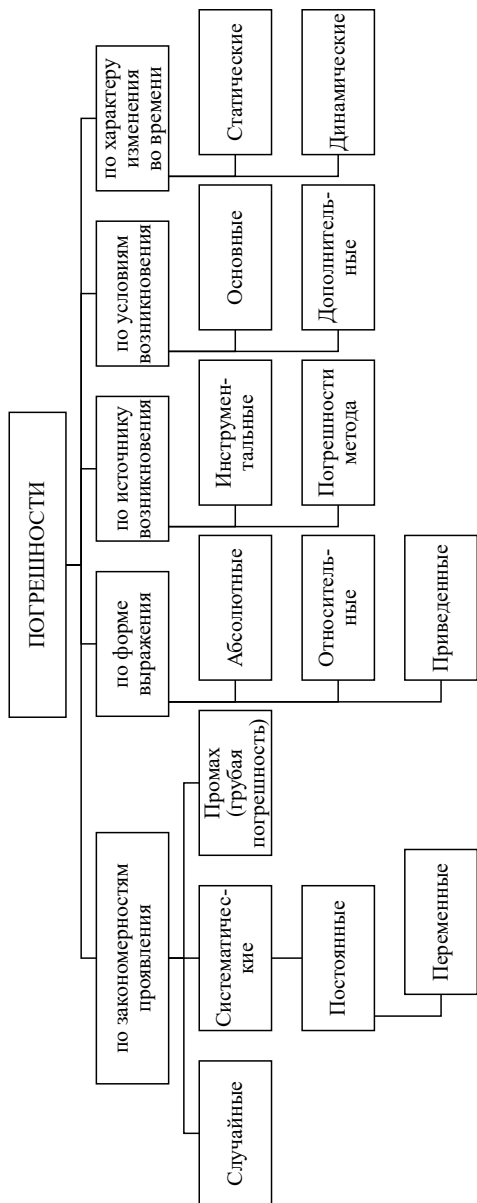


Рис. 4.1. Классификация погрешностей измерений

Абсолютная погрешность определяется по формуле:

$$\Delta x = X - \bar{X},$$

где  $\Delta x$  – погрешность измерений;

$X$  – значение измеряемой физической величины, найденное с помощью средства измерений;

$\bar{X}$  – действительное значение измеряемой величины.

Разновидностью абсолютной погрешности является предельная погрешность – максимальная погрешность, допускаемая для данной измерительной задачи. Абсолютная погрешность не может в полной мере служить показателем точности. Например, при измерении величин 10 мм и 100 мм получена одинаковая абсолютная погрешность  $\Delta x = 0,5$  мм, но качество измерения будет различно. Для сравнения качества измерения используют относительную погрешность.

*Относительная погрешность (Relative Error)* – погрешность измерения, выраженная отношением абсолютной погрешности измерения к опорному значению измеряемой величины [40].

Относительная погрешность определяется в долях или процентах:

$$\delta = \frac{\Delta x}{X} \text{ или } \delta = \frac{\Delta x}{X} 100\%,$$

где  $\Delta x$  – погрешность измерений;

$X$  – опорное значение измеряемой величины.

Опорное значение величины (*Reference Quantity Value*) – значение величины, которое используют в качестве основы для сопоставления со значениями величины того же рода [40]. Опорное значение величины может быть истинным значением величины, подлежащей измерению (в этом случае оно неизвестно) или принятым значением величины (в этом случае оно известно).

В случае определения относительной погрешности в качестве опорного значения может быть принято действительное значение величины.

Приведенная погрешность средства измерения (*Reduced Error of a Measuring Instrument*) – погрешность средства измерения, выраженная отношением абсолютной погрешности средства измерения к нормирующему значению величины.

$$\gamma = \frac{\Delta x}{X_N} 100\%,$$

где  $\Delta x$  – абсолютная погрешность средства измерений;

$X_N$  – нормирующее значение 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.

По источнику возникновения или по причине возникновения различают инструментальную погрешность и погрешность метода измерений.

*Инструментальная погрешность (Instrumental Error)* – составляющая погрешности измерения, обусловленная погрешностью применяемого средства измерений [40]. Очевидно, что каждому из приборов, использованных при измерении, присущи определенные погрешности, причем в общей погрешности прибора могут присутствовать и систематическая, и случайная составляющие, которые окажут свое влияние на результат измерения.

*Погрешность метода измерений (Error of Method)* – составляющая погрешности измерений, обусловленная несовершенством принятого метода измерения [40]. Погрешность метода иногда называют теоретической погрешностью, при некоторых обстоятельствах погрешность метода измерения может проявляться как случайная.

Все измерения следует проводить при нормальных условиях. Нормальные условия измерений – это условия, характеризующие совокупностью значений или областей значений влияющих величин, при которых изменением результата измерений пренебрегают вследствие малости. Нормальные условия измерений устанавливаются в нормативных документах на средства измерений конкретного типа, и они характеризуются номинальными значениями влияющих величин, таких как температура, влажность и др. [5; 9; 38]. Для данных номинальных значений выделяют нормальную область значений влияющих величин, рабочую область и предельные условия измерений, которые устанавливают возможные колебания указанных номинальных значений. Некоторые номинальные значения для ряда влияющих величин приведены в таблице 4.1.

По условиям возникновения различают основную и дополнительную погрешности.

*Основная погрешность средства измерения (Intrinsic Error of a Measuring Instrument)* – погрешность средства измерения, применяемого при

нормальных условиях [40]. Другими словами, величины, влияющие на погрешность данного средства измерения, находятся в области нормальных значений.

*Дополнительная погрешность средства измерения (Complementary Error of a Measuring Instrument)* – составляющая погрешности средства измерения, 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 [40].

Таблица 4.1. Некоторые номинальные значения влияющих величин при нормальных условиях

| Влияющая величина                                                                                                                                                                            | Значение    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| Температура для всех видов измерений, °C (K)                                                                                                                                                 | 20 (293)    |
| Давление окружающего воздуха для измерения давления и параметров движения, для измерения ионизирующих излучений, теплофизических, температурных, магнитных, электрических, кПА (мм. рт. ст.) | 100 (750)   |
| Давление окружающего воздуха для линейных, угловых измерений, измерений массы, силы света и в других областях кроме указанных выше, кПА (мм. рт. ст.)                                        | 101,3 (760) |
| Относительная влажность воздуха для линейных, угловых измерений, измерений массы, %                                                                                                          | 58          |
| Относительная влажность воздуха для измерения электрического сопротивления, %                                                                                                                | 55          |
| Относительная влажность воздуха для измерений температуры, силы, твердости, электрического тока, ионизирующих излучений, параметров движения, %                                              | 65          |
| Плотность воздуха, кг/м <sup>3</sup>                                                                                                                                                         | 1,2         |
| Магнитная индукция, Тл, и напряженность электрического поля, В/м, для измерений параметров движения, магнитных и электрических величин                                                       | 0           |

По характеру изменения измеряемой величины различают статическую и динамическую погрешности средства измерения.

*Статическая погрешность средства измерений* – погрешность средства измерения, применяемого для измерения постоянной величины [40].

*Динамическая погрешность средства измерений* – разность между погрешностью средства измерений в динамическом режиме и его статистической погрешностью, соответствующей значению величины в данный момент времени [40].

## 4.2. ЕДИНСТВО ИЗМЕРЕНИЙ И НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЬ ИЗМЕРЕНИЙ

В основе современных подходов к оцениванию погрешностей лежат принципы, обеспечивающие выполнение требований единства измерений.

*Единство измерений (Uniformity of Measurement)* – состояние измерений, при котором их результаты выражены в узаконенных единицах величин или в значениях по установленным шкалам измерений, а показатели точности не выходят за установленные границы [8].

Понятие «единство измерений» довольно емкое и не может быть ограничено только определением результатов измерений. Полное решение проблемы обеспечения единства измерений включает получение ответов на широкий спектр вопросов: как измерять, чем измерять, как обрабатывать результаты измерений и как оценивать полученные результаты.

Каждое измерение, выполненное с помощью любых средств и методов, содержит неустранимый компонент неточности измерений, который со второй половины XX века обозначают как неопределенность измерений в соответствии с рекомендациями международных метрологических организаций [17; 30; 42; 52].

*Неопределенность измерений (Measurement Uncertainty)* – неотрицательный параметр, характеризующий рассеяние значений величины, приписываемых измеряемой величине на основании измерительной информации [40]. Действующий нормативный документ рекомендации международной стандартизации РМГ 91-2019 уточняет смысл основных понятий метрологии «погрешность измерения» и «неопределенность измерений», а также производных от них терминов [42].

Неопределенность измерений – это количественный показатель, отражающий диапазон возможных значений, которые с определенной вероятностью можно приписать измеряемой величине. ГОСТ 34100.1-2017 и ГОСТ 34100.3-2017 трактуют данное понятие как признание того факта, что результат любого измерения – это не точка, а область потенциальных значений, распределенных вокруг полученного результата [11; 12].

Такой подход совершенно обоснован, т. к. каждый результат измерений подвержен влиянию множества источников вариабельности, которые формируют оценку неопределенности результатов измерений. Источниками вариабельности являются:

- технические ограничения измерительных приборов;
- воздействие окружающей среды;
- упрощения в теоретических моделях, приблизительный характер расчетных формул и коэффициентов;
- индивидуальные особенности восприятия шкал операторами;
- конечная точность эталонов и процедур калибровки, дискретность шкал приборов;
- другие процессы.

ГОСТ 34100.3-2017, который гармонизирован с международным стандартом ISO/IEC Guide 98-3:2008, выделяет следующие типы неопределенностей: неопределенность типа А, неопределенность типа В, стандартная неопределенность результата измерений; расширенная неопределенность измерений [12].

Неопределенность типа А объединяет в себе факторы неопределенности случайного характера. *Оценивание неопределенности измерений по типу А (Type A Evaluation of Measurement Uncertainty)* – оценивание составляющей неопределенности измерений путем статистического анализа измеренных значений величины, получаемых при определенных условиях измерений [40]. Для оценки неопределенности по типу А используют статистические методы, то есть необходимо провести несколько измерений одной и той же величины, которые затем подвергнуть статистической обработке. В результате такой обработки в идеале влияние случайных факторов неопределенности на результат измерений будет минимизировано.

Неопределенность типа А количественно характеризуется дисперсией и стандартным отклонением:

$$\sigma^2 = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2,$$

где  $x_i$  – очередное измерение;

$n$  – количество измерений;

$\bar{X}$  – среднее арифметическое значение, которое считается по формуле:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}.$$

Важное преимущество данного подхода заключается в том, что с ростом объема выборки повышается и точность оценки неопределенности, что соответствует фундаментальным принципам математической статистики.

Неопределенность типа В в противоположность статистическому подходу неопределенности типа А определяется альтернативными методами, не требующими проведения серии повторных наблюдений.

*Оценивание неопределенности измерений по типу В (Type B Evaluation of Measurement Uncertainty)* – оценивание составляющей неопределенности измерений способами, отличными от оценивания неопределенности измерений по типу А [40]. Такой подход становится незаменимым в ситуациях, когда многократные измерения невозможны или экономически нецелесообразны либо когда параметры исследуемого объекта изменчивы во времени.

Для оценки неопределенности типа В используются разнообразные источники информации:

- техническая документация на средства измерений;
- свидетельства о метрологических поверках и калибровках о средствах измерений;
- справочные материалы о физико-химических свойствах веществ и материалов;
- накопленный практический опыт и архивные результаты аналогичных измерений;
- сведения о фундаментальных физических константах.

Другими словами, составляющая неопределенности типа В определяется на основе доступной априорной информации об изменчивости входных величин. Эти составляющие могут выражаться в виде стандартных неопределенностей.

*Стандартная неопределенность измерений (Standard Measurement Uncertainty)* – неопределенность измерений, выраженная в виде стандартного отклонения [40].

*Суммарная стандартная неопределенность измерений (Combined Standard Measurement Uncertainty)* – стандартная неопределенность измерений, которую получают суммированием отдельных стандартных неопределенностей измерений, связанных с входными величинами и моделями измерений [40]. Другими словами, стандартная неопределенность итогового результата представляет собой комплексную

характеристику, учитывающую все выявленные источники неопределенности оцененные как по типу А, так и по типу В. Полученная стандартная неопределенность измерений служит фундаментом для построения интервала, в пределах которого с заданной вероятностью находится истинное значение измеряемого параметра. В случаях, когда результат измерения вычисляется через комбинацию нескольких непосредственно измеряемых параметров, связанных определенной функциональной зависимостью, для расчета суммарной стандартной неопределенности применяется закон распространения неопределенностей.

Если неопределенности значений аргументов  $s^2(x_1), s^2(x_2), \dots, s^2(x_n)$  известны, а все аргументы независимы друг от друга, то неопределенность величины  $y$  можно рассчитать как:

$$s^2(y) = \left( \frac{\partial f}{\partial x_1} \right)^2 s^2(x_1) + \left( \frac{\partial f}{\partial x_2} \right)^2 s^2(x_2) + \dots + \left( \frac{\partial f}{\partial x_n} \right)^2 s^2(x_n).$$

Данное выражение называется *законом распространения неопределенностей*. Оно является важнейшим соотношением, позволяющим оценить неопределенность косвенно измеряемой величины в тех случаях, когда проведение ее повторных измерений невозможно или нецелесообразно.

*Расширенная неопределенность измерений (expanded Measurement Uncertainty)* – произведение суммарной стандартной неопределенности и коэффициента охвата большего, чем число один [40].

*Интервал охвата (Coverage Interval)* – интервал, основанный на имеющейся информации, который содержит совокупность истинных значений измеряемой величины с заданной вероятностью [40].

*Вероятность охвата (Coverage Probability)* – вероятность того, что совокупность истинных значений измеряемой величины находится в указанном интервале охвата [40].

### 4.3. МЕТОДИКА ОЦЕНИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТА ИЗМЕРЕНИЙ И ЕГО НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

Оценивание результата измерения и его неопределенности проводится в следующей последовательности:

- составление уравнения измерений;
- оценка входных величин и их стандартных отклонений (неопределенностей);
- оценка измеряемой (выходной) величины и ее неопределенности;
- составление бюджета неопределенности;
- оценка расширенной неопределенности результата измерений;
- представление результата измерений.

Рассмотрим эти составляющие подробнее.

#### 4.3.1. СОСТАВЛЕНИЕ УРАВНЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЯ

В качестве основы для составления уравнения измерения используется зависимость  $Y = f(X_1, X_2, \dots, X_k)$ .

Далее в результате анализа условий измерений и используемых средств измерений устанавливаются другие факторы, влияющие на результат измерений, и они также включаются в уравнение связи в качестве величин  $X_{k+1}, X_{k+2}, \dots, X_m$ .

В итоге в рамках концепции неопределенности под уравнением измерения будет пониматься математическая зависимость между измеряемыми величинами  $X_1, X_2, \dots, X_k$ , а также другими величинами, влияющими на результат измерения  $X_{k+1}, X_{k+2}, \dots, X_m$ , и самим результатом измерения  $Y$ :

$$Y = f(X_1, X_2, \dots, X_k, X_{k+1}, X_{k+2}, \dots, X_m).$$

Величины  $X_1, X_2, \dots, X_m$  можно считать входными величинами, используемыми для оценивания неопределенности результата измерения, а результат измерения  $Y$  – выходной величиной измерения.

#### 4.3.2. ОЦЕНКА ВХОДНЫХ ВЕЛИЧИН И ИХ СТАНДАРТНЫХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЕЙ

Пусть имеются результаты  $n_i$  измерений входной величины  $X_i$ , где  $i$  принимает значения  $i = 1, 2, m$ . Как известно, при нормальном распределении полученных измерений наилучшей оценкой этой величины является среднее арифметическое значение:

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i.$$

Стандартную неопределенность типа А определяют как среднеквадратическое отклонение по формуле

$$u_A(\bar{x}_i) = \sqrt{\frac{1}{n_i(n_i - 1)} \sum_{q=1}^{n_i} (x_{iq} - \bar{x}_i)^2}.$$

Для вычисления стандартной неопределенности по типу В используют различные сведения:

- данные о предыдущих измерениях величин, входящих в уравнение измерения;
- сведения, имеющиеся в метрологических документах по поверке, калибровке средств измерений, и сведения изготовителя о приборе;
- сведения о предполагаемом вероятностном распределении значений величин, имеющихся в научно-технических отчетах и литературных источниках;
- данные, основанные на опыте исследователя или общих знаниях о поведении и свойствах соответствующих или подобных средств измерений и материалов;
- неопределенность используемых констант и справочных данных;
- нормы точности измерений, указанные в технической документации на методы и средства измерений;
- другие сведения об источниках неопределенностей, влияющих на результат измерения.

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 указанных границах  $\pm b_i$  для  $i$ -й входной величины. При этом стандартную неопределенность по типу В определяют по следующей формуле:

$$u_B(x_i) = \frac{b_i}{\sqrt{3}}.$$

В случае других законов распределений формулы для вычисления неопределенности по типу В будут другие. В частности, если известно одно значение величины  $X_i$ , то это значение принимается в качестве оценки. При этом стандартную неопределенность вычисляют по формуле

$$u_B(x_i) = \frac{U_p}{k},$$

где  $U_p$  – расширенная неопределенность;

$k$  – коэффициент охвата.

Если коэффициент охвата не указан, то с учетом имеющихся сведений принимают предположение о вероятностном распределении неопределенности величины  $X_i$ . Если такие сведения отсутствуют, то для определения коэффициента охвата можно воспользоваться данными, приведенными в таблице 4.2.

Таблица 4.2. Значение коэффициента охвата

| Предполагаемо распределение неопределенности входной величины | Вероятность охвата $P$ , который соответствует $U(x_i)$ | Коэффициент охвата $k$ |
|---------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|------------------------|
| Равномерное распределение                                     | 0,99–1,0                                                | 1,71–1,73              |
|                                                               | 0,95                                                    | 1,65                   |
| Нормальное распределение                                      | 1,0 (предел допускаемых значений)                       | 3                      |
|                                                               | 0,997                                                   | 3                      |
|                                                               | 0,99                                                    | 2,6                    |
|                                                               | 0,95                                                    | 2                      |
| Неизвестное распределение                                     | –                                                       | 2                      |

Неопределенности входных величин могут быть коррелированы с учетом известных формул статистики и теории вероятности [36].

#### 4.3.3. Оценка выходной величины и ее неопределенности

Оценку измеряемой величины  $y$  вычисляют как функцию оценок входных величин  $X_1, X_2, \dots, X_m$  по формуле (4.1), предварительно внося поправки на все источники неопределенности, имеющие систематический характер.

Вычисление суммарной неопределенности выходной величины проводят по тем же формулам, которые используются для расчета погрешностей косвенных измерений в классической концепции погрешности измерений. В случае некоррелированных оценок входных величин суммарную стандартную неопределенность  $u_c(y)$  вычисляют по формуле:

$$u_c(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^m \left(\frac{df}{dx_i}\right)^2 u^2(x_i)},$$

В случае коррелированных оценок суммарную стандартную неопределенность определяют с учетом коэффициентов корреляции [45].

#### 4.3.4. Составление бюджета неопределенности

Под *бюджетом неопределенности* понимается формализованное представление полного перечня источников неопределенности измерений по каждой входной величине с указанием их стандартной неопределенности вклада в суммарную стандартную неопределенность результата измерений.

#### 4.3.5. Оценка расширенной неопределенности результата измерений

Расширенная неопределенность равна произведению стандартной неопределенности  $u(y)$  результата измерений на коэффициент охвата  $k$ :

$$U(y) = k \cdot u(y).$$

Руководство по неопределенности рекомендует рассматривать все результаты измерений при доверительной вероятности (вероятности охвата)  $P = 0,95$ . При этой вероятности преимущественно определяют

число степеней свободы по эмпирической формуле Велча – Саттерстейта:

$$v_{eff} = \frac{u_c^4}{\sum_{i=1}^m \frac{u^4(x_i)}{v_i} \left(\frac{df}{dx}\right)^4}. \quad (4.1)$$

При этом коэффициент охвата определяется при вероятности  $P = 0,95$  с использованием таблицы распределения Стьюдента (таблица 4.3):

$$k = t_p = 0,95(v_{eff}).$$

Таблица 4.3. Критические значения коэффициенты Стьюдента (t-критерия) для различной доверительной вероятности  $P$  и числа степеней свободы  $u_{eff}$  [37]

| $u_{eff}$ | $t_p = 0,95$ | $t_p = 0,99$ | $u_{eff}$ | $t_p = 0,95$ | $t_p = 0,99$ |
|-----------|--------------|--------------|-----------|--------------|--------------|
| 3         | 3,182        | 5,841        | 16        | 2,120        | 2,921        |
| 4         | 2,776        | 4,604        | 20        | 2,086        | 2,845        |
| 5         | 2,571        | 4,032        | 30        | 2,042        | 2,750        |
| 6         | 2,447        | 3,707        | 40        | 2,021        | 2,705        |
| 7         | 2,365        | 3,499        | 60        | 2,000        | 2,660        |
| 8         | 2,306        | 3,355        | 80        | 1,990        | 2,638        |
| 9         | 2,262        | 3,250        | 90        | 1,987        | 2,632        |
| 10        | 2,228        | 3,169        | $\infty$  | 1,960        | 2,576        |

Формулу для оценки суммарной стандартной неопределенности (4.6) можно записать в более простом виде:

$$\hat{u}_c(y) = \sqrt{\hat{u}_A^2(y) + \hat{u}_B^2(y)},$$

где  $\hat{u}_A(y)$  – оценка стандартных неопределенностей, вычисленных по типу A,

$\hat{u}_B(y)$  – оценка стандартных неопределенностей, вычисленных по типу B.

Формулу для определения числа степеней свободы (4.1) можно представить в виде:

$$v_{eff} = f_{eff} \cdot \left[ 1 + \frac{\hat{u}_B^2(y)}{\hat{u}_A^2(y)} \right]^2,$$

где  $f_{eff}$  – число степеней свободы при прямых измерениях входной величины и составляет  $(n - 1)$ , где  $n$  – число измерений.

При оценке вклада неопределенности из формулы 4.8 по типу А принимают  $v_i = n_i - 1$   $v_i = \infty$ .

При этих условиях легко показать из формулы (4.8), что если по типу А оценивается неопределенность только одной входной величины, то формула (4.8) упрощается:

$$v_{eff} = (n_A - 1) \cdot \frac{u^4(y)}{u_A^4(y)},$$

где  $n_A$  – число повторных измерений входной величины, оцениваемой по типу А.

#### 4.3.6. ПРЕДСТАВЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТА ИЗМЕРЕНИЙ

При представлении результата измерений Руководство по выражению неопределенности измерения ГОСТ 34100.3-2017 [12] рекомендует приводить достаточное количество информации, чтобы можно было проанализировать и при необходимости повторить весь процесс получения результата измерений и вычисления неопределенностей. Данная информация включает следующие позиции:

- алгоритм получения результата измерений;
- алгоритм расчета всех поправок для исключения систематических погрешностей и их неопределенностей;
- неопределенности всех используемых данных и способы их получения;
- алгоритмы вычисления суммарной и расширенной неопределенностей, включая значение коэффициента охвата  $k$ .

Таким образом, в документации по результатам измерений необходимо представить следующие данные:

- $u_c$  – суммарная неопределенность;
- $U_p$  – расширенная неопределенность;
- $k$  – коэффициент охвата;
- $u_i$  – данные о входных величинах;
- $v_{eff}$  – эффективное число степеней свободы.

#### 4.4. ПРИМЕР ОЦЕНИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТА ИЗМЕРЕНИЙ И ЕГО НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

Измерительная задача – измерение силы тока с помощью вольтметра и токового шунта [45].

1. Составление уравнения измерений

1.1. Уравнение измерений:

$$I = \frac{V}{R} = f(V, R, t^{\circ}\text{C}), \quad (4.2)$$

где  $I$  – сила измеряемого тока;

$V$  – напряжение на шунте, которое непосредственно измеряется для определения силы тока;

$R$  – сопротивление шунта;

$t^{\circ}\text{C}$  – температура окружающей среды, способная повлиять на результат измерения силы тока.

1.2. В процессе измерения проводятся многократные измерения ( $n=10$ ) напряжения с помощью вольтметра на сопротивлении шунта при температуре  $t = (23,00 \pm 0,05)^{\circ}\text{C}$ .

Границы неисключенной систематической погрешности вольтметра в милливольты определены при его калибровке в виде следующего выражения:

$$\theta_V = 3 \cdot 10^{-4} \cdot V + 0,02. \quad (4.3)$$

1.3. Сопротивление шунта  $R_0 = 0,010088$  Ом было определено при его калибровке, величина тока составляла  $I = 10$  А, температура окружающей среды  $t = 23,00^{\circ}\text{C}$ .

Относительные границы неисключенной систематической погрешности сопротивления шунта, установленные при его калибровке, равны:

$$\delta\theta_R = 0,070 \% = \frac{\theta_R}{R_0} \cdot 100 \%. \quad (4.4)$$

Абсолютная неисключенная систематическая погрешность сопротивления шунта, установленная при его калибровке:

$$\theta_R = \frac{\delta\theta_R \cdot R_0}{100\%} = \frac{0,070 \cdot 0,010088}{100} = 7,1 \cdot 10^{-6} \text{ Ом}. \quad (4.5)$$

1.4. Границы неисключенной систематической составляющей погрешности значения сопротивления шунта, обусловленной погрешностью изменений температуры, находят из формулы определяющей зависимость сопротивления от температуры:

$$R = R_0[1 + \alpha \cdot (t - t_0)],$$

где  $\alpha$  – температурный коэффициент температурного расширения материала шунта,  $\alpha = 6 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ .

В случае когда границы погрешности измерения температуры составляют  $\Delta t$ , границы соответствующей составляющей погрешности значения сопротивления равны:

$$\theta_{t,R} = \alpha \cdot \Delta t \cdot R = 6 \cdot 10^{-6} \cdot 0,05 \cdot 0,010088 = 3,0 \cdot 10^{-9} \text{ Ом}. \quad (4.6)$$

## 2. Нахождение результата измерений

В результате серии из  $n = 10$  измерений были получены следующие значения напряжения  $V_i$  мВ: 100,68; 100,83; 100,79; 100,64; 100,63; 100,94; 100,60; 100,68; 100,76; 100,65.

Определим среднеарифметическое значение напряжения:

$$\bar{V} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n V_i = \frac{100,68 + 100,83 + \dots + 100,65}{10} = 100,72 \text{ мВ} = 0,10072 \text{ В}.$$

Результат измерения силы тока следующий:

$$I = \frac{V}{R_0} = \frac{0,10072}{0,010088} = 9,984 \text{ А}.$$

## 3. Анализ источника погрешности результата измерений

3.1. Случайная составляющая погрешности при измерении напряжения характеризуется среднеквадратичным отклонением:

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

$$S(\bar{V}) = \sqrt{\frac{1}{10(10-1)} \cdot (100,68 - 100,72)^2 + (100,83 - 100,72)^2 + \dots + (100,65 - 100,72)^2} = 3,4 \cdot 10^{-2} \text{ мВ}.$$

3.2. Границы неисключенной систематической погрешности вольтметра в соответствии с формулой 4.3 при

$$\theta_V = 3 \cdot 10^{-4} \cdot V + 0,02 = 3 \cdot 10^{-4} \cdot 100,72 + 0,02 = 0,05 \cdot 10^{-2} \text{ мВ}.$$

3.3. Границы неисключенной систематической погрешности сопротивления шунта в соответствии с п. 1.3 равны:

$$\theta_R = 7,1 \cdot 10^{-6} \text{ Ом}.$$

3.4. Границы неисключенной систематической составляющей погрешности значения сопротивления шунта, обусловленной погрешностью изменения температуры в соответствии с п. 1.4, составляет:

$$\theta_{t,R} = 3,0 \cdot 10^{-9} \text{ Ом}.$$

В дальнейшем эту составляющую погрешности ввиду ее малости по сравнению с другими составляющими можно не учитывать.

#### 4. Вычисление характеристик погрешности результата измерений

Для вычисления результирующей погрешности измерения, состоящей из случайной погрешности и суммы неисключенных погрешностей, используют следующую методику.

4.1. Предполагается равномерное распределение неисключенных систематических составляющих погрешности результата измерений внутри границ  $\theta_V$  и  $\theta_R$ . В этом случае среднеквадратичное отклонение суммарной неисключенной систематической составляющей погрешности результата измерений силы тока  $S_\theta$  определяют по формуле:

$$S_\theta = \sqrt{\left(\frac{df}{dV}\right)^2 \cdot \frac{\theta_V^2}{3} + \left(\frac{df}{dR}\right)^2 \cdot \frac{\theta_R^2}{3}}.$$

В этой формуле:

$$\frac{df}{dV} = \frac{1}{R}, \quad \frac{df}{dR} = -\frac{V}{R^2}.$$

С учетом данных, полученных в п. 3.2 и в п. 3.3:

$$\begin{aligned} S_\theta &= \sqrt{\left(\frac{1}{R}\right)^2 \cdot \frac{\theta_V^2}{3} + \left(\frac{\bar{V}}{R_0^2}\right)^2 \cdot \frac{\theta_R^2}{3}} = \\ &= \sqrt{\frac{1}{0,010088^2} \cdot \frac{(5,0 \cdot 10^{-2})^2}{3} + \left(\frac{100,72^2}{3}\right)^2 \cdot \frac{(7,1 \cdot 10^{-6})^2}{3}} = 5,0 \cdot 10^{-3} \text{ А}. \end{aligned}$$

4.2. Среднеквадратичное отклонение случайной составляющей погрешности результата измерений силы тока  $S$  в соответствии с п. 3.1 составляет:

$$S = \frac{df}{dV} \cdot S(\bar{V}) = 3,4 \cdot 10^{-3} \text{ А}.$$

4.3. Среднеквадратичное отклонение суммарной погрешности результата измерений силы тока будет равно:

$$S_x = \sqrt{S^2 + S_o^2} = \sqrt{(3,4 \cdot 10^{-3})^2 + (5,0 \cdot 10^{-3})^2} = 6,0 \cdot 10^{-3} \text{ A.}$$

## 5. Вычисление неопределенности измерений

5.1. По типу А вычисляют стандартную неопределенность, обусловленную источниками неопределенности, имеющими случайный характер, и определяют по формуле, приведенной в п. 3.1:

$$u_A(V) = 3,4 \cdot 10^{-2} \text{ мВ.}$$

Стандартную неопределенность силы тока, обусловленную источниками неопределенности, имеющими случайный характер, определяют по формуле:

$$u_A = \frac{df}{dv} \cdot u_A(V) = \frac{1}{R} \cdot u_A(V) = \frac{1}{0,0100} \cdot 3,4 \cdot 10^{-2} \cdot 10^{-3} = 3,4 \cdot 10^{-3} \text{ A.}$$

5.2. По типу В вычисляют стандартные неопределенности, обусловленные источниками неопределенности, имеющими систематический характер. Закон распределения внутри границ считаем равномерным.

Границы систематического смещения при измерениях напряжения, определенные при калибровке вольтметра, определяются соотношением, приведенном в п. 1.3.

$$u_{B,V} = \frac{3 \cdot 10^{-4} \cdot V + 0,02}{\sqrt{3}} = \frac{3 \cdot 10^{-4} \cdot 100,72 + 0,02}{1,73} = 2,9 \cdot 10^{-2} \text{ мВ.}$$

Границы, внутри которых лежит значение сопротивления шунта, определены при калибровке шунта и равны  $7 \cdot 10^{-4} R$ . В этом случае соответствующая стандартная неопределенность вычисляется по формуле:

$$u_{B,R} = \frac{7 \cdot 10^{-4} \cdot R_o}{\sqrt{3}} = \frac{7 \cdot 10^{-4} \cdot 0,0100}{1,73} = 4,0 \cdot 10^{-6} \text{ Ом.}$$

Составляющей неопределенности, обусловленной изменением температуры, можно пренебречь вследствие ее малости по сравнению с другими составляющими (см. п. 1.4).

Суммарная стандартная неопределенность по типу В вычисляется по формуле:

$$u_B = \sqrt{\left(\frac{df}{dV}\right)^2 \cdot u_{B,V}^2 + \left(\frac{df}{dR}\right)^2 \cdot u_{B,R}^2} = \sqrt{\frac{1^2}{R} \cdot u_{B,V}^2 + \left(\frac{V}{R^2}\right)^2 \cdot u_{B,R}^2} =$$

$$= \sqrt{\left(\frac{1}{0,0100}\right)^2 \cdot (2,9 \cdot 10^{-2} \cdot 10^{-3})^2 + \left(\frac{100,72}{0,0100}\right)^2 \cdot (4,0 \cdot 10^{-6})^2} = 5,0 \cdot 10^{-3} \text{ A.}$$

5.3. Суммарная стандартная неопределенность  $u_c$  вычисляют по формуле:

$$u_c = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} = \sqrt{(3,4 \cdot 10^{-3})^2 + (5,0 \cdot 10^{-3})^2} = 6,0 \cdot 10^{-3} \text{ A.}$$

5.4. Эффективное число степеней свободы определяется следующим образом:

$$V_{eff} = \frac{u_c^4}{\frac{\left(\frac{1}{R} u_A\right)^4}{n-1} + \frac{\left(\frac{1}{R} u_{B,V}\right)^4}{\infty} + \frac{\left(\frac{1}{R} u_{B,R}\right)^4}{\infty}} =$$

$$= \frac{(6,0 \cdot 10^{-3})^4}{\frac{\left(\frac{1}{0,0100} \cdot 3,4 \cdot 10^{-3}\right)^4}{10-1} + \frac{\left(\frac{1}{0,0100} \cdot 2,9 \cdot 10^{-2} \cdot 10^{-3}\right)^4}{\infty} + \frac{\left(\frac{1}{0,0100} \cdot 4,0 \cdot 10^{-6}\right)^4}{\infty}} = 87.$$

5.5. Коэффициент охвата  $k$  находят в соответствии с таблицей 4.4. Критические значения коэффициенты Стьюдента ( $t$ -критерия) для различной доверительной вероятности  $P$  и числа степеней свободы  $v_{eff}$  [37] и при доверительной вероятности  $P = 0,95$  составляет  $k = 1,99$ .

5.6. Расширенную неопределенность  $U_{0,95}$  определяют следующим образом:

$$U_{0,95} = k \cdot u_c = 1,99 \cdot 6,0 \cdot 10^{-3} = 0,012 \text{ A.}$$

Расширенная неопределенность трактуется как интервал, содержащий заданную долю распределения значений, которые могли быть обоснованно приписаны измеряемой величине.

## ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Точность измерений – это:
  - 1.1. Близость среднего арифметического бесконечно большого числа повторно измеренных значений величины к опорному значению величины
  - 1.2. Близость между показаниями или измеренными значениями величины, полученными при повторных измерениях для одного и того же или аналогичных объектов при заданных условиях
  - 1.3. Разность между измеренным значением величины и опорным значением величины
  - 1.4. Близость измеренного значения к истинному значению измеряемой величины
2. Правильность измерений – это:
  - 2.1. Близость среднего арифметического бесконечно большого числа повторно измеренных значений величины к опорному значению величины
  - 2.2. Близость между показаниями или измеренными значениями величины, полученными при повторных измерениях для одного и того же или аналогичных объектов при заданных условиях
  - 2.3. Разность между измеренным значением величины и опорным значением величины
  - 2.4. Близость измеренного значения к истинному значению измеряемой величины
3. Прецизионность измерений – это:
  - 3.1. Близость среднего арифметического бесконечно большого числа повторно измеренных значений величины к опорному значению величины
  - 3.2. Близость между показаниями или измеренными значениями величины, полученными при повторных измерениях для одного и того же или аналогичных объектов при заданных условиях
  - 3.3. Разность между измеренным значением величины и опорным значением величины

- 3.4. Близость измеренного значения к истинному значению измеряемой величины
- 4. Погрешность измерений – это:
  - 4.1. Близость среднего арифметического бесконечно большого числа повторно измеренных значений величины к опорному значению величины
  - 4.2. Близость между показаниями или измеренными значениями величины, полученными при повторных измерениях для одного и того же или аналогичных объектов при заданных условиях
  - 4.3. Разность между измеренным значением величины и опорным значением величины
  - 4.4. Близость измеренного значения к истинному значению измеряемой величины
- 5. Случайная погрешность – это:
  - 5.1. Составляющая погрешности результата измерения, остающаяся постоянной или же закономерно изменяющаяся при повторных измерениях одной и той же величины
  - 5.2. Погрешность результата отдельного измерения, входящего в ряд измерений, которая для данных условий резко отличается от остальных результатов этого ряда
  - 5.3. Погрешность измерения, выраженная в единицах измеряемой величины
  - 5.4. Составляющая погрешности измерения, изменяющаяся случайным образом (по знаку, значению) при повторных измерениях, проведенных в определенных условиях
- 6. Систематическая погрешность – это:
  - 6.1. Составляющая погрешности результата измерения, остающаяся постоянной или же закономерно изменяющаяся при повторных измерениях одной и той же величины
  - 6.2. Погрешность результата отдельного измерения, входящего в ряд измерений, которая для данных условий резко отличается от остальных результатов этого ряда
  - 6.3. Погрешность измерения, выраженная в единицах измеряемой величины

- 6.4. Составляющая погрешности измерения, изменяющаяся случайным образом (по знаку, значению) при повторных измерениях, проведенных в определенных условиях
7. Грубая погрешность – это:
- 7.1. Составляющая погрешности результата измерения, остающаяся постоянной или же закономерно изменяющаяся при повторных измерениях одной и той же величины
  - 7.2. Погрешность результата отдельного измерения, входящего в ряд измерений, которая для данных условий резко отличается от остальных результатов этого ряда.
  - 7.3. Погрешность измерения, выраженная в единицах измеряемой величины
  - 7.4. Составляющая погрешности измерения, изменяющаяся случайным образом (по знаку, значению) при повторных измерениях, проведенных в определенных условиях
8. Абсолютная погрешность – это:
- 8.1. Составляющая погрешности результата измерения, остающаяся постоянной или же закономерно изменяющаяся при повторных измерениях одной и той же величины
  - 8.2. Погрешность результата отдельного измерения, входящего в ряд измерений, которая для данных условий резко отличается от остальных результатов этого ряда
  - 8.3. Погрешность измерения, выраженная в единицах измеряемой величины
  - 8.4. Составляющая погрешности измерения, изменяющаяся случайным образом (по знаку, значению) при повторных измерениях, проведенных в определенных условиях
9. Абсолютная погрешность находится по формуле:
- 9.1.  $\sigma x = \frac{\Delta x}{X}$ , где  $X$  – опорное значение величины
  - 9.2.  $\Delta x = x - \bar{X}$
  - 9.3.  $\gamma = \frac{\Delta x}{x_N}$ , где  $x_N$  – приведенное значение величины
10. Относительная погрешность находится по формуле:
- 10.1.  $\sigma x = \frac{\Delta x}{X}$ , где  $X$  – опорное значение величины

$$10.2. \Delta x = x - \bar{X}$$

$$10.3. \gamma = \frac{\Delta x}{x_N}, \text{ где } x_N - \text{приведенное значение величины}$$

11. Приведенная погрешность находится по формуле:

$$11.1. \sigma x = \frac{\Delta x}{x}, \text{ где } X - \text{опорное значение величины}$$

$$11.2. \Delta x = x - \bar{X}$$

$$11.3. \gamma = \frac{\Delta x}{x_N}, \text{ где } x_N - \text{приведенное значение величины}$$

12. Неопределенность измерений – это:

12.1. Составляющая погрешности результата измерения, остающаяся постоянной или же закономерно изменяющаяся при повторных измерениях одной и той же величины

12.2. Погрешность результата отдельного измерения, входящего в ряд измерений, которая для данных условий резко отличается от остальных результатов этого ряда

12.3. Неотрицательный параметр, характеризующий рассеяние значений величины, приписываемых измеряемой величине на основании измерительной информации

12.4. Составляющая погрешности измерения, изменяющаяся случайным образом (по знаку, значению) при повторных измерениях, проведенных в определенных условиях

13. Неопределенность типа А:

13.1. Объединяет в себе факторы неопределенности случайного характера

13.2. Определяется альтернативными методами, не требующими проведения серии повторных наблюдений

13.3. Это неопределенность измерений, выраженная в виде стандартного отклонения

14. Неопределенность типа В:

14.1. Объединяет в себе факторы неопределённости случайного характера

14.2. Определяется альтернативными методами, не требующими проведения серии повторных наблюдений

14.3. Это неопределенность измерений, выраженная в виде стандартного отклонения

15. Чему равна относительная погрешность измерения, если абсолютная погрешность  $\Delta x = 10$  мкм, а измеренное значение  $X = 100$  мм?

15.1. 0,01 %

15.2. 0,1 %

15.3. 10 %

15.4. 1 %

## ГЛАВА 5. ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЕДИНСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

---

### 5.1. ОСНОВНЫЕ НОРМАТИВНЫЕ И ПРАВОВЫЕ ДОКУМЕНТЫ В ОБЛАСТИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЕДИНСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

В условиях широкого распространения измерений исключительно большое значение имеет проблема обеспечения единства измерений, доверия к результатам измерений и уверенности в их правильности.

Вся метрологическая деятельность в РФ опирается на конституционную норму. Статья 71 Конституции РФ устанавливает централизованное руководство основными вопросами законодательной метрологии, устанавливает и определяет, что в федеральном ведении находятся стандарты, эталоны, метрическая система. В рамках подтверждения этой конституционной нормы был принят федеральный закон «Об обеспечении единства измерений» № 102-ФЗ от 26.06.2008 г., устанавливающий основы метрологической деятельности в РФ. В данный закон после его принятия регулярно вносятся изменения, направленные на решение возникающих насущных задач и проблем в области единства измерений.

Другие нормативные правовые акты РФ, которые регулируют конкретные технические вопросы в области обеспечения единства измерений, такие как Постановления Правительства РФ, приказы Минпромторга, приведены в таблице 5.1.

Основная цель принятия законодательных и правовых актов – это формирование правового пространства для обеспечения единства измерений.

Таблица 5.1. Действующие нормативные правовые акты РФ в области обеспечения единства измерений

| Вид документа                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Номер документа         | Дата внесения изменений                                                          |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|
| 1. Постановление Правительства РФ «Об утверждении Положения о единицах величин, допускаемых к применению в РФ»                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | № 879<br>от 31.10.2009  | 15.08.2015<br>09.03.2022                                                         |
| 2. Постановление Правительства РФ «Об эталонах единиц, используемых в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений»                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | № 734<br>от 23.09.2010  | 21.10.2019                                                                       |
| 3. Постановление Правительства РФ «О перечне средств измерений, поверка которых осуществляется только аккредитованными в установленном порядке в области обеспечения единства измерений государственными региональными центрами метрологии»                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | № 250<br>от 20.10.2010  | 28.12.2011<br>08.12.2012<br>21.02.2017<br>12.10.2017<br>04.02.2021<br>06.10.2021 |
| 4. Постановление Правительства РФ «Об особенностях обеспечения единства измерений при осуществлении деятельности в области обороны и безопасности РФ»                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | № 780<br>от 02.10.2009  | 03.-6.2017<br>30.11.2022                                                         |
| 5. Постановление Правительства РФ «Об утверждении Положения об особенностях обеспечения единства измерений при осуществлении деятельности в области использования атомной энергии»                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | № 1488<br>от 30.12.2012 |                                                                                  |
| 6. Постановление Правительства РФ «Об утверждении перечня измерений, относящихся к сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений»                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | № 1847<br>от 16.11.2020 | 07.02.2024<br>17.07.2024<br>29.09.2024                                           |
| 7. Приказ Минпромторга России «Об утверждении порядка проведения поверки средств измерений, требований к знаку поверки и содержанию свидетельства о поверке»                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | № 2510<br>от 31.07.2020 | Вступил в действие 01.01.2021 и действует до 01.01.2027                          |
| 8. Приказ Минпромторга России «Об утверждении порядка проведения испытаний стандартных образцов или средств измерений в целях утверждения типа, порядка утверждения типа стандартных образцов или типа средств измерений, внесения измерений 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» | № 2905<br>от 28.08.2020 |                                                                                  |
| 9. Приказ Минпромторга России «Об утверждении порядка создания и ведения Федерального информационного фонда по обеспечению единства измерений, передачи сведений в него и внесения изменений в данные сведения, предоставления содержащихся в нем документов и сведений»                                                                                                                                                                                                                                                                                             | № 2906<br>от 28.08.2020 | 13.01.2022                                                                       |

| Вид документа                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Номер документа         | Дата внесения изменений  |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|--------------------------|
| 10. Приказ Минпромторга России «Об утверждении Порядка аттестации первичных референтных методик (методов) измерений, референтных методик (методов) измерений и методик (методов) измерений и их применения»                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | № 4091<br>от 15.12.2015 |                          |
| 11. Приказ Минпромторга России «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, требований к оформлению правил содержания и применения эталона единицы величины, формы извещения о непригодности эталона единицы величины к его применению» | № 456<br>от 11.02.2020  |                          |
| 12. Приказ Минпромторга России «Об утверждении Административного регламента по предоставлению Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии государственной услуги по отнесению технических средств к средствам измерений»                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | № 971<br>от 25.06.2013  | 17.01.2017<br>23.08.2017 |
| 13. Приказ Росстандарта «Об утверждении рекомендуемых предельных значений интервалов между поверками средств измерений»                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | № 1502<br>от 02.07.2019 |                          |

*Обеспечение единства измерений* – деятельность, направленная на установление и применение научных, правовых, организационных и технических основ, правил, норм и средств, необходимых для достижения состояния измерений, при котором их результаты выражены в узаконенных единицах величин или в значениях по установленным шкалам измерений, а показатели точности измерений не выходят за установленные границы [14]. Обеспечение единства измерений осуществляется через создание соответствующей системы.

*Система обеспечения единства измерений* – совокупность субъектов, норм, средств и видов деятельности, предназначенная для обеспечения единства измерений [14].

*Сфера государственного регулирования обеспечения единства измерений* – сфера деятельности, в которой управление субъектами, нормами, средствами и видами деятельности по обеспечению единства измерений в Российской Федерации осуществляется на основании нормативных правовых документов, принятых в установленном порядке [14].

Цели обеспечения единства измерений сформулированы в федеральном законе «Об обеспечении единства измерений» и включают следующие позиции [14]:

- установление правовых основ обеспечения единства измерений в РФ;
- защита прав и законных интересов граждан, общества и государства от отрицательных последствий недостоверных результатов измерений;
- обеспечение потребности граждан, общества и государства в получении объективных, достоверных и сопоставимых результатов измерений, используемых в целях защиты жизни и здоровья граждан, охраны окружающей среды, животного и растительного мира, обеспечения обороны и безопасности государства, в том числе экономической безопасности;
- содействие развитию экономики РФ и научно-технического прогресса.

Сфера государственного регулирования обеспечения единства измерений распространяется на измерения, которые выполняются в различных областях деятельности человека:

- при осуществлении деятельности в области здравоохранения;
- при осуществлении ветеринарной деятельности;
- при осуществлении деятельности в области охраны окружающей среды;
- при осуществлении деятельности в области гражданской обороны, защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера;
- при выполнении работ по обеспечению безопасных условий и охраны труда;
- осуществлении производственного контроля над соблюдением установленных законодательством РФ требований промышленной безопасности к эксплуатации опасного производственного оборудования;
- осуществлении торговли и товарообменных операций;
- учете количества энергетических ресурсов;
- оказании услуг почтовой связи, учета объема оказанных услуг электросвязи операторами связи и обеспечении целостности и устойчивости функционирования сети связи общего пользования;

- осуществлении деятельности в области обороны и безопасности государства;
- осуществлении геофизической и картографической деятельности;
- осуществлении деятельности в области гидрометеорологии, мониторинга состояния и загрязнения окружающей среды;
- проведении налоговых, таможенных операций и таможенного контроля;
- проведении официальных спортивных соревнований, обеспечении подготовки спортсменов высокого класса;
- выполнении поручений суда, органов прокуратуры, государственных органов исполнительной власти;
- осуществлении мероприятий государственного контроля.
- осуществлении деятельности в области использования атомной энергии;
- обеспечении безопасности дорожного движения;
- добыче, производстве, использовании и обращении драгоценных камней.

Системный подход к области обеспечения единства измерений – это важнейшее условие социально-экономического развития страны, обеспечения безопасности граждан, общества и государства, повышения качества и конкурентоспособности товаров, работ и услуг, обеспечения научно-технического прогресса. Кроме того, обеспечение единства измерений необходимо для осуществления государственного контроля и оценки соответствия продукции установленным требованиям, что создает основу для честной торговли на внутреннем и международном рынках. Развитие, совершенствование и признание измерительных возможностей страны является важным фактором для устранения технических барьеров в торговле и участия в многосторонних торговых соглашениях.

Обеспечение единства измерений основывается на трех составляющих: правовой, технической и организационной.

Правовая составляющая, помимо Конституции, федеральных законов, нормативных правовых актов, приведенных в таблице 5.1, включает комплекс нормативных документов межрегионального и межотраслевого уровней, устанавливающих правила, нормы, требования, направленные на достижение и поддержание единства

измерений в стране. Внедрение правил законодательной метрологии во многом осуществляется с помощью системы стандартов: Государственная система обеспечения единства измерений, стандарты которой обозначаются ГОСТ 8.XXX-XX.

Техническая составляющая обеспечения единства измерений включает следующие компоненты:

- эталонная база РФ;
- система передачи размеров единиц физических величин;
- система разработки, постановки на производство и выпуска рабочих средств измерений;
- система государственной поверки средств измерений;
- система стандартных образцов и справочных данных.

## 5.2. ОРГАНИЗАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЕДИНСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

Организационная составляющая системы обеспечения единства измерений направлена на создание и функционирование специальных организационных структур и специалистов [13; 15].

### 5.2.1. ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии является федеральным органом исполнительной власти, вырабатывающим государственную политику в области обеспечения единства измерений. Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии оказывает государственные услуги и осуществляет управление государственным имуществом в сфере технического регулирования и метрологии. Агентство входит в систему федеральных органов исполнительной власти РФ и находится в ведении Министерства промышленности и торговли РФ.

В ведении Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии находится Государственная метрологическая служба, которая включает Государственные научные метрологические центры и органы Государственной метрологической службы на территориях субъектов Российской Федерации (Центры стандартизации, метрологии и сертификации).

Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии осуществляет федеральный государственный метрологический надзор по следующим позициям:

- соблюдение обязательных требований в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений к измерениям, единицам величин, а также к эталонам единиц величин, стандартным образцам, средствам измерений при их выпуске из производства, ввозе на территорию Российской Федерации, продаже и применении на территории Российской Федерации;

– наличием и соблюдением аттестованных методик (методов) измерений.

Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии осуществляет сотрудничество с целым рядом международных организаций, работающих в области обеспечения единства измерений, такими как:

– Международная организация Законодательной метрологии (МОЗМ);

– Международное бюро мер и весов (МБВВ);

– Евро-Азиатское сотрудничество государственных метрологических учреждений (КООМЕТ);

– Международная организация по стандартизации (ИСО);

– Международная электротехническая комиссия (МЭК);

– Европейская экономическая комиссия ООН (ЕЭК ООН)

– и другими.

Организационная составляющая определяет участников обеспечения единства измерений. Организацию и проведение работ по обеспечению единства измерений осуществляют метрологические службы.

## 5.2.2. МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ СЛУЖБЫ

*Метрологическая служба* – структурное подразделение центрального аппарата федерального органа исполнительной власти и (или) его территориального органа, юридическое лицо или структурное подразделение юридического лица либо объединения юридических лиц [14].

Метрологическая служба России включает Государственную метрологическую службу, метрологические службы органов государственного управления, а также метрологические службы юридических лиц.

Государственная метрологическая служба находится в ведении Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии и включает:

– государственные научные метрологические центры;

– территориальные органы Государственной метрологической службы – центры метрологии, стандартизации и сертификации;

– Государственную службу времени, частоты и определения параметров вращения Земли, которая обеспечивает воспроизведение,

хранение и передачу размеров единиц времени и частоты, шкал атомного, всемирного и координированного времени, координат полюсов Земли;

- Государственную службу стандартных образцов состава и свойств веществ и материалов;

- Государственная служба стандартных справочных данных о физических константах и свойствах веществ и материалов;

- некоторые другие государственные службы, которые занимаются обеспечением единства измерений.

- Государственные научные метрологические центры отвечают за создание, совершенствование, хранение и применение государственных эталонов, а также за разработку нормативных документов по обеспечению единства измерений.

Основными функциями государственных научных метрологических центров являются:

- создание, совершенствование, хранение и применение государственных эталонов единиц величин;

- выполнение фундаментальных и прикладных научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в области метрологии, в том числе по созданию уникальных опытно-экспериментальных установок, шкал и исходных мер для обеспечения единства измерений;

- передача размеров единиц величин от государственных эталонов единиц величин исходным эталонам;

- проведение государственных испытаний средств измерений;

- разработка оборудования, необходимого для оснащения органов государственной метрологической службы;

- разработка и совершенствование научных, нормативных, организационных и экономических основ деятельности по обеспечению единства измерений в соответствии со специализацией;

- взаимодействие с метрологическими службами федеральных органов исполнительной власти, предприятий и организаций, являющихся юридическими лицами;

- информационное обеспечение предприятий и организаций по вопросам единства измерений;

- проведение работ, связанных с деятельностью государственной службы времени и частоты и определения параметров враще-

ния Земли, государственной службы стандартных образцов состава и свойств веществ и материалов, государственной службы стандартных справочных данных о физических константах и свойствах веществ и материалов;

- проведение экспертизы разделов метрологического обеспечения федеральных и иных программ, а также содействие формированию этих разделов;

- проведение метрологической экспертизы и измерений по поручению органов суда, прокуратуры, арбитражного суда и федеральных органов исполнительной власти;

- подготовка и переподготовка высококвалифицированных кадров в области метрологии;

- участие по поручению Комитета Российской Федерации по стандартизации, метрологии и сертификации в сличении государственных эталонов с национальными эталонами других стран, разработке международных норм и правил.

По состоянию на 2025 год действуют 3 государственных научных метрологических центра [32]:

- 1) ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт физико-технических и радиотехнических измерений – ВНИИФТРИ» (Москва);

- 2) ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д. И. Менделеева – ВНИИМ» (Санкт-Петербург);

- 3) ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт физико-технических и радиотехнических измерений ВНИИФТРИ» (Московская область).

Каждый из этих научных центров имеет свою специализацию.

*Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д. И. Менделеева (ВНИИМ)* – преемник деятельности Главной палаты мер и весов, первого в России и одного из старейших в мире государственного метрологического учреждения, находится в Санкт-Петербурге. В 2022 году ВНИИМ отметил 180 лет со дня начала своей деятельности. Краткая историческая информация о создании данного центра приведена в главе 1. ВНИИМ по своему назначению и по видам своей деятельности является уникальным. Институт учрежден в первую очередь для поддержания единства существующих мер в стране. Кроме того, это один из крупнейших мировых центров на-

учной и практической метрологии и головная организация страны по фундаментальным исследованиям в метрологии, главный центр государственных эталонов России.

В настоящее время во ВНИИМ созданы и хранятся следующие эталоны основных и производных величин:

1) эталоны основных физических величин:

- единицы длины – метр;
- единицы массы – килограмм;
- единицы силы электрического тока – ампер;
- единицы термодинамической температуры – кельвин;

2) эталоны производных единиц:

- механических;
- электрических;
- магнитных;
- температурных;
- физико-химических величин и величин ионизирующих излучений.

Чтобы получить представление о работе с первичными государственными эталонами, на рис. 5.1 и 5.2 приведен общий вид двух эталонов производных величин.

В настоящее время во всех государственных научных метрологических центрах России хранится 161 первичный государственный эталон. Из 161 эталонов начиная с 2025 года 39 эталонов запланированы к совершенствованию, а из этих 39 эталонов 18 хранятся во ВНИИМ [3].

ВНИИМ имеет два филиала: Уральский научно-исследовательский институт метрологии – УНИИМ в Екатеринбурге и Всероссийский научно-исследовательский институт расходомерии в Казани.

История *Всероссийского научно-исследовательского института физико-технических и радиотехнических измерений (ВНИИФТРИ)* начинается в 1938 году, однако официальной датой основания считается 18 февраля 1955 года. ВНИИФТРИ находится в г. Солнечногорске Московской области. Он был создан на базе Центрального научно-исследовательского бюро единой службы времени, ЦНИИ радиоизмерений и ЦНИИ физико-технических измерений. У истоков создания института стояли видные российские ученые: нобелевский лауреат, академик Петр Капица, академики Евгений Чудаков и Александр Бай-

ков. Создание данного научного центра было вызвано необходимостью метрологического обслуживания стремительно развивающейся в середине XX века новой техники, использующей технологические процессы, протекающие при низких температурах, сверхвысоких давлениях, при комплексном воздействии на материалы электрических и магнитных полей, в условиях глубокого вакуума, сверхвысоких скоростей, где предъявляются особо жесткие требования к точности измерений. В состав ВНИИФТРИ входят четыре филиала: Западно-Сибирский филиал ВНИИФТРИ в Новосибирске, Восточный филиал ВНИИФТРИ в Иркутске, Дальневосточный филиал ФГУП ВНИИФТРИ в Хабаровске, Камчатский филиал ФГУП ВНИИФТРИ в Петропавловске-Камчатском.



Рис. 5.1. Общий вид государственного эталона единицы силы

Благодаря своим научным достижениям ВНИИФТРИ получил широкое признание в международном сообществе. Институт пред-

ставляет интересы Российской Федерации по закрепленным видам измерений в Международном бюро мер и весов (BIPM), Международной организации законодательной метрологии (OIML), организации Евро-Азиатского сотрудничества государственных метрологических учреждений (КОOMET), организации Европейского сотрудничества по эталонам (EURAMET), Межгосударственном совете СНГ по стандартизации, метрологии и сертификации (МГС), Международной электротехнической комиссии (IEC), Международной организации по стандартизации (ISO), Международном агентстве по атомной энергии (МАГАТЭ), Международной службе вращения Земли (IERS) и Международной геодинамической службе (IGS).



Рис. 5.2. Общий вид графитового замедлителя, входящего в состав государственного эталона единиц потока и плотности потока нейтронов

Центры стандартизации и метрологии в России выполняют функции государственной метрологической службы по федеральным округам, всего функционирует 78 таких центров (таблица 5.2).

Таблица 5.2. Распределение центров стандартизации и метрологии по федеральным округам РФ

| Федеральный округ    | Количество действующих центров стандартизации и метрологии, шт. |
|----------------------|-----------------------------------------------------------------|
| 1. Крымский          | 2                                                               |
| 2. Приволжский       | 14                                                              |
| 3. Западно-Сибирский | 8                                                               |
| 4. Сибирский         | 18                                                              |
| 5. Уральский         | 6                                                               |
| 6. Центральный       | 17                                                              |
| 7. Южный             | 13                                                              |

Примером регионального центра метрологии является ФБУ «Урал-тест» – государственный региональный центр стандартизации, метрологии и испытаний в Свердловской области, который находится в Екатеринбурге. Такие центры, как правило, выполняют следующие функции:

- поверка и калибровка средств измерений;
- испытания средств измерений в целях утвержденного типа;
- разработка и аттестация методов (методик) измерений;
- метрологическая экспертиза;
- аттестация испытательного оборудования;
- оценка состояний измерений;
- разработка, изготовление, ремонт и техническое обслуживание средств измерений и оборудования;
- оценка компетентности в части выполнения калибровочных работ;
- аттестация эталонов единиц величин;
- мониторинг и информирование надзорных органов об имеющихся нарушениях в области обеспечения единства измерений;
- метрологический аутсорсинг и др.

### 5.3. СТАНДАРТНЫЕ ОБРАЗЦЫ И СПРАВОЧНЫЕ ДАННЫЕ

Помимо эталонов, для обеспечения единства измерений используют стандартные образцы.

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

В соответствии с РМГ 29-2013 *стандартный образец* (*Reference Material*) – материал, достаточно однородный в отношении определенных свойств для того, чтобы использовать его при измерении или при оценивании качественных свойств в соответствии с предполагаемым назначением [40].

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 аттестованные стандартные образцы.

По своему метрологическому назначению стандартные образцы играют роль однозначных мер. Иными словами, стандартные образцы состава и свойств веществ и материалов рассматриваются как средства измерения, характеристика которых представлена в виде известного при определенных условиях внешней среды значения физической величины. К ним относятся образцы твердости, шероховатости, а также стандартные образцы, используемые при поверке приборов для определения механических свойств материалов.

Стандартные образцы нержавеющей стали, аттестованной по химическому составу, могут количественно характеризовать содержание изотопов, элементов соединений. Стандартные образцы бензоловой кислоты аттестуются по удельной теплоте сгорания.

Стандартные образцы предназначены для обеспечения единства и требуемой точности измерений. В частности, стандартные вещества необходимы для получения отметок (реперных точек) при созда-

нии шкал. Например, чистый цинк служит для воспроизведения температуры – 419,58 °С, золото – 1064,43 °С. Образцы состава и свойств вещества воспроизводят значение величин, характеризующих состав или свойства именно того материала (вещества), из которого они изготовлены.

Стандартные образцы, как правило, не являются изделиями и реализуются обычно в виде части или порции вещества и материала. Часть или порция является полноценным носителем воспроизводимой единицы физической величины, поэтому соблюдение однородности состава и свойств или чистоты материала, из которого сделан образец, имеет принципиальное значение. Данные свойства определяют как тип стандартного образца.

*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 [40]. Используются стандартные образцы утвержденного типа для градуировки и калибровки средств измерений, для оценки пригодности и аттестации методик измерений для контроля точности измерений, для периодической аттестации испытательного оборудования и в других случаях.

*Утверждение типа стандартных образцов* – это документально оформленное в установленном порядке решение о признании соответствия типа стандартных образцов метрологическим и техническим требованиям на основании результатов испытаний [47].

Для обеспечения единства измерений, помимо эталонов и стандартных образцов, необходимы также данные о физических константах и свойствах веществ и материалов, прошедших в установленном порядке определенную аттестацию.

*Справочные данные (Reverence Data)* – данные, относящиеся к свойству материального объекта или явления или к системе компонентов известного состава и структуры, полученные из идентифицированного источника, критически оцененные и обоснованные по точности.

Государственная служба стандартных справочных данных о физических константах и свойствах веществ и материалов осуществляет сбор, обработку, хранение и стандартизацию указанных данных, а также справочно-информационное обслуживание потребителей соответствующих областей науки и производства в соответствии

с ГОСТ Р 8.614–2018 «Государственная система обеспечения единства измерений. Государственная служба стандартных справочных данных» [42].

Функции государственной службы стандартных справочных данных возложены на ФБУ «Научно-исследовательский центр прикладной метрологии – Ростест».

Стандартными справочными данными считают справочные данные, опубликованные признанной авторитетной организацией. Значения фундаментальных физических констант, которые регулярно оцениваются и публикуются ICSUCODATA, а значения относительных атомных масс элементов оцениваются каждые два года IUPAC–CIAAW на Генеральной ассамблее, публикуются в международных журналах *Pure and Applied Chemistry* или *Journal of Physical and Chemical Reference Data*.

## 5.4. ТРЕБОВАНИЯ К СРЕДСТВАМ ИЗМЕРЕНИЙ

В сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений к применению допускаются средства измерений утвержденного типа, прошедшие поверку в соответствии с положениями федерального закона № 102-ФЗ от 26.06.2008 в действующей редакции [47].

### 5.4.1. УТВЕРЖДЕНИЕ ТИПА СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

*Тип средств измерений (Pattern of a Measuring Instrument)* – 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 [40]. При этом средства измерений одного типа могут иметь различные модификации.

Решение об утверждении типа средств измерений принимается Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии на основании положительных результатов испытаний. Порядок проведения испытаний средств измерений в целях утверждения типа устанавливает Приказ Минпромторга России № 2905 от 28.08.2020 г. [37].

На рис. 5.3 представлен пример свидетельства об утверждении типа средства измерений.

Знак утверждения типа наносится на каждый экземпляр средства измерений утвержденного типа, сопроводительные документы к указанным средствам измерений. Общий вид знака утверждения типа средства измерений приведен на рис. 5.4.

Средства измерений утвержденного типа, предназначенные для применения в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений, подлежат поверке. Перечень средств измерений, относящихся к сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений, установлен Постановлением Правительства РФ № 1847 от 16.11.2020 г. [35]. Средства измерений, не предназначенные для применения в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений, могут подвергаться поверке в добровольном порядке.



Рис. 5.3. Общий вид свидетельства об утверждении типа средства измерений



Рис. 5.4. Знак утверждения типа средства измерений

#### 5.4.2. Поверка средств измерений

*Поверка средств измерений (Verification of a Measuring Instrument)* – установление официально уполномоченным органом пригодности средства измерений к применению на основании экспериментально определяемых метрологических характеристик и подтверждения их соответствия установленным обязательным требованиям [40]. Порядок проведения поверки средств измерений устанавливает приказ Мипромторга России № 2510 от 31.07.2020 г. [36].

Средства измерений на всех стадиях жизненного цикла подлежат поверке.

После поверки на средство измерений и сопроводительные документы устанавливают поверительное клеймо (рис. 5.5).

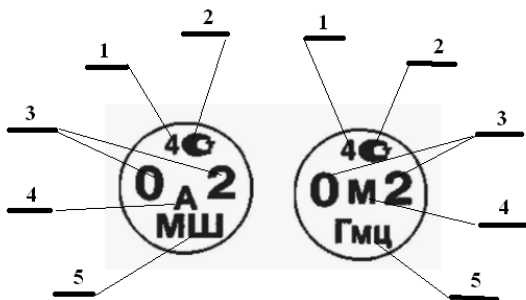


Рис. 5.5. Варианты поверительного клейма, используемого в различных организациях:  
1 – месяц года (1, 2, 3... 12) или квартал (I, II, III, IV); 2 – знак поверки; 3 – последние две цифры года; 4 – индивидуальный знак поверителя; 5 – шифр метрологической службы

При поверке используют эталоны. Поверку проводят в соответствии с обязательными требованиями, установленными нормативными документами по поверке, специально обученные и аттестованные специалисты. Поверку осуществляют в соответствии с поверочной схемой.

*Поверочная схема (Hierarchy Scheme)* – иерархическая структура, устанавливающая соподчинение эталонов, участвующих в передаче единицы или шкалы измерений от исходного эталона средством измерений (с указанием методов и погрешностей при передаче), утверждаемая в установленном порядке в виде нормативного документа [40].

Поверочные схемы в зависимости от области распространения подразделяются на государственные, локальные и межгосударственные.

*Локальная поверочная схема (Local Hierarchy Scheme)* – поверочная схема, распространяющаяся на эталоны и средства измерений данной величины, применяемые в регионе, отрасли, ведомстве или на отдельном предприятии и утвержденная в качестве нормативного документа организацией, отвечающей за обеспечение единства измерений [40].

Межгосударственная поверочная схема разрабатывается по соглашению между заинтересованными странами – членами СНГ.

Содержание и построение поверочных схем нормируется ГОСТ 8.061-2024 «Государственная система обеспечения единства измерений. Поверочные схемы. Содержание и построение» [7].

На рис. 5.6 приведен пример компоновки государственной поверочной схемы.

На рис. 5.6 приведен пример компоновки государственной поверочной схемы.

### 5.4.3. КАЛИБРОВКА СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

Средства измерений, не предназначенные для применения в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений, могут подвергаться калибровке на добровольной основе.

*Калибровка средств измерений (Calibration)* – совокупность операций, устанавливающих соотношение между значением величины, полученным с помощью данного средства измерений, и соответствующим значением величины, определенным с помощью эталона, с целью определения метрологических характеристик этого средства измерений [40].

Результаты калибровки позволяют определить значения измеряемой величины по показаниям средства измерений или поправки к его показаниям или оценить погрешность этих средств. Содержание и изложение методик калибровки регламентирует национальный стандарт ГОСТ Р 8.879-2014 «Государственная система обеспечения единства измерений. Методики калибровки средств измерений. Общие требования к содержанию и изложению» [18].

Несмотря на то что калибровка является добровольной, многие предприятия и организации, заинтересованные в повышении конкурентоспособности своей продукции или услуг, устанавливают калибровку средств измерений как обязательную процедуру. При этом на предприятии может быть создана собственная система калибровки средств измерений или метрологическая служба предприятия получает аккредитацию на право калибровки в одной из существующих в стране или за рубежом систем калибровки.

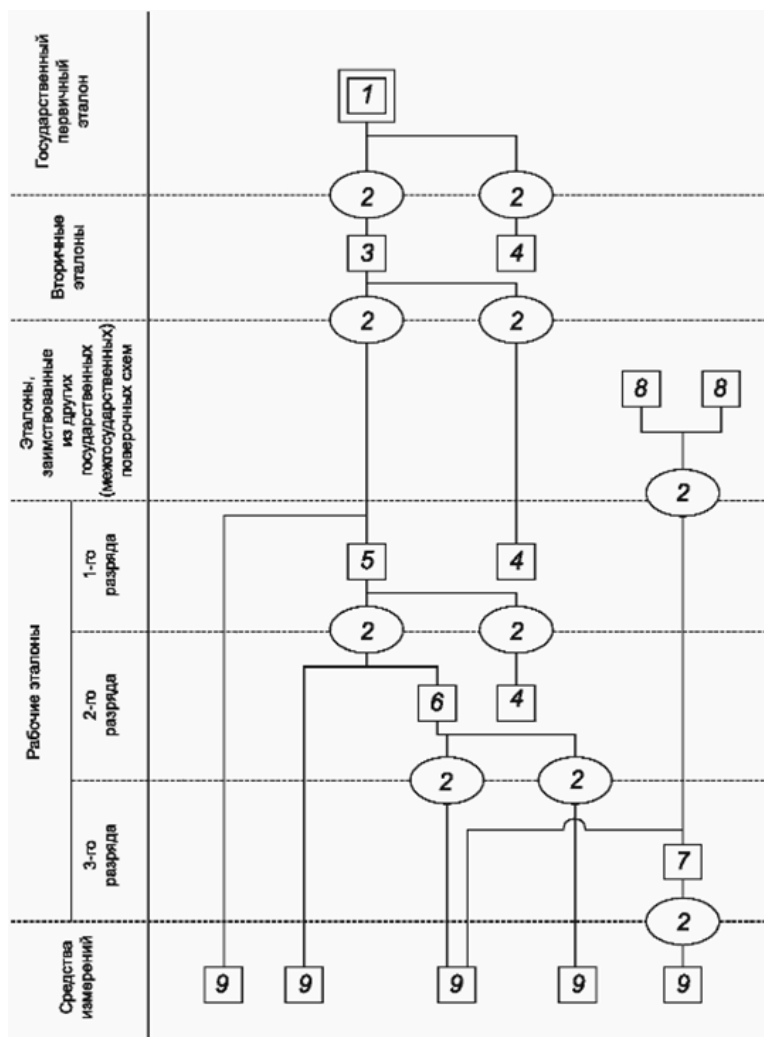


Рис. 5.6. Пример компоновки государственной поверочной схемы: 1 – государственный первичный эталон; 2 – метод передачи единицы величины; 3 – вторичный эталон; 4 – эталон сравнения; 5, 6, 7 – рабочие эталоны соответствующих разрядов; 8 – эталоны, заимствованные из других государственных (межгосударственных) поверочных схем; 9 – средства измерений

#### 5.4.4. МЕТРОЛОГИЧЕСКАЯ ЭКСПЕРТИЗА ТЕХНИЧЕСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ

*Метрологическая экспертиза технической документации* – анализ и оценка правильности установления, применения и соблюдения в технической документации метрологических требований, правил и норм в области обеспечения единства измерений [19].

В процессе проведения метрологической экспертизы оцениваются номенклатура измеряемых параметров, оптимальность требований к точности измерений, полнота и правильность требований к точности средств измерений, возможность эффективного метрологического обслуживания выбранных средств измерений и др.

Порядок проведения обязательной метрологической экспертизы требований, содержащихся в проектах нормативных правовых актов РФ, устанавливается федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии, которое осуществляет функции по выработке государственной политики и нормативно-правовому регулированию в области обеспечения единства измерений [47].

В отношении объектов, для которых законодательством РФ не предусмотрена обязательная метрологическая экспертиза, может проводиться добровольная метрологическая экспертиза. Цели, задачи, организацию проведения и содержания добровольной метрологической экспертизы устанавливает ГОСТ Р 8.1024-2023 «Государственная система обеспечения единства измерений. Метрологическая экспертиза технической документации. Основные положения» [19].

## 5.5. ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ МЕТРОЛОГИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ (НАДЗОР)

Государственное регулирование в области обеспечения единства измерений наряду с утверждением типа средств измерений их проверки и метрологической экспертизы технической документации включает федеральный государственный метрологический контроль (надзор).

*Федеральный государственный метрологический контроль (надзор)* – контрольная деятельность в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений, осуществляемая уполномоченными федеральными органами исполнительной власти, заключающаяся в систематической проверке соблюдения установленных законодательством РФ об обеспечении единства измерений обязательных требований, а также в применении мер за нарушения, выявленные во время надзорных действий [47].

Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии и его территориальные органы осуществляют надзор на основе управления рисками причинения вреда. Объекты надзора подлежат отнесению к одной из категорий риска:

- высокий риск;
- значительный риск;
- средний риск;
- умеренный риск;
- низкий риск.

Отнесение объектов надзора к категориям риска осуществляется с использованием информационной системы Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии по представлению руководителей территориальных органов.

С учетом тяжести потенциальных негативных последствий возможного несоблюдения контролируемым лицом обязательных требований выделяют четыре группы тяжести, описание которых приведено в таблице 5.3.

При наличии критериев, позволяющих отнести деятельность контролируемого лица к различным группам тяжести, подлежит

применению критерий, позволяющий отнести деятельность контролируемого лица к более высокой категории риска.

Таблица 5.3. Критерии разделения контролируемых объектов по группам тяжести при применении средств измерений, стандартных образцов и эталонов единиц величин

| Группа тяжести | Область деятельности                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|----------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| А              | 1. Здравоохранение.<br>2. Выполнение работ по обеспечению безопасных условий и охраны труда.<br>3. Выполнение государственных учетных операций и учете количества энергетических ресурсов                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| Б              | 1. Осуществление деятельности в области охраны окружающей среды.<br>2. Осуществление торговли, выполнение работ по расфасовке товаров.<br>3. Проведение банковских, налоговых, таможенных операций и таможенного контроля.<br>4. Обеспечение безопасности дорожного движения.<br>5. Осуществление деятельности в области гидрометеорологии, мониторинга состояния и загрязнения окружающей среды.<br>6. Выполнение государственных учетных операций и учете количества энергетических ресурсов                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| В              | Осуществление ветеринарной деятельности                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Г              | 1. Деятельность контролируемых лиц по выпуску в обращение и обращению средств измерений утвержденного типа, стандартных образцов утвержденного типа или эталонов единиц величин<br>2. Деятельность контролируемых лиц по выполнению измерений, относящихся к сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений, применению для этих целей стандартных образцов или эталонов единиц величин в следующих областях деятельности:<br>– при оказании услуг почтовой связи, учете объема оказанных услуг электросвязи операторами связи и обеспечения целостности и устойчивости функционирования сети связи общего назначения;<br>– при осуществлении геодезической и картографической деятельности;<br>– при проведении официальных спортивных соревнований, обеспечении подготовки спортсменов высокого класса:<br>– при осуществлении производственного контроля над соблюдением установленных законодательством РФ требований промышленной безопасности к эксплуатации опасного производственного объекта, выполнения работ по оценке соответствия продукции и иных объектов обязательным требованиям в соответствии с законодательством РФ о техническом регулировании, выполнении поручений суда, органов прокуратуры, государственных органов исполнительной власти, а также при осуществлении мероприятий государственного контроля (надзора) |

С учетом оценки вероятности несоблюдения контролируемыми лицами обязательных требований их деятельность разделяется на группы вероятности: 1, 2, 3, 4 (таблица 5.4).

Таблица 5.4. Разделение контролируемых лиц по группам вероятности

| Группа тяжести | Деятельность контролируемых лиц, осуществляемая с нарушениями требований законодательства РФ об обеспечении единства измерений, в отношении которых имеется вступившее в силу постановление |
|----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1              | В течение двух последних лет о привлечении к административной ответственности                                                                                                               |
| 2              | В течение трех последних лет о привлечении к административной ответственности                                                                                                               |
| 3              | В течение четырех последних лет о привлечении к административной ответственности                                                                                                            |
| 4              | Отсутствует привлечение к административной ответственности                                                                                                                                  |

Таким образом, отнесение деятельности контролируемого лица к определенной категории риска основывается на соотношении групп тяжести и группы вероятности (таблица 5.5).

Таблица 5.5. Соотношение понятий категории риска, группы тяжести и группы вероятности

| Категория риска   | Группа риска     | Группа вероятности |
|-------------------|------------------|--------------------|
| Высокий риск      | А<br>Б           | 1<br>1             |
| Значительный риск | А<br>Б<br>В      | 2<br>2<br>1        |
| Средний риск      | А<br>Б<br>В<br>Г | 3<br>3<br>2<br>1   |
| Умеренный риск    | В<br>Г<br>Г      | 3<br>2<br>3        |
| Низкий риск       | В<br>Г           | 4<br>4             |

Порядок организации и осуществления федерального государственного метрологического надзора устанавливает Положение о федеральном государственном метрологическом контроле (надзоре), которое утверждено Постановлением правительства РФ № 1053 от 29.06.2021 г. в актуальной действующей редакции.

## 5.6. МЕЖДУНАРОДНЫЕ И РЕГИОНАЛЬНЫЕ ОРГАНИЗАЦИИ ПО МЕТРОЛОГИИ

Испытания и контроль качества продукции, оценка соответствия, аккредитация метрологических лабораторий сопряжены с действиями, основанными на национальных системах измерений. При оценке соответствия продукции или процесса требованиям стандартов осуществляются измерения различных параметров, начиная с характеристик продукции и заканчивая параметрами внешних воздействий. При сертификационных испытаниях, устанавливающих соответствие товара обязательным или добровольным требованиям, методика и практика измерений прямо сказываются на сопоставлении результатов, что непосредственно связано с признанием самого сертификата. Следовательно, метрология сможет обеспечивать интересы международной торговли, если соблюдается единство измерений как необходимое условие сопоставимости результатов испытаний. Обеспечить сопоставимость результатов – это важнейшая задача в деятельности международных организаций по метрологии. Благодаря усилиям этих организаций в большинстве стран мира принята Международная система единиц физических величин (СИ), действует сопоставимая терминология, приняты рекомендации по способам нормирования метрологических характеристик средств измерений. Международные метрологические организации работают в контакте с ИСО и МЭК, что соответствует более широкому международному распространению единства измерений.

Наиболее крупные международные метрологические организации – Международная организация мер и весов и Международная организация законодательной метрологии.

В 1875 году 17 стран (в том числе и Россия) подписали Метрическую конвенцию, цель которой – унификация национальных систем единиц измерений и установление единых физических эталонов длины и массы (метра и килограмма). По существу, Метрическая конвенция явилась первым международным стандартом. На основе этой Конвенции была создана межправительственная *Международная организация мер и весов* – МОМВ. Официальный язык организации – французский.

Метрическая конвенция действует и по сей день (с дополнениями от 1921 года).

В соответствии с Метрической конвенцией было создано Международное бюро мер и весов – МБМВ (*Bureau International des Poids et Mesures – BIPM*) – первая международная научно-исследовательская лаборатория, которая хранит и поддерживает международные эталоны: прототипы метра и килограмма, единицы ионизирующих излучений, электрического сопротивления и др. МБМВ находится во Франции, в Севре (близ Парижа).

Главная практическая задача МБМВ – сличение национальных эталонов с международными эталонами различных единиц измерений. Фактически МБМВ координирует деятельность метрологических организаций более 100 государств [22; 23].

Научное направление работы этой организации – совершенствование метрической системы измерений. МБМВ постоянно совершенствует международные эталоны, разрабатывает и применяет новые и новейшие методы и средства точных измерений, создает новые и заменяет устаревшие концепции, координирует метрологические исследования в странах – членах МБМВ.

Программы научной и практической деятельности МБМВ утверждает Генеральная конференция по мерам и весам – высший международный орган по вопросам установления единиц, их определений и методов воспроизведения. В ее работе принимают участие все страны, присоединившиеся к Конвенции, и проходит она не реже чем 1 раз в 4 года.

Научные разработки МОМВ имеют большое практическое значение. Достаточно назвать принятие Международной системы единиц СИ (1961 год), нового определения целого ряда эталонов основных единиц. Последнее позволило повысить точность национальных эталонов времени и частоты в 100–1000 раз, а это, в свою очередь, положительно отразилось на обеспечении точности космических полетов и во многих других фундаментальных научных исследованиях.

Россия как участница МОМВ пользуется правом регулярного сличения шкалы времени с международной шкалой атомного времени *TAI* (*Temps Atomique International*), в установлении которой используются национальные эталоны США, Германии, Канады, специальные спутники связи. России это дает возможность поддерживать заданную

точность государственного первичного эталона времени и частоты, а также систему их передачи с наименьшими затратами.

Другой пример – переход на новое определение метра в 1983 году. Этому предшествовала десятилетняя подготовка, за время которой специалисты многих стран, в том числе и бывшего СССР, выполнили огромный объем работ.

Важным следствием участия в работе МОМВ является синхронный переход стран на новые единицы измерений или новые эталоны основных единиц. Это создает основу для взаимного признания результатов испытаний и измерений, позволяет устранить технические затруднения в международной торговле, обмене научно-технической информацией, технологиями [21].

Вопросами законодательной метрологии занимается *Международная организация законодательной метрологии* – МОЗМ (англ. *International Organization of Legal Metrology*, фр. *L'Organisation Internationale de Metrologie Legale* – OLML). Она учреждена на основе межправительственной Конвенции, подписанной в 1955 году, и объединяет в настоящее время более 90 государств. Россия участвует в работе МОЗМ.

Главные цели МОЗМ:

- способствовать глобальному признанию метрологии как важнейшей инфраструктуры для научного, промышленного и экономического сотрудничества;
- содействовать развитию законодательной метрологии как важного способа установления и обеспечения необходимых уровней доверия к результатам измерений во всех сферах общественных интересов;
- устранять технические барьеры в торговле, возникающие из-за несогласованных правил национальной метрологии или из-за несогласованных методик применения правил.

МОЗМ занимается вопросами установления класса точности средств измерений; обеспечением единообразия типов образцов и систем, единообразием методик выполнения измерений, единообразием методов и средств поверки.

Высший руководящий орган МОЗМ – Международная конференция законодательной метрологии, которая созывается с интервалом 1 раз в четыре года. В работе конференции обычно участвуют не только страны-члены, но также и те страны, которые планируют стать

ее членами, и различные международные союзы, чья деятельность связана с метрологией. Решения, принятые на конференции, носят рекомендательный характер.

Формы сотрудничества МОЗМ с другими организациями различны: обмен информацией по проводимым и планируемым работам, участие в заданиях, создание смешанных комитетов. Все они преследуют одну цель – избежать дублирования в работе.

Особо следует отметить деятельность МОЗМ по сертификации средств измерений.

Сертификат МОЗМ – это документ, подтверждающий соответствие средства измерений определенной Международной рекомендации МОЗМ. Сертификат МОЗМ дает гарантию изготовителю средства измерения в том, что изделие соответствует международным требованиям, которые признаются большинством государств мира.

Для гармонизации деятельности в области аккредитации испытательных лабораторий была создана *Международная организация по сотрудничеству в области аккредитации лабораторий – ИЛАК (International Laboratory Accreditation Cooperation – ILAC)*. Аккредитация устанавливает компетентность лабораторий по проведению специфических типов испытаний, измерений и калибровки. ИЛАК дает официальное подтверждение того, что лаборатория обладает полномочиями для проведения калибровки и испытаний, тем самым способствует доступу потребителей к надежным услугам. В ИЛАК входят представители органов по аккредитации из более чем 90 стран, а также региональные организации по оценке соответствия. Главная цель ИЛАК – это признание испытательных лабораторий и надзорных органов через Соглашение ИЛАК, что обеспечивает признание результатов испытаний, инспекций и калибровки, которые сопровождают товары на всем пути жизненного цикла.

30 октября 2017 года Федеральная служба по аккредитации РФ стала 92-м участником соглашения ILAC MRA, подписанного органами по аккредитации из 95 экономик мира. Участие в ILAC предусматривает взаимное признание результатов испытаний всеми участниками в рамках заявленной области аккредитации.

Вопросами метрологии занимаются и многие другие международные организации, например:

- Международный консультативный комитет по радиосвязи;

– Международный консультативный комитет по телефонии и телеграфии;

– Международная организация гражданской авиации;

– Международное агентство по атомной энергии.

*Международное агентство по атомной энергии* – МАГАТЭ (*International Atomic Energy Agency – IAEA*) – международная организация для развития сотрудничества в области мирного использования атомной энергии. Основана в 1957 году, штаб-квартира расположена в Вене.

Агентство было создано как независимая межправительственная организация в системе ООН, а с появлением Договора о нераспространении ядерного оружия его работа приобрела особое значение. Цель работы Агентства в стране – констатировать, что работы в мирной ядерной области не переключаются на военные цели.

В функции МАГАТЭ входит:

– поощрение исследований и разработок по мирному использованию атомной энергии;

– поощрение обмена научными достижениями и методами;

– формирование и применение системы гарантий того, что гражданские ядерные программы и разработки не будут использованы в военных целях;

– разработка, установление и адаптация норм в области здравоохранения и безопасности.

*Международная организация гражданской авиации* – ИКАО (*International Civil Aviation Organization – ICAO*) – это учреждение ООН, устанавливающее международные нормы гражданской авиации и координирующее ее развитие с целью повышения безопасности и эффективности.

Уставной целью ИКАО является обеспечение безопасного, упорядоченного развития международной авиации во всем мире и другие аспекты организации и координации международного сотрудничества по всем вопросам гражданской авиации и международных перевозок.

Наряду с международными организациями в мире действует большое количество региональных организаций по стандартизации. Далее приводится информация о некоторых из них.

*Евро-Азиатское сотрудничество государственных метрологических учреждений* – КОOMET (*Euro-Asian Cooperation of National Metrological*

*Institutions*). Национальные организации по метрологии стран, входивших ранее в Совет экономической взаимопомощи, в 1991 году подписали Меморандум о сотрудничестве в области метрологии на уровне национальных метрологических служб.

Членами КООМЕТ являются Беларусь, Болгария, Германия, Польша, Россия, Румыния, Словакия, Украина, Куба и другие страны. Цель сотрудничества – содействие ускорению и упрощению товарообмена, экономии энергоресурсов, улучшению охраны труда и экономической ситуации в странах. Члены КООМЕТ рассматривают участие в ней как одну из возможных форм общения с международными и региональными организациями по метрологии.

*Европейская метрологическая организация – ЕВРОМЕТ (European Association of National Metrology Institutes – EURAMET)* – создана в 1987 году, объединяет страны – члены ЕС. Ее цель – развитие более тесного сотрудничества между странами в области совершенствования эталонов, улучшение качества измерительных служб, ускорение внедрения разработок по метрологии. ЕВРОМЕТ ведет исследовательскую работу в области фундаментальных констант, методов измерений наивысших уровней точности, создания эталонов, издает справочник «Метрология в Европе».

*Западно-Европейское объединение по законодательной метрологии – БЕЛМЕТ (European Cooperation in Legal Metrology – WELMEC)* – основано в 1989 году с целью координации деятельности национальных служб законодательной метрологии стран ЕС и устранения препятствий в торговле в рамках Европейского союза. В 1990 году 13 стран подписали Меморандум о взаимопонимании, который носит рекомендательный характер.

На уровне каждой отдельной страны научные и методические проблемы, связанные с единством измерений, рассматриваются как государственная задача, и их решение – предмет деятельности государственных метрологических институтов и лабораторий. В России этим занимается Всероссийский научно-исследовательский институт метрологической службы (ВНИИМС), в Германии – Федеральный физико-технический институт, в Швейцарии – Федеральное ведомство по метрологии.

Между бывшими республиками СССР, входящими в СНГ, подписано Межправительственное соглашение о проведении согласованной

политики в области стандартизации, метрологии и сертификации. В соответствии с этим документом сохраняется единство измерений на основе государственных стандартов СССР, использование единых эталонов, стандартных справочных данных, стандартных образцов состава и свойств веществ и материалов. Соглашение содержит положение о взаимном признании результатов испытаний средств измерений и их поверки. ВЕЛМЕТ не имеет собственного финансирования, каждый член объединения финансирует свою деятельность самостоятельно.

В таблице 5.6 приведены логотипы международных региональных организаций по метрологии.

Таблица 5.6. Логотипы международных и региональных организаций, проводящих работы в области метрологии

|                                                                                                                                                                                                                |                                                                                     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Международное бюро мер и весов (МБМВ).<br>Bureau International des Poids et Mesures (BIPM).<br>Штаб-квартира – Севр, Франция                                                                                   |    |
| Международная организация законодательной метрологии (МОЗМ).<br>International Organization of Legal Metrology.<br>L'Organisation Internationale de Metrologie legale (OLML).<br>Штаб-квартира – Париж, Франция |    |
| Международная организация по сотрудничеству в области аккредитации лабораторий (ИЛАК).<br>International Laboratory Accreditation Cooperation (ILAC).<br>Штаб-квартира – Торонто, Канада                        |    |
| Международное агентство по атомной энергии (МАГАТЭ).<br>International Atomic Energy Agency (IAEA).<br>Штаб-квартира – Вена, Австрия                                                                            |    |
| Международная организация гражданской авиации (ИКАО).<br>International Civil Aviation Organization (ICAO).<br>Штаб-квартира – Монреаль, Канада                                                                 |   |
| Евро-Азиатское сотрудничество государственных метрологических учреждений (КООМЕТ).<br>Euro-Asian Cooperation of National Metrological Institutions.<br>Штаб-квартира – Астана, Казахстан                       |  |
| Европейская метрологическая организация (ЕВРОМЕТ).<br>European Association of National Metrology Institutes (EURAMET).<br>Штаб-квартира – Брауншвейг, Германия                                                 |  |
| Западно-Европейское объединение по законодательной метрологии (ВЕЛМЕТ).<br>European Cooperation in Legal Metrology (WELMEC).<br>Штаб-квартира – Брауншвейг, Германия                                           |  |

|                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                   |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| <p>Азиатско-Тихоокеанское экономическое сотрудничество (АТЭС).<br/>Asia Pacific Economic Cooperation (APEC).<br/>Штаб-квартира – Сингапур, Республика Сингапур</p>                                                                                                         |  |
| <p>Международная электротехническая комиссия (МЭК).<br/>International Electrotechnical Commission (IEC).<br/>Штаб-квартира – Женева, Швейцария</p>                                                                                                                         |  |
| <p>Международная организация по стандартизации (ИСО).<br/>International Organization for Standardization (ISO).<br/>Штаб-квартира – Женева, Швейцария</p>                                                                                                                  |  |
| <p>Европейский комитет электротехнической стандартизации.<br/>Européen de Normalisation Électrotechnique (CENELEC).<br/>Штаб-квартира – Брюссель, Бельгия</p>                                                                                                              |  |
| <p>Тихоокеанский конгресс по стандартизации.<br/>Pacific Area Standards Congress (PASC).<br/>Штаб-квартира – Джакарта, Индонезия</p>                                                                                                                                       |  |
| <p>Международная федерация пользователей стандартов.<br/>International Federation of Standards Users (IFAN).<br/>Штаб-квартира – Женева, Швейцария</p>                                                                                                                     |  |
| <p>Международная конференция по измерениям (ИМЕКО).<br/>International Measurement Confederation (IMEKO).<br/>Штаб-квартира – Будапешт, Венгрия</p>                                                                                                                         |  |
| <p>Европейская федерация национальных ассоциаций измерений, испытательных и аналитических лабораторий (ЕВРОЛАБ).<br/>European Federation of National Associations of Measurement, Testing and Analytical Laboratories (EUROLAB).<br/>Штаб-квартира – Брюссель, Бельгия</p> |  |

## ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Обеспечение единства измерений в стране – это:
  - 1.1. Деятельность, направленная на установление и применение научных, правовых, организационных и технических основ, правил, норм и средств, необходимых для достижения состояния измерений, при котором их результаты выражены в узаконенных единицах величин
  - 1.2. Совокупность субъектов, норм, средств и видов деятельности, предназначенная для обеспечения единства измерений
  - 1.3. Сфера деятельности, в которой управление субъектами, нормами, средствами и видами деятельности по обеспечению единства измерений в Российской Федерации осуществляется на основании нормативных правовых документов, принятых в установленном порядке
  - 1.4. Структурное подразделение центрального аппарата федерального органа исполнительной власти и (или) его территориального органа, юридическое лицо или структурное подразделение юридического лица либо объединения юридических лиц
2. Сфера государственного регулирования обеспечения единства измерений – это:
  - 2.1. Деятельность, направленная на установление и применение научных, правовых, организационных и технических основ, правил, норм и средств, необходимых для достижения состояния измерений, при котором их результаты выражены в узаконенных единицах величин
  - 2.2. Совокупность субъектов, норм, средств и видов деятельности, предназначенная для обеспечения единства измерений
  - 2.3. Деятельность, в которой управление субъектами, нормами, средствами и видами деятельности по обеспечению единства измерений в Российской Федерации осуществляется на основании нормативных правовых документов, принятых в установленном порядке
  - 2.4. Структурное подразделение центрального аппарата федерального органа исполнительной власти и (или) его тер-

риториального органа, юридическое лицо или структурное подразделение юридического лица либо объединения юридических лиц

3. Входит ли оказание услуг почтовой связи, учет объема оказанных услуг электросвязи операторами связи в сферу государственного регулирования обеспечения единства измерений?

3.1. Нет, не входит

3.2. Входит по особому распоряжению федерального органа исполнительной власти

3.3. Да, входит

4. Входит ли проведение налоговых, таможенных операций и таможенного контроля в сферу государственного регулирования обеспечения единства измерений?

4.1. Нет, не входит

4.2. Входит по особому распоряжению федерального органа исполнительной власти

4.3. Да, входит

5. !!! Что составляет техническую базу обеспечения единства измерений в стране?

5.1. Эталонная база

5.2. Система стандартных образцов и справочных данных

5.3. Система научных метрологических центров РФ

5.4. Государственный метрологический надзор и контроль

6. Что составляет организационную основу обеспечения единства измерений в стране?

6.1. Эталонная база

6.2. Система стандартных образцов и справочных данных

6.3. Система научных метрологических центров РФ

6.4. Государственный метрологический надзор и контроль

7. В состав какого министерства входит федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии?

7.1. Минэкономразвития России

7.2. Минстрой России

7.3. Минюст России

7.4. Минобрнауки России

7.5. Минпромторг России

8. Что такое стандартный образец?
  - 8.1. Данные, относящиеся к свойству материального объекта или явления или к системе компонентов известного состава и структуры, полученные из идентифицированного источника, критически оцененные и обоснованные по точности
  - 8.2. Воспроизведение единицы величины путем создания фиксированной по размеру величины в соответствии с определением величины
  - 8.3. Средство измерительной техники, предназначенное для воспроизведения, хранения и передачи единицы величины
  - 8.4. Наименьшее измерение измеряемой величины, которое является причиной заметного изменения соответствующего показания
  - 8.5. Материал достаточно однородный в отношении определенных свойств для того, чтобы использовать его при измерении или при оценивании качественных свойств в соответствии с предполагаемым назначением
9. Что такое поверка средств измерений?
  - 9.1. Установление официально уполномоченным органом пригодности средства измерений к применению на основании экспериментально определяемых метрологических характеристик и подтверждения их соответствия установленным обязательным требованиям
  - 9.2. Анализ и оценка правильности установления, применения и соблюдения в технической документации метрологических требований, правил и норм в области обеспечения единства измерений
  - 9.3. Совокупность операций, устанавливающих соотношение между значением величины, полученным с помощью данного средства измерений, и соответствующим значением величины, определенным с помощью эталона, с целью определения метрологических характеристик этого средства измерений
  - 9.4. Иерархическая структура, устанавливающая соподчинение эталонов, участвующих в передаче единицы или шкалы измерений от исходного эталона средством измерений (с указанием методов и погрешностей при передаче), утверждаемая в установленном порядке в виде нормативного документа

10. Что такое метрологическая экспертиза?
- 10.1. Установление официально уполномоченным органом пригодности средства измерений к применению на основании экспериментально определяемых метрологических характеристик и подтверждения их соответствия установленным обязательным требованиям
  - 10.2. Анализ и оценка правильности установления, применения и соблюдения в технической документации метрологических требований, правил и норм в области обеспечения единства измерений
  - 10.3. Совокупность операций, устанавливающих соотношение между значением величины, полученным с помощью данного средства измерений, и соответствующим значением величины, определенным с помощью эталона, с целью определения метрологических характеристик этого средства измерений
  - 10.4. Иерархическая структура, устанавливающая соподчинение эталонов, участвующих в передаче единицы или шкалы измерений от исходного эталона средством измерений (с указанием методов и погрешностей при передаче), утверждаемая в установленном порядке в виде нормативного документа
11. Что такое поверочная схема?
- 11.1. Установление официально уполномоченным органом пригодности средства измерений к применению на основании экспериментально определяемых метрологических характеристик и подтверждения их соответствия установленным обязательным требованиям
  - 11.2. Анализ и оценка правильности установления, применения и соблюдения в технической документации метрологических требований, правил и норм в области обеспечения единства измерений
  - 11.3. Совокупность операций, устанавливающих соотношение между значением величины, полученным с помощью данного средства измерений, и соответствующим значением величины, определенным с помощью эталона, с целью определения метрологических характеристик этого средства измерений
  - 11.4. Иерархическая структура, устанавливающая соподчинение эталонов, участвующих в передаче единицы или шкалы изме-

рений от исходного эталона средством измерений (с указанием методов и погрешностей при передаче), утверждаемая в установленном порядке в виде нормативного документа

12. Что такое калибровка?

12.1. Установление официально уполномоченным органом пригодности средства измерений к применению на основании экспериментально определяемых метрологических характеристик и подтверждения их соответствия установленным обязательным требованиям

12.2. Анализ и оценка правильности установления, применения и соблюдения в технической документации метрологических требований, правил и норм в области обеспечения единства измерений

12.3. Совокупность операций, устанавливающих соотношение между значением величины, полученным с помощью данного средства измерений, и соответствующим значением величины, определенным с помощью эталона, с целью определения метрологических характеристик этого средства измерений

12.4. Иерархическая структура, устанавливающая соподчинение эталонов, участвующих в передаче единицы или шкалы измерений от исходного эталона средством измерений (с указанием методов и погрешностей при передаче), утверждаемая в установленном порядке в виде нормативного документа

13. Как называется поверка, при которой значения метрологических характеристик средства измерений устанавливаются по метрологическим характеристикам его элементов или частей?

13.1. Инспекционная

13.2. Периодическая

13.3. Выборочная

13.4. Поэлементная

14. Поверка средств измерений, проводимая до наступления срока его очередной периодической поверки, – это:

14.1. Выборочная поверка

14.2. Инспекционная поверка

14.3. Поэлементная поверка

14.4. Внеочередная поверка

# ОСНОВНЫЕ ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

---

**А**бсолютная погрешность измерения (*Absolute Error of a Measurement*) – погрешность измерения, выраженная в единицах измеряемой величины.

*Абсолютное измерение (Absolute Measurement)* – это измерение, основанное на прямых измерениях одной или нескольких основных величин и (или) использовании значений физических констант.

*Аттестованный стандартный образец (Certified Reference Material)* – стандартный образец с сопроводительной документацией, выданный авторитетным органом, в которой указано одно или более значений определенного свойства с соответствующими показателями точности измерений и прослеживаемостью, которые установлены с использованием обоснованных процедур.

**В**еличина (*Quantity*) – свойство материального объекта или явления, общее в качественном отношении для многих объектов и явлений, но в количественном отношении индивидуальное для каждого из них.

*Вероятность охвата (Coverage Probability)* – вероятность того, что совокупность истинных значений измеряемой величины находится в указанном интервале охвата.

*Внеочередная поверка средств измерений* – поверка средств измерений, проводимая до наступления срока его очередной периодической поверки.

*Вспомогательное средство измерений (Auxiliary Instrument)* – средство измерений той величины, влияние которой на основное средство измерений или объект измерений необходимо учитывать для получения результатов измерений требуемой точности.

*Вторичный эталон (Secondary Measurement Standard)* – эталон, получающий единицу величины или шкалу измерений непосредственно от первичного эталона данной единицы или шкалы

*Вторичный эталон (Secondary Measurement Standard)* – эталон, получающий единицу величины или шкалу измерений непосредственно от первичного эталона данной единицы или шкалы.

*Выборочная поверка средств измерений* – поверка группы средств измерений, отобранных из партии случайным образом, по результатам которой судят о пригодности всей партии.

*Действительное значение (Conventional True Value of a Quantity)* – значение величины, полученное экспериментальным путем и настолько близкое к истинному значению, что в поставленной измерительной задаче может быть использовано вместо него.

*Диапазон измерений (Measuring Interval)* – множество значений величин одного рода, которые могут быть измерены данным средством измерений или измерительной системой с указанной инструментальной неопределенностью или указанными показателями точности при определенных условиях.

*Дифференциальный метод (Differential Method of Measurement)* – это метод измерений, при котором измеряемая величина сравнивается с однородной величиной, имеющей известное значение, незначительно отличающееся от значения измеряемой величины, при котором измеряется разность между этими двумя величинами.

*Дополнительная погрешность средства измерения (Complementary Error of a Measuring Instrument)* – составляющая погрешности средства измерения, 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.

*Единство измерений (Uniformity of Measurement)* – состояние измерений, при котором их результаты выражены в узаконенных единицах величин или в значениях по установленным шкалам измерений, а показатели точности не выходят за установленные границы.

*Единица измерения величины (Unit of Measurement)* – величина фиксированного размера, которой присвоено числовое значение, равное

единице, определяемая и принимаемая по соглашению для количественного выражения однородных с ней величин.

**З**начение величины (*Value of a Quantity*) – выражение размера величины в виде некоторого числа принятых единиц или баллов по соответствующей шкале измерения.

**И**змерение величины (*Measurement*) – процесс экспериментального получения одного и более значений величины, которые могут быть обоснованно приписаны измеряемой величине.

*Измерительная система (Measuring System)* – 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.

*Измерительная установка (Measuring Installation)* – совокупность функционально объединенных в одном месте мер, измерительных приборов, измерительных преобразователей и других устройств, предназначенная для измерения одной или нескольких величин.

*Измерительный преобразователь (Measuring Transducer)* – средство измерений или его часть, служащее для получения и преобразования информации об измеряемой величине в форму, удобную для обработки, хранения, дальнейших преобразований, индикации или передачи.

*Измерительный прибор (Indicating Measuring Instrument)* – средство измерений, предназначенное для выработки сигнала измерительной информации в форме, доступной для непосредственного восприятия.

*Инспекционная поверка средств измерений* – поверка, проводимая официально уполномоченным органом при проведении государственного метрологического надзора (контроля) за состоянием и применением средств измерений.

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

*Интервал охвата (Coverage Interval)* – интервал, основанный на имеющейся информации, который содержит совокупность истинных значений измеряемой величины с заданной вероятностью.

*Истинное значение величины (True Value of a Quantity)* – это значение величины, которое соответствует определению измеряемой величины.

**К***алибровка средств измерений (Calibration)* – совокупность операций, устанавливающих соотношение между значением величины, полученным с помощью данного средства измерений, и соответствующим значением величины, определенным с помощью эталона, с целью определения метрологических характеристик этого средства измерений.

*Комплектная поверка средств измерений* – поверка, при которой определяют метрологические характеристики средства измерений, присущие ему как единому целому.

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

**Л***окальная поверочная схема (Local Hierarchy Scheme)* – поверочная схема, распространяющаяся на эталоны и средства измерений данной величины, применяемые в регионе, отрасли, ведомстве или на отдельном предприятии, и утвержденная в качестве нормативного документа организацией, отвечающей за обеспечение единства измерений.

**М***еждународная система единиц СИ (International System of Units, SI)* – система единиц, основанная на Международной системе величин вместе с наименованиями и обозначениями, а также набором приставок и их наименованиями и обозначениями вместе с правилами их применения, принятая Генеральной конференцией по мерам и весам.

*Мера физической величины (Material Measure)* – средство измерений, которое воспроизводит в процессе использования или постоянно хранит величины одного или более данных родов, с приписанными им значениями.

*Метод измерения (Method of Measurement)* – это прием или совокупность приемов сравнения измеряемой величины с ее единицей или

соотнесения со шкалой в соответствии реализованным принципом измерений.

*Метод измерений дополнением* – метод сравнения с мерой, в котором значение измеряемой величины дополняется мерой этой же величины, с таким расчетом, чтобы на прибор сравнения воздействовала их сумма, равная заданному значению.

*Метод измерений замещением (Substitution Method of Measurement)* – метод сравнения с мерой, в котором измеряемую величину замещают мерой с известным значением величины.

*Метод сравнения с мерой* – метод измерений, в котором измеряемую величину сравнивают с величиной, воспроизводимой мерой.

*Методика выполнения измерений (measurement procedure)* – установленная логическая последовательность операций и правил при измерении, выполнение которых обеспечивает получение результатов измерений в соответствии с принятым методом измерений.

*Метрологическая служба* – структурное подразделение центрального аппарата федерального органа исполнительной власти и (или) его территориального органа, юридическое лицо или структурное подразделение юридического лица либо объединения юридических лиц.

*Метрологическая экспертиза технической документации* – анализ и оценка правильности установления, применения и соблюдения в технической документации метрологических требований, правил и норм в области обеспечения единства измерений.

*Метрологические (контрольно-поверочные) измерения* выполняются при помощи эталонов с целью воспроизведения единицы физической величины для передач ее размера рабочим средствам измерения.

*Метрологическая характеристика средства измерений (Metrological Characteristic of a Measuring Instrument)* – характеристика одного из свойств средства измерений, влияющая на результат измерений.

*Метрология* – наука об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства и способах достижения требуемой точности.

*Модель измерений (Model of Measurement)* – уравнение связи между величинами в конкретной измерительной задаче.

**Н***еопределенность измерений (Measurement Uncertainty)* – неотрицательный параметр, характеризующий рассеяние значений

величины, приписываемых измеряемой величине на основании измерительной информации.

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

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

*Опорное значение величины (Reference Quantity Value)* – значение величины, которое используют в качестве основы для сопоставления со значениями величины того же рода.

*Основная величина (Base Quantity)* – единица измерения, принятая по соглашению для основной величины. Основная величина – это одна из величин из подмножества, выбранного для данной системы величин так, что никакая из величин этого подмножества не может выражаться через другие величины.

*Основная погрешность средства измерения (Intrinsic Error of a Measuring Instrument)* – погрешность средства измерения, применяемого при нормальных условиях.

*Относительное измерение (Relative Measurement)* – это измерение отношения одноименных величин или функций этого отношения.

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

*Основное средство измерений* – средство измерений той величины, значение которой необходимо получить в соответствии с измерительной задачей.

*Оценивание неопределенности измерений по типу А (Type A Evaluation of Measurement Uncertainty)* – оценивание составляющей неопределенности измерений путем статистического анализа измеренных значений величины, получаемых при определенных условиях измерений.

Оценивание неопределенности измерений по типу В (*Type B Evaluation of Measurement Uncertainty*) – оценивание составляющей неопределенности измерений способами, отличными от оценивания неопределенности измерений по типу А.

**Периодическая поверка средств измерений** (*Periodic Verification of a Measuring Instrument*) – поверка средств измерений, находящихся в эксплуатации или на хранении, выполняемая через установленные интервалы времени между поверками (межповерочные интервалы).

**Первичная поверка средств измерений** (*Initial Verification of a Measuring Instrument*) – поверка, выполняемая при выпуске средств измерений из производства или ремонта, а также при ввозе средства измерений из-за границы.

**Первичный эталон** (*Primary Measurement Standard*) – эталон, основанный на использовании первичной референтной методики измерений или созданный как артефакт, выбранный по соглашению.

**Поверка средств измерений** (*Verification of a Measuring Instrument*) – установление официально уполномоченным органом пригодности средства измерений к применению на основании экспериментально определяемых метрологических характеристик и подтверждения их соответствия установленным обязательным требованиям.

**Поверочная схема** (*Hierarchy Scheme*) – иерархическая структура, устанавливающая соподчинение эталонов, участвующих в передаче единицы или шкалы измерений от исходного эталона средством измерений (с указанием методов и погрешностей при передаче), утверждаемая в установленном порядке в виде нормативного документа.

**Погрешность метода измерений** (*Error of Method*) – составляющая погрешности измерений, обусловленная несовершенством принятого метода измерения.

**Погрешность результата измерений** (*Error of Measurement*) – разность между измеренным значением величины и опорным значением величины.

**Порядковая величина** (*Ordinal Quantity*) – величина, определенная в соответствии с принятыми по соглашению методом измерения или методикой измерений, для которой может быть установлено в соответствии с ее размером общее порядковое соглашение с другими

величинами того же рода, но для которой не применимы алгебраические операции над этими величинами.

*Поэлементная поверка средств измерений* – поверка, при которой значения метрологических характеристик средства измерений устанавливаются по метрологическим характеристикам его элементов или частей.

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

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

*Принцип измерения (Principle of Measurement)* – явление материального мира, положенное в основу измерения.

*Производная величина (Derived Quantity)* – единица измерения для производной величины. Производная величина – это величина, входящая в систему величин и определяемая через основные величины этой системы.

*Прямое измерение (Direct Measurement)* – это измерение, при котором искомое значение величины получают непосредственно от средства измерения.

**Р***абочее средство измерения* – средство измерения, предназначенное для измерений, не связанных с передачей размера единицы другим средствам измерений.

*Рабочий эталон (Working Measurement Standard)* – эталон, предназначенный для передачи единицы величины или шкалы измерений средствам измерения.

*Размер величины (Size of Quantity)* – количественная определенность величины, присущая конкретному материальному объекту или явлению.

*Размерность (Dimension of a Quantity)* – выражение в форме степенного одночлена, составленного из произведений символов основных величин в различных степенях и отражающее связь данной физической величины с величинами, принятыми в данной системе за основные с коэффициентом пропорциональности, равным 1.

*Расширенная неопределенность измерений (Expanded Measurement Uncertainty)* – произведение суммарной стандартной неопределенности и коэффициента охвата большего, чем число 1.

*Род величины (Kind of Quantity)* определяет качественную определенность величины, например, род величины – длина как характеристика протяженности вообще или электрическое сопротивление как общее свойство проводников электричества и т. п.

*Система единиц (System of Units)* – совокупность основных и производных единиц вместе с их кратными и дольными единицами, определенными в соответствии с установленными правилами для данной системы единиц.

*Система обеспечения единства измерений* – совокупность субъектов, норм, средств и видов деятельности, предназначенная для обеспечения единства измерений.

*Систематическая погрешность измерения (Systematic Measurement Error)* – составляющая погрешности результата измерения, остающаяся постоянной или же закономерно изменяющаяся при повторных измерениях одной и той же величины.

*Случайная погрешность измерения (Random Measurement Error)* – составляющая погрешности измерения, изменяющаяся случайным образом (по знаку, значению) при повторных измерениях, проведенных в определенных условиях.

*Совместные измерения* – это проводимые одновременно измерения двух или нескольких неоднородных величин для определения зависимости между ними.

*Совокупные измерения* – это проводимые одновременно измерения нескольких однородных величин, при которых искомые значения величин определяют путем решения системы уравнений, получаемых при измерении этих величин в различных сочетаниях.

*Справочные данные (Reference Data)* – данные, относящиеся к свойству материального объекта или явления или к системе компонентов известного состава и структуры, полученные из идентифицированного источника, критически оцененные и обоснованные по точности.

*Средство измерений (Measuring Instrument)* – техническое средство, предназначенное для измерений, имеющее нормированные метрологические характеристики.

*Стандартная неопределенность измерений (Standard Measurement Uncertainty)* – неопределенность измерений, выраженная в виде стандартного отклонения.

*Стандартный образец (Reference Material)* – материал, достаточно однородный в отношении определенных свойств для того, чтобы использовать его при измерении или при оценивании качественных свойств в соответствии с предполагаемым назначением.

*Суммарная стандартная неопределенность измерений (Combined Standard Measurement Uncertainty)* – стандартная неопределенность измерений, которую получают суммированием отдельных стандартных неопределенностей измерений, связанных с входными величинами и моделями измерений.

*Сфера государственного регулирования обеспечения единства измерений* – сфера деятельности, в которой управление субъектами, нормами, средствами и видами деятельности по обеспечению единства измерений в Российской Федерации осуществляется на основании нормативных правовых документов, принятых в установленном порядке.

**Т***ехнические (рабочие) измерения* – измерения, которые проводятся рабочими средствами измерения с целью получения информации об исследуемых свойствах объекта. Это, как правило, массовые измерения.

*Тип средств измерений (Pattern of a Measuring Instrument)* – 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.

*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.

*Точность измерений (Measurement Accuracy)* – близость измеренного значения к истинному значению измеряемой величины.

*Транспортируемый эталон (Travelling Measurement Standard)* – эталон, предназначенный для транспортирования к местам поверки (калибровки) средств измерений или сличения эталонов.

**У***тверждение типа средств измерений* – документально оформленное в установленном порядке решение о признании соответствия типа

средств измерений метрологическим и техническим требованиям на основании результатов испытаний в целях утверждения типа.

*Утверждение типа стандартных образцов* – документально оформленное в установленном порядке решение о признании соответствия типа стандартных образцов метрологическим и техническим требованиям на основании результатов испытаний в целях утверждения типа.

**Ф***едеральный государственный метрологический контроль (надзор)* – контрольная деятельность в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений, осуществляемая уполномоченными федеральными органами исполнительной власти, заключающаяся в систематической проверке соблюдения установленных законодательством РФ об обеспечении единства измерений обязательных требований, а также в применении мер за нарушения, выявленные во время надзорных действий.

**Ч***увствительность средства измерений (Sensitivity of a Measuring System)* – отношение изменения показаний средства измерений к вызывающему его изменению измеряемой величины.

**Ш***кала величины / шкала измерений (Quantity-Value Scale / Measurement Scale)* – упорядоченная совокупность значений величины, служащая исходной основой для измерения данной величины.

*Шкала наименований* – это своего рода качественная, а не количественная шкала, она, не содержит нуля и единиц измерений.

*Шкала порядковой величины* – шкала значений величины для порядковой величины.

**Э***талон (Measurement Standard)* – средство измерительной техники, предназначенное для воспроизведения, хранения и передачи единицы величины или шкалы измерений.

*Эталон сравнения (Transfer Standard)* – эталон, применяемый для сличений эталонов, которые по тем или иным причинам не могут быть непосредственно сличены друг с другом.

# БИБЛИОГРАФИЯ

---

1. Алехин, С. В. О референтных и первичных референтных методах измерений, прослеживаемых к шкалам измерений / С. В. Алехин, А. С. Дойников // Альманах современной метрологии, 2021. – № 2. – С. 148–157.
2. Бегунов, А. А. Калибровка и поверка средств измерений / А. А. Бегунов, М. Б. Абугов // Масложировая промышленность, 2015. – № 2. – С. 9–13.
3. ВНИИМ им. Д. И. Менделеева: официальный сайт. – URL: <https://www.vniim.ru/index.html> (дата обращения: 06.02.2026).
4. ГОСТ 8.009-84. Государственная система обеспечения единства измерений. Нормируемые метрологические характеристики средств измерений. – Москва: Стандартинформ, 2006. – 27 с.
5. ГОСТ 8.050-73. Государственная система обеспечения единства измерений. Нормальные условия выполнения линейных и угловых измерений. – Москва: Издательство стандартов, 1988. – 16 с.
6. ГОСТ 8.051-81. Государственная система обеспечения единства измерений. Погрешности, допускаемые при измерении линейных размеров до 500 мм. – Москва: Издательство стандартов, 1987. – 11 с.
7. ГОСТ 8.061-2024. Государственная система обеспечения единства измерений. Поверочные схемы. Содержание и построение. – Москва: Российский институт стандартизации, 2025. – 16 с.
8. ГОСТ 8.381-2009. Государственная система обеспечения единства измерений. Эталоны. Способы выражения точности. – Москва: Стандартинформ, 2019. – 24 с.
9. ГОСТ 8.395-80. Государственная система обеспечения единства измерений. Нормальные условия измерений при поверке. – Москва: Стандартинформ, 2008. – 7 с.

10. ГОСТ 8.417-2024. Государственная система обеспечения единства измерений. Единицы величин. – Москва: Российский институт стандартизации, 2025. – 24 с.
11. ГОСТ 34.100.1-2017. Неопределенность измерения. Часть 1. Введение в руководство по выражению неопределенности измерения. – Москва: Стандартинформ, 2018. – 29 с.
12. ГОСТ 34.100.3-2017. Неопределенность измерения. Часть 3. Руководство по выражению неопределенности измерения. – Москва: Стандартинформ, 2018. – 116 с.
13. ГОСТ 16504-81. Система государственных испытаний продукции. Испытания и контроль качества продукции. Основные термины и определения. – Москва: Стандартинформ, 2011. – 25 с.
14. ГОСТ Р 8.000-2015. Государственная система обеспечения единства измерений. Основные положения. – Москва: Стандартинформ, 2019. – 15 с.
15. ГОСТ Р 8.563-2009. Государственная система обеспечения единства измерений. Методики (методы) измерений. – Москва: Стандартинформ, 2019. – 20 с.
16. ГОСТ Р 8.614-2018. Государственная система обеспечения единства измерений. Государственная служба стандартных справочных данных. – Москва: Стандартинформ, 2018. – 12 с.
17. ГОСТ Р 8.736-2011. Государственная система обеспечения единства измерений. Измерения прямые многократные. Методы обработки результатов измерений. Основные положения. – Москва: Стандартинформ, 2019. – 25 с.
18. ГОСТ Р 8.879-2014. Государственная система обеспечения единства измерений. Методики калибровки средств измерений. Общие требования к содержанию и изложению. – Москва: Стандартинформ, 2019. – 12 с.
19. ГОСТ Р 8.1024-2023. Государственная система обеспечения единства измерений. Метрологическая экспертиза технической документации. Основные положения. – Москва: Российский институт стандартизации, 2023. – 28 с.
20. ГОСТ Р ИСО 5725-1-2002. Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. Часть 1. Основные положения и определения. – Москва: Стандартинформ, 2009. – 32 с.

21. Грязин, Д. Г. Основы метрологии и метрологического обеспечения / Д. Г. Грязин. – Санкт-Петербург: Университет ИТМО. – 2019. – 72 с.
22. Земляной, К. Г. Метрология, стандартизация и сертификация / К. Г. Земляной, А. Э. Глызина. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та. – 2022. – 235 с.
23. Казанцева, Н. К. Техническое регулирование и метрология / Н. К. Казанцева. – Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т. – 2011. – 321 с.
24. Коновалов, Е. Ю. Актуальность проблемы разработки методики калибровки средств измерений геометрических величин / Е. Ю. Коновалов, С. В. Ченцов // Актуальные проблемы авиации и космонавтики: сборник материалов VI Международной научно-практической конференции, посвященной Дню космонавтики. – Красноярск, 2020. – Т. 2. – С. 590–592.
25. Коновалов, Е. Ю. Актуальность и проблемы разработки методик калибровки средств измерений геометрических величин в Российской Федерации / Е. Ю. Коновалов, С. В. Ченцов // Роль технического регулирования и стандартизации в эпоху цифровой экономики: сборник статей II Международной научно-практической конференции молодых ученых. – Екатеринбург, 2020. – С. 355–359.
26. Кремер, Н. Ш. Теория вероятностей и математическая статистика / Н. Ш. Кремер. – Москва: Юрайт, 2025. – 538 с.
27. Кудяров, Ю. А. Применение концепции неопределенностей при обработке результатов измерений / Ю. А. Кудяров. – Москва: АСМС, 2016. – 72 с.
28. Лазаренко, Е. Р. Основные цели и задачи развития обеспечения единства измерений [Электронный ресурс] / Е. Р. Лазаренко // Метрологическое обеспечение и испытания продукции на промышленных предприятиях в современных условиях: материалы семинара-совещания главных метрологов и ведущих специалистов предприятий Свердловской области. – Екатеринбург, 2025. – URL: <https://www.uraltest.ru/news/9793> (дата обращения 20.02.2026).
29. Магницкий, Л. Ф. Арифметика / Л. Ф. Магницкий. – Москва: Книга по требованию, 2022. – 88 с.

30. Международный словарь по метрологии. Основные и общие понятия и соответствующие термины; пер. с англ. и фр. Изд. 2-е, испр. – Санкт-Петербург: НПО «Профессионал», 2010. – 84 с.

31. Мон, Г. Метеорология или учение о погоде / Генрих Мон; пер. с нем. Н. Иорданского и Ф. Капустина. – Санкт-Петербург: Типография товарищества «Общественная польза», 1876. – 283 с.

32. Научные метрологические центры [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.rst.gost.ru> (дата обращения: 08.02.2026).

33. Петрушевский, Ф. И. Общая метрология / Ф. И. Петрушевский. – Москва: ЕЕ Медиа, 2012. – 824 с.

34. Панкратенко, А. Понятие неопределенности измерений и его развитие в отечественной метрологии / А. Панкратенко, В. Давыдов // Роль технического регулирования и стандартизации в условиях цифровой экономики: сборник статей участников V Международной научно-практической конференции молодых ученых. – Екатеринбург: Издательский дом «Ажур», 2023. – С. 353–359.

35. Приказ Минпромторга России от 15.12.2015 № 4091 «Об утверждении Порядка аттестации первичных референтных методик (методов) измерений, референтных методик (методов) измерений и методик (методов) измерений и их применения» [Электронный ресурс]. – URL: <https://base.garant.ru/71340086> (дата обращения: 08.02.2026).

36. Приказ Минпромторга России от 31.07.2020 № 2510 «Об утверждении порядка проведения поверки средств измерений, требований к знаку поверки и содержанию свидетельства о поверке» [Электронный ресурс]. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202011230010> (дата обращения: 10.02.2026).

37. Приказ Минпромторга России от 28.08.2020 № 2905 «Об утверждении порядка проведения испытаний стандартных образцов или средств измерений в целях утверждения типа, порядка утверждения типа стандартных образцов или типа средств измерений, внесение 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 поряд-

ка их нанесения» [Электронный ресурс]. URL: <https://base.garant.ru/74938473> (дата обращения 10.02.2026).

38. Р 50.2.090-2013. Рекомендации по метрологии. Государственная система обеспечения единства измерений. Методики количественного химического анализа. Общие требования к разработке, аттестации применению. – Москва: Стандартинформ, 2014. – 22 с.

39. РД РСК 02-2020. Порядок организации деятельности Российской системы калибровки [Электронный ресурс]. – URL: <https://meganorm.ru/Data2/1/4293721/4293721934.htm> (дата обращения: 11.02.2026).

40. РМГ 29-2013. Рекомендации по межгосударственной стандартизации. Государственная система обеспечения единства измерений. Метрология. Основные термины и определения [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200115154> (дата обращения: 11.02.2026).

41. РМГ 83-2007. Рекомендации по межгосударственной стандартизации. Государственная система обеспечения единства измерений. Шкалы измерений. Термины и определения. – Москва: Стандартинформ, 2008. – 20 с.

42. РМГ 91-2019. Государственная система обеспечения единства измерений. Использование понятий «погрешность измерений» и «неопределенность измерений». Общие принципы. – Москва: Стандартинформ, 2019. – 20 с.

43. Санникова, А. А. Развитие нормативных правовых документов и документов по стандартизации в области аттестации методик измерений / А. А. Санникова, Н. К. Казанцева // Молодежь и наука – 2021: сборник трудов международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – Екатеринбург, 2021. – С. 130–138.

44. Сергеев, А. Г. Метрология, стандартизация и сертификация / А. Г. Сергеев, В. В. Терегеря. – Москва: Юрайт, 2013. – 838 с.

45. Степанова, Е. А. Основы обработки результатов измерений / Е. А. Степанова, Н. А. Скулкина, А. С. Волегов; под общ. ред. Е. А. Степановой. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2014. – 95 с.

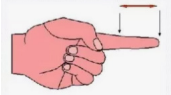
46. Столетов, Ф. Занимательная история мер измерений / Ф. Столетов. – Москва: Центролитграф, 2019. – 96 с.

47. Федеральный закон РФ «Об обеспечении единства измерений» № 102-ФЗ от 26.06.2008 [Электронный ресурс]. – URL: <https://base.garant.ru/12161093> (дата обращения: 11.02.2026).
48. Чекмарев, А. В. Управление качеством цифровых продуктов и проектами цифровой трансформации / А. В. Чекмарев, В. Н. Азоров, Ю. В. Куприянов; под ред. А. В. Чекмарева. – Санкт-Петербург: Лань, 2025. – 320 с.
49. Энгельс, Ф. Диалектика природы / Ф. Энгельс. – Москва: Издательство политической литературы, 1975. – 360 с.
50. 180 лет ВНИИМ: События. Личности. Воспоминания / Сост. С. И. Князев. – Санкт-Петербург: Издательский Центр «Гуманитарная Академия», 2022. – 384 с.
51. JCGM 106:2012. Evaluation of measurement data – the role of measurement uncertainty in conformity assessment [Электронный ресурс]. URL: <https://www.bipm.org/en/doi/10.59161/jcgm106-2012> (дата обращения: 11.02.2026).
52. JCGM 200:2008 International vocabulary of metrology – basic and general concepts and associated terms [Электронный ресурс]. URL: [http://ipg.geospace.ru/metrology/docs/JCGM\\_200\\_2008-orig.pdf](http://ipg.geospace.ru/metrology/docs/JCGM_200_2008-orig.pdf) (дата обращения: 11.02.2026).

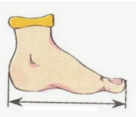
# ПРИЛОЖЕНИЯ

## Приложение 1. Сведения о некоторых старинных единицах измерения массы и длины [46]

| Единицы массы                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>Карат. Шкала деления карата состоит из 100 единиц</p>  <p>Используемое соответствие между массой драгоценных камней в каратах и их размером:<br/>0,02 ct – 1,7 mm, 0,03 ct – 2,0 mm<br/>0,04 ct – 2,2 mm, 0,05 ct – 2,4 mm<br/>0,10 ct – 3,0 mm, 0,15 ct – 3,4 mm<br/>0,20 ct – 3,8 mm, 0,25 ct – 4,1 mm<br/>0,30 ct – 4,4 mm, 0,50 ct – 5,0 mm<br/>0,60 ct – 5,3 mm, 0,75 ct – 5,7 mm<br/>0,90 ct – 6,2 mm, 1,00 ct – 6,4 mm<br/>1,25 ct – 6,9 mm, 1,50 ct – 7,3 mm<br/>1,75 ct – 7,7 mm, 2,00 ct – 8,1 mm<br/>2,25 ct – 8,5 mm, 2,50 ct – 8,8 mm<br/>2,75 ct – 9,1 mm, 3,00 ct – 9,4 mm<br/>3,50 ct – 10,0 mm, 4,00 ct – 10,4 mm<br/>Камни с массой не менее 0,01 ct считаются кройкой</p> | <p>Единица веса драгоценных камней, в переводе с языков древнего Юго-Востока означает «семя боба».</p> <p>Единица веса «карат» произошла от массы семечка рожкового дерева (средиземноморской акации) – очень распространенного растения на всем Средиземноморье и Ближнем Востоке. Интересно, что точный вес карата даже до самого недавнего времени немного различался по странам: от 0,195 грамма в Египте до 0,205 грамма в Англии. И только в начале XX века государства договорились, что вес карата будет ровно 0,2 грамма (дольше всех «упиралась» Англия – противница «французской» метрической системы).</p> <p>Есть еще одно значение слова «карат», принятое в странах, не признающих метрическую систему, – это мера чистоты золотого сплава. Этот карат тоже «вышел» из Древнего Рима, где выпускалась золотая монета весом в 24 карата. С тех пор в «неметрических» странах чистое золото стало иметь каратную пробу 24, наполовину чистое золото маркируется как 12 карат и т.д.</p> <p>То есть привычная нам проба золота 585 соответствует 14-каратному золоту в Англии и США, а проба 916–22-каратному</p> |

|                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>Аптекарский фунт, унция, драхм, скрупула, гран</p>                                                 | <p>В России до введения метрических мер в аптекарском деле применялась нюрнбергская система весов.<br/>Основная единица – 1 русский аптекарский фунт – 358,323 грамма.<br/>В одном аптекарском фунте 12 унций, 1 унция – 29,860 грамма.<br/>В одной унции – 8 драхм, 1 драхма – 3,732 грамма.<br/>В одной драхме 3 скрупула, 1 скрупул – 1,244 грамма.<br/>В одном скрупуле 20 гранов, 1 гран – 0,062,2 грамма.<br/>Данные единицы применялись для дозировки лекарств, Также гран применяли в ювелирном деле, равный четверти карата или 0,05 грамма<br/>Система отменена в СССР 1 января 1927 года</p>                                                |
| <p>Русский фунт</p>  | <p>Русский фунт, как мера веса стал широко применяться с конца XVIII века.<br/>Один русский фунт – 0,40951241 ± 0,00000001 килограмма.<br/>«Положение о мерах и весах», Высочайше утвержденное 4-го июня 1899 г., определяется следующим образом: «Ст. 1. Основанием российских мер и веса (массы) служит Ф., согласованный с платиновым образцом 1835 г., приготовленным по бронзовому золоченому монетному Ф. 1747 г. и выраженный в образцовом Ф. (прототипе) из иридийстой платины, носящем знаки «1894» и равняющемся сорока миллионам девятистам пятидесяти одной тысяче двумстам сорока одной стомиллионной части международного килограмма</p> |
| <p><b>Древнерусские меры длины</b></p>                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| <p>Перст</p>         | <p>Перст – ширина указательного пальца.<br/>Старорусская самая маленькая единица длины.<br/>Русский перст равен ширине указательного пальца, что составляет – 2 см.<br/>От слова «перст» происходят слова: перстень, наперсток, перчатки, перст судьбы и др.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| <p>Вершок</p>       | <p>Вершок – длина фаланги указательного пальца.<br/>Старорусская единица длины, первоначально равнялась длине основной фаланги указательного пальца. Слово вершок происходит от верх в смысле «верхняя оконечность чего-либо, вершина, верхушка». Макс Фасмер связывает вершок со значением «верхняя фаланга указательного пальца». 1,75 дюйма или 4,445 см.<br/>Впервые упоминалась в XVI веке</p>                                                                                                                                                                                                                                                    |
| <p>Пядь</p>        | <p>Пядь – расстояние между концами большого и указательного пальцев – 18 см.<br/>Ни пяди (земли не отдать, не уступить) – нисколько, даже самой небольшой части.<br/>Семи пядей во лбу – об очень умном, мудром человеке.<br/>Ещё использовалась пядь великая – это расстояние между растопыренными большим пальцем и мизинцем. По данным историков она была 22–23 см. Ещё использовалась пядь с кувырком – это длина кирпича</p>                                                                                                                                                                                                                      |

|                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>Локоть</p>    | <p>Локоть – расстояние от локтя до конца среднего пальца.<br/>         Локоть – это исконно древнерусская мера длины, известная с XI века.<br/>         Локоть – единица измерения длины, не имеющая определённого значения и примерно соответствующая расстоянию от локтевого сустава до конца вытянутого среднего пальца руки. Обычно принимают равной 45 см.<br/>         Локоть равнялся половине английского ярда</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| <p>Аршин</p>     | <p>Аршин – длина руки от основания плеча до кончика вытянутого среднего пальца.<br/>         Старинная русская мера длины, равна 0,7112 м. Аршин, как явствует из его названия, пришел на Русь с Востока, очевидно, вместе с Золотой Ордой – как деньги, таможня и т. п. В Турции мерили на «аршины», составлявшие по нашим нынешним меркам 70,9 см, и первоначально эту длину получил русский аршин. Первую попытку законодательно установить точный эталон аршина, для пресечения обманов при торговле, предпринял царь Алексей Михайлович: в аршине должно было быть 16 вершков</p>                                                                                                                                                                                                                  |
| <p>Сажень</p>    | <p>Сажень – русская мера длины, определяемая средними размерами человеческого тела, расстояние между пальцами вытянутых в противоположные стороны рук.<br/>         Старинная русская мера длины, известная с XI века. С давних времен на Руси существовали понятия маховой сажени (расстояния между концами пальцев расставленных в разные стороны рук – около 170 см) и косой сажени (расстояние от носка выставленной в сторону ноги до кончиков пальцев выставленной в сторону руки – около 2,5 метров). Такие меры измерения вполне годились для простых замеров, однако с усложнением общественной и экономической жизни потребовались более совершенные параметры.<br/>         В царствование Алексея Михайловича была установлена на государственной уровне казенная сажень, равная 2,16 м</p> |
| <p>Верста</p>  | <p>Верста – русская единица измерения расстояния, равная 500 саженей или 1500 аршин. Верста составляет 1066,8 метра.<br/>         Упоминается в литературных источниках с XI века, закрепилась в системе единиц измерения в XVII веке как самая крупная единица измерения расстояния в России. Верста использовалась в России до введения метрической системы мер в 1918 году</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |

| Английские меры                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Point (точка)                                                                             | <p>Равнялась 0,3528 мм. Обычно использовалась line (линия), которая состояла из 6 точек и составляла ~2 мм.</p> <p>В английской системе мер 1 линия равна 1/12 дюйма. В этих единицах измерялся калибр оружия, проводили измерения в биологии и типографском деле</p>                                                                                                                                                                                                                                                         |
| Дюйм<br> | <p>Первоначально дюйм считали равным длине сустава большого пальца.</p> <p>В 1324 г. английский король Эдвард II установил законный дюйм, равный длине трех ячменных зерен, вынутых из средней части колоса и приставленных одно к другому своими концами. И сейчас в английском языке есть мера «ячменное зерно», равная 1/3 дюйма. В русский быт мера «дюйм» вошла при Петре I</p>                                                                                                                                          |
| Фут<br>  | <p>Средняя длина ступни. Фут равен 30, 48 см.</p> <p>В XII веке фут практически современной длины был нанесен на основание колонны собора святого Павла в Лондоне и называется с тех пор «футом святого Павла».</p> <p>Английская мера длины, которая долгое время применялась в России.</p> <p>В России 1 фут составляет 1/7 часть сажени, при этом английский «фут» равен русскому.</p> <p>В настоящее время «фут» и «дюйм» почти вышли из употребления</p>                                                                 |
| Ярд<br> | <p>Ярд составляет 3 фута и равен 91 см.</p> <p>По одной из версий указом короля Генриха I в 1101 году ярд был установлен как расстояние от носа короля до конца среднего пальца его вытянутой руки. По другой версии ярд равен длине меча Генриха I. Сейчас в мире используется международная морская сажень, значение которой были приняты в 1958 году равным 2 ярдам или 6 футам, что составляет 1,83 м. Данная мера используется в основном для измерения глубины</p>                                                      |
| Миля                                                                                      | <p>Миля составляет 1578,7 м и была очень распространена в разных странах до введения метрической системы.</p> <p>Миля произошла от латинского <i>mīle passuum</i> – тысяча двойных шагов римских солдат в полном облачении на марше. Миля используется и сейчас, причем ее длина в разных странах сильно отличается от 0,58 км (Египет) до 11,3 км (старонорвежская миля).</p> <p>В мореплавание используют морскую милю. На Международной географической конференции в Монако в 1929 году морская миля составляла 1852 м</p> |

| <b>Старофранцузские меры длины</b> |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Линь (линия)                       | Составляет 2,12 мм и равен 1/12 дюйма                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Французский пус                    | Фактически дюйм, составляет 2,7 см.<br>1 пус = 12 линь.<br>Французский «пус» еще имел название «французский дюйм» или «парижский дюйм»                                                                                                                                                                                                     |
| Французский пье                    | Фактически фут, составляет 32,48 см. Еще его называли « <i>piéd de roi</i> – ступня короля»<br>Во Франции использовались футы разной длины в разных регионах. Сегодня слово «пье» иногда неофициально используют во Франции в качестве метрической единицы, которая равна 30 см                                                            |
| Куд                                | Составляет примерно 45 см. Это слово позаимствовано у древних римлян и произошло от их обозначения локтя «кубит»<br>Синонимом «куда» в кораблестроении Франции был <i>godix</i> . В портах Прованса, а также Южной Италии с XII века эта единица была известна под названием <i>goiie</i> , она равнялась 18 пусам, примерно 48,7 см       |
| Он                                 | Составляет 1,2 м, происходит от французского слова «предплечье». Данная величина просуществовала до 1834 г.                                                                                                                                                                                                                                |
| Туаз                               | Равен 6 пье или 1,5 онам и составляет 194,4 см<br>Во Франции в туазах измеряли рост человека. Вообще во Франции туазов было три: парижский, академический и контрольный. Старинные хроники утверждают, что в стену замка Большой Шатле в Париже был вмурован железный эталон туаза – парижский туаз. В документах он упоминается с 1394 г. |
| Милль                              | Составляет 1000 туаз, или 1949 м.<br>Морская миля равна 1852 м                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| <b>Китайские меры длины</b>        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Фэнь                               | Длина одного зернышка просо и составляет 3,33 мм                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Бу                                 | Двойной шаг – 1,66 м                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Чжан                               | Расстояние между пальцами распахнутых рук, что соответствует русской сажени                                                                                                                                                                                                                                                                |

**ПРИЛОЖЕНИЕ 2. ЗНАЧЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА  $t_p$  СЛУЧАЙНОЙ ВЕЛИЧИНЫ,  
ИМЕЮЩЕЙ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СТЬЮДЕНТА**

| n  | Вероятность, Р |      |      |      |      |      |      |      |      |       |       |       |
|----|----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|
|    | 0,1            | 0,2  | 0,3  | 0,4  | 0,5  | 0,6  | 0,7  | 0,8  | 0,9  | 0,95  | 0,98  | 0,99  |
| 1  | 0,16           | 0,32 | 0,51 | 0,73 | 1,00 | 1,38 | 1,96 | 3,08 | 6,31 | 12,71 | 31,82 | 63,66 |
| 2  | 0,14           | 0,29 | 0,44 | 0,62 | 0,82 | 1,06 | 1,34 | 1,89 | 2,92 | 4,30  | 6,96  | 9,92  |
| 3  | 0,14           | 0,28 | 0,42 | 0,58 | 0,76 | 0,98 | 1,25 | 1,64 | 2,35 | 3,18  | 4,54  | 5,84  |
| 4  | 0,13           | 0,27 | 0,41 | 0,57 | 0,74 | 0,94 | 1,19 | 1,53 | 2,13 | 2,78  | 3,75  | 4,60  |
| 5  | 0,13           | 0,27 | 0,41 | 0,56 | 0,73 | 0,92 | 1,16 | 1,48 | 2,01 | 2,57  | 3,36  | 4,03  |
| 6  | 0,13           | 0,26 | 0,40 | 0,55 | 0,72 | 0,91 | 1,13 | 1,44 | 1,94 | 2,45  | 3,14  | 3,71  |
| 7  | 0,13           | 0,26 | 0,40 | 0,55 | 0,71 | 0,90 | 1,12 | 1,41 | 1,89 | 2,36  | 3,00  | 3,50  |
| 8  | 0,13           | 0,26 | 0,40 | 0,55 | 0,70 | 0,89 | 1,11 | 1,40 | 1,86 | 2,31  | 2,90  | 3,35  |
| 9  | 0,13           | 0,26 | 0,40 | 0,54 | 0,70 | 0,88 | 1,10 | 1,38 | 1,83 | 2,26  | 2,82  | 3,25  |
| 10 | 0,13           | 0,26 | 0,40 | 0,54 | 0,70 | 0,88 | 1,09 | 1,37 | 1,81 | 2,23  | 2,76  | 3,17  |
| 11 | 0,13           | 0,26 | 0,40 | 0,54 | 0,70 | 0,88 | 1,09 | 1,36 | 1,80 | 2,20  | 2,72  | 3,11  |
| 12 | 0,13           | 0,26 | 0,39 | 0,54 | 0,69 | 0,87 | 1,08 | 1,36 | 1,78 | 2,18  | 2,68  | 3,05  |
| 13 | 0,13           | 0,26 | 0,39 | 0,54 | 0,69 | 0,87 | 1,08 | 1,35 | 1,77 | 2,16  | 2,65  | 3,01  |
| 14 | 0,13           | 0,26 | 0,39 | 0,54 | 0,69 | 0,87 | 1,08 | 1,34 | 1,76 | 2,14  | 2,62  | 2,98  |
| 15 | 0,13           | 0,26 | 0,39 | 0,54 | 0,69 | 0,87 | 1,07 | 1,34 | 1,75 | 2,13  | 2,60  | 2,95  |
| 16 | 0,13           | 0,26 | 0,39 | 0,53 | 0,69 | 0,86 | 1,07 | 1,34 | 1,75 | 2,12  | 2,58  | 2,92  |
| 17 | 0,13           | 0,26 | 0,39 | 0,53 | 0,69 | 0,86 | 1,07 | 1,33 | 1,74 | 2,11  | 2,57  | 2,90  |
| 18 | 0,13           | 0,26 | 0,39 | 0,53 | 0,69 | 0,86 | 1,07 | 1,33 | 1,73 | 2,10  | 2,55  | 2,88  |

|     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 19  | 0,13 | 0,26 | 0,39 | 0,53 | 0,69 | 0,86 | 1,07 | 1,33 | 1,73 | 2,09 | 2,54 | 2,86 |
| 20  | 0,13 | 0,26 | 0,39 | 0,53 | 0,69 | 0,86 | 1,06 | 1,32 | 1,72 | 2,09 | 2,53 | 2,84 |
| 21  | 0,13 | 0,26 | 0,39 | 0,53 | 0,69 | 0,86 | 1,06 | 1,32 | 1,72 | 2,08 | 2,52 | 2,83 |
| 22  | 0,13 | 0,26 | 0,39 | 0,53 | 0,69 | 0,86 | 1,06 | 1,32 | 1,72 | 2,07 | 2,51 | 2,82 |
| 23  | 0,13 | 0,26 | 0,39 | 0,53 | 0,68 | 0,86 | 1,06 | 1,32 | 1,71 | 2,07 | 2,50 | 2,81 |
| 24  | 0,13 | 0,26 | 0,39 | 0,53 | 0,68 | 0,86 | 1,06 | 1,32 | 1,71 | 2,06 | 2,49 | 2,80 |
| 25  | 0,13 | 0,26 | 0,39 | 0,53 | 0,68 | 0,86 | 1,06 | 1,32 | 1,71 | 2,06 | 2,48 | 2,79 |
| 26  | 0,13 | 0,26 | 0,39 | 0,53 | 0,68 | 0,86 | 1,06 | 1,31 | 1,71 | 2,06 | 2,48 | 2,78 |
| 27  | 0,13 | 0,26 | 0,39 | 0,53 | 0,68 | 0,85 | 1,06 | 1,31 | 1,70 | 2,05 | 2,47 | 2,77 |
| 28  | 0,13 | 0,26 | 0,39 | 0,53 | 0,68 | 0,85 | 1,06 | 1,31 | 1,70 | 2,05 | 2,47 | 2,76 |
| 29  | 0,13 | 0,26 | 0,39 | 0,53 | 0,68 | 0,85 | 1,05 | 1,31 | 1,70 | 2,04 | 2,46 | 2,76 |
| 30  | 0,13 | 0,26 | 9,39 | 0,53 | 0,68 | 0,85 | 1,05 | 1,31 | 1,70 | 2,04 | 2,46 | 2,75 |
| 40  | 0,13 | 0,25 | 0,39 | 0,53 | 0,68 | 0,85 | 1,05 | 1,30 | 1,68 | 2,02 | 2,42 | 2,70 |
| 60  | 0,13 | 0,25 | 0,39 | 0,53 | 0,68 | 0,85 | 1,05 | 1,30 | 1,67 | 2,00 | 2,39 | 2,66 |
| 120 | 0,13 | 0,25 | 0,39 | 0,53 | 0,68 | 0,84 | 1,04 | 1,29 | 1,66 | 1,98 | 2,36 | 2,62 |



## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

---



КАЗАНЦЕВА Татьяна Владимировна

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Метрология, стандартизация и сертификация» УрФУ. Область научных интересов – техническое регулирование в современных условиях, информационные системы в области управления качеством



АЛЕКСАНДРОВ Виктор Алексеевич

Кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Технология металлов и ремонт машин» УрГАУ. Область научных интересов – разработка ресурсосберегающих технологий восстановления и упрочнения деталей машин



КАЗАНЦЕВА Надежда Константиновна

Кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Метрология, стандартизация и сертификация» УрФУ. Область научных интересов – техническое регулирование в современных условиях, вопросы стандартизации и подтверждения соответствия.

*Учебное издание*

КАЗАНЦЕВА Татьяна Владимировна, АЛЕКСАНДРОВ Виктор Алексеевич,  
КАЗАНЦЕВА Надежда Константиновна

# ОСНОВЫ МЕТРОЛОГИИ

Учебное пособие

Редактор *А. В. Ерофеева*  
Дизайнер-верстальщик *А. Ю. Тюменцева*

Подписано в печать 04.06.2026. Формат 60×84/16. Бумага офсетная.  
Гарнитура Alegreya, Fira Sans. Усл. печ. л. 9,53. Тираж 500 экз. Заказ 04/06

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования «Уральский государственный аграрный университет».  
620075, Екатеринбург, ул. Карла Либкнехта, 42

Отпечатано в Издательском доме «Ажур»  
620075, Екатеринбург, ул. Восточная, 54. Тел.: +7 (343) 350-78-28, +7 (343) 350-78-49.  
Эл. почта: [azhur.ek@mail.ru](mailto:azhur.ek@mail.ru)

Оригинал-макет подготовлен в федеральном государственном бюджетном  
образовательном учреждении высшего образования  
«Уральский государственный аграрный университет».  
620075, Екатеринбург, ул. Карла Либкнехта, 42