

# МЕТРОЛОГИЯ

- Учебная программа дисциплины
- **Учебное пособие**
  - Лабораторный практикум
  - Методические указания по самостоятельной работе
  - Банк тестовых заданий в системе UniTest**



УДК 006.915  
ББК 30.10я73  
Б28

Электронный учебно-методический комплекс по дисциплине «Метрология» подготовлен в рамках инновационной образовательной программы «Инновационно-образовательный центр технологий поддержки жизненного цикла и качества продукции», реализованной в ФГОУ ВПО СФУ в 2007 г.

Рецензенты:

Красноярский краевой фонд науки;  
Экспертная комиссия СФУ по подготовке учебно-методических комплексов дисциплин

**Батрак, А. П.**

Б28 Метрология. Версия 1.0 [Электронный ресурс] : электрон. учеб. пособие / А. П. Батрак, В. А. Титов. – Электрон. дан. (2 Мб). – Красноярск : ИПК СФУ, 2008. – (Метрология : УМКД № 105-2007 / рук. творч. коллектива А. П. Батрак). – 1 электрон. опт. диск (DVD). – Систем. требования : *Intel Pentium* (или аналогичный процессор других производителей) 1 ГГц ; 512 Мб оперативной памяти ; 2 Мб свободного дискового пространства ; привод *DVD* ; операционная система *Microsoft Windows 2000 SP 4 / XP SP 2 / Vista* (32 бит) ; *Adobe Reader 7.0* (или аналогичный продукт для чтения файлов формата *pdf*).

ISBN 978-5-7638-1502-3 (комплекса)

ISBN 978-5-7638-1455-2 (пособия)

Номер гос. регистрации в ФГУП НТЦ «Информрегистр» 0320802581 от 05.12.2008 г. (комплекса)

Настоящее издание является частью электронного учебно-методического комплекса по дисциплине «Метрология», включающего учебную программу, лабораторный практикум, методические указания по самостоятельной работе, контрольно-измерительные материалы «Метрология. Банк тестовых заданий», наглядное пособие «Метрология. Презентационные материалы».

Изложены сведения по прикладной и законодательной метрологии, измеряемым величинам и средствам измерений, погрешностям измерений и способам математической обработки результатов измерений.

Предназначено для студентов направления подготовки бакалавров 220500.62 «Стандартизация управление качеством и метрология» укрупненной группы 220000 «Автоматизация и управление», а также может быть использовано для студентов других направлений при изучении дисциплины «Метрология».

© Сибирский федеральный университет, 2008

Рекомендовано Инновационно-методическим управлением СФУ  
в качестве учебного пособия

Редактор Л. И. Вейсова

Разработка и оформление электронного образовательного ресурса: Центр технологий электронного обучения информационно-аналитического департамента СФУ; лаборатория по разработке мультимедийных электронных образовательных ресурсов при КрЦНИТ

Содержимое ресурса охраняется законом об авторском праве. Несанкционированное копирование и использование данного продукта запрещается. Встречающиеся названия программного обеспечения, изделий, устройств или систем могут являться зарегистрированными товарными знаками тех или иных фирм.

Подп. к использованию 01.10.2008

Объем 2 Мб

Красноярск: СФУ, 660041, Красноярск, пр. Свободный, 79

# ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ .....</b>	<b>5</b>
<b>1. МЕТРОЛОГИЯ КАК НАУКА В РОССИИ И ЗА РУБЕЖОМ ...</b>	<b>6</b>
1.1. Определение метрологии и основные этапы ее развития в России и за рубежом.....	6
1.2. Положения закона РФ об обеспечении единства измерений.....	9
1.3. Основные понятия и определения измерительной техники, классификация измерений .....	15
<b>2. СИСТЕМА ЕДИНИЦ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН.....</b>	<b>21</b>
2.1. Физическая величина, системы единиц физических величин .....	21
2.2. Эталон единицы физической величины .....	33
2.3. Государственная система обеспечения единства измерения .....	37
2.4. Погрешности измерений .....	43
<b>3. КАЧЕСТВО ИЗМЕРЕНИЙ .....</b>	<b>46</b>
3.1. Основные термины и определения.....	46
3.2. Вероятностный подход к описанию погрешностей .....	46
3.3. Вероятностные оценки погрешностей .....	52
<b>4. ОСНОВЫ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ В МАШИНОСТРОЕНИИ .....</b>	<b>54</b>
4.1. Понятие метрологического обеспечения в машиностроении .....	54
4.2. Структура метрологического обеспечения .....	55
4.3. Метрологическое обеспечение подготовки производства и систем качества.....	58
<b>5. МЕТРОЛОГИЧЕСКАЯ ЭКСПЕРТИЗА ДОКУМЕНТАЦИИ ..</b>	<b>60</b>
5.1. Метрологическая экспертиза технической документации .....	60
5.2. Метрологическая экспертиза конструкторской документации .....	61
<b>6. ОБЩИЕ МЕТОДЫ И СПОСОБЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ПО МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ ЭКСПЕРТИЗЕ .....</b>	<b>66</b>
<b>7. ОСНОВЫ ПРАКТИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ .....</b>	<b>76</b>
7.1. Образцовые и рабочие средства измерения.....	76
7.2. Измерительные преобразователи .....	81
7.3. Метрологические характеристики измерительных средств .....	83
7.4. Выбор количества измерений .....	83
<b>8. ПОВЕРКА И КАЛИБРОВКА СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ .....</b>	<b>86</b>
8.1. Поверка средств измерений.....	86
8.2. Калибровка .....	91
<b>9. МЕТОДИКИ ВЫПОЛНЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ .....</b>	<b>93</b>
9.1. Порядок разработки и утверждения методики выполнения измерений ...	93
9.2. Разработка и экспертиза документов по методике выполнения измерений .....	98

<b>10. РЕМОНТ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ НА ПРИМЕРЕ ШТАНГЕНЦИРКУЛЯ .....</b>	<b>101</b>
<b>11. ГОСУДАРСТВЕННЫЕ ИСПЫТАНИЯ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ .....</b>	<b>109</b>
<b>12. АККРЕДИТАЦИЯ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ СЛУЖБ НА ПРАВО ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТ В ОБЛАСТИ ИСПЫТАНИЙ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ .....</b>	<b>113</b>
<b>БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....</b>	<b>116</b>

## ВВЕДЕНИЕ

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

В практической жизни человек всюду имеет дело с измерениями. На каждом шагу встречаются и известны с незапамятных времен измерения таких величин, как длина, объем, вес, время и др.

Велико значение измерений в современном обществе. Они служат не только основой научно-технических знаний, но имеют первостепенное значение для учета материальных ресурсов и планирования, внутренней и внешней торговли для обеспечения качества продукции, взаимозаменяемости узлов и деталей и совершенствования технологии, для обеспечения безопасности труда и других видов человеческой деятельности.

Метрология имеет большое значение для прогресса естественных и технических наук, так как повышение точности измерений – одно из средств совершенствования путей познания природы человеком, открытий и практического применения точных знаний.

Для обеспечения научно-технического прогресса метрология должна опережать в своем развитии другие области науки и техники, ибо для каждой из них точные измерения являются одним из основных путей совершенствования.

Предназначено для бакалавров направления 220500.62 «Стандартизация управление качеством и метрология» (укрупненная группа 220000 «Автоматизация и управление») по дисциплине «Метрология, а также может быть полезно студентам других специальностей и форм обучения при изучении метрологии.

# 1. МЕТРОЛОГИЯ КАК НАУКА В РОССИИ И ЗА РУБЕЖОМ

## 1.1. Определение метрологии и основные этапы ее развития в России и за рубежом

Слово «метрология» означает учение о мерах. В современном понимании – это наука об измерениях, методах и средствах измерения, обеспечивающих их единство, об исходных единицах, их вещественном воплощении, о соотношениях между ними. Она же занимается установлением прототипов мер, методов хранения и сличения эталонов.

Современные меры единиц физических величин имели свою историю.

Необходимость простейших измерений возникла у человека, как только он стал строить жилища, делать примитивные орудия труда, изготавливать домашнюю утварь и одежду. Прежде всего требовалось измерять длину, объем, вес, время и на первой же стадии измерений понадобились меры, которыми можно было выразить результат измерений. Меры рождались в трудовой деятельности и были связаны с образом жизни людей и их конкретным занятием. Отсюда возникли названия некоторых местных мер: косье, весло, топорище и др. У разных народов появились, например, меры веса и длины, связанные с размерами зерна и плодов: гран-единица аптекарского веса означает в переводе (с франц., лат., англ., исп.) «зерно», карат – мера веса драгоценных камней, означает «семя боба» и др.

Представление о времени наши предки получали, наблюдая за положением Солнца, Луны и других небесных тел относительно горизонта. Очень удобным для измерения длины оказалось использовать части человеческого тела, отсюда названия мер: локоть, палец, пядь, кулак и другие. Были также меры, обусловленные физическими возможностями человека или животного: день пути, перестрел (60–70 м), «вержение камня», «коровий крик» – в Индии или «бычий рев» – на Руси.

Естественно, что ни о каком определенном размере мер еще не могло быть и речи. Каждый пользовался «своим» локтем, расстоянием, пройденным «своей лошастью».

По мере усложнения хозяйства, с развитием общения между различными племенами, образованием устойчивых объединений появилась потребность в более точных измерениях и мерах. Накопление излишков продуктов труда способствовало образованию предпосылок для возникновения внутреннего и внешнего рынка. На этом этапе возникают уже общеобязательные для применения на данной территории усредненные меры, подобно «священному египетскому локтю». Деление однородных мер на дольные потребовало использования математических действий. Метрология начинает постепенно выделяться в особую область знаний. Когда и у какого народа впервые была сформулирована система находящихся в определенном числовом соотношении

мер, неизвестно. Наиболее древней историки считают египетскую систему.

История метрологии не располагает вещественными документами, указывающими, какими мерами пользовались древние славяне, но существуют две точки зрения относительно происхождения древнерусских мер. Так, Н. Т. Беляев, опираясь на совпадение размеров некоторых славянских и египетских мер, высказал мысль о древнеегипетском начале мер. Вторая точка зрения гласит, что в древнерусскую систему входили как исконно русские, так и заимствованные меры.

Итак, на территории первого русского государства имели хождение разнообразные меры, удовлетворяющие потребностям в различных областях: ремесле, торговле, строительстве, быту. Появились меры, принятые за образец, например: «золотой пояс» великого князя Святослава Ярославича (1073–1076 г.). Хранителем первых образцовых мер и надзирателем за точностью мер были церкви и монастыри.

Важнейшим в метрологии является Двинская грамота Ивана Грозного о новых печатных мерах сыпучих тел «осминах» от двадцать первого декабря 1550 г. Следует отметить, что все московские указы, касающиеся введения единиц мер в стране, отсылались на места с образцами казенных мер. При этом старые меры, не совпадающие по размерам с новыми, запрещалось употреблять, за использование же ими назначался штраф. В случае злоумышленного нанесения порчи контрольным мерам грозило наказание вплоть до смертной казни.

Изобретение книгопечатания и учреждение учебных заведений благоприятствовали формированию высоких представлений о роли меры и числа и значении измерений в познаниях мира. Новые общегосударственные задачи, политические и экономические условия Московского государства дали толчок росту масштабов измерений, вызвали необходимость повышения их точности. В свою очередь, для проведения измерений потребовалось подготовить специальный аппарат и условия совершенствования контроля за мерами и измерительными приборами. Надзор за мерами и весами в XVI–XVII вв. окончательно выходит из-под влияния духовенства. С усилением господства власти он становится всё более централизованным.

Большую работу по надзору и проверке мер производили два столичных учреждения: Померная изба и Большая таможня. Они имели возможность не только проводить периодические ежегодные проверки, но и выборочные, а также разрешать конфликты, пресекать любые злоупотребления и применение неверных «воровских» или неклеименных мер и весов. В провинции надзор был поручен персоналу воеводских и земских изб.

Для облегчения вычислений были изданы таблицы мер и соотношений между русскими и иностранными мерами.

Услуги метрологии потребовались в самых различных отраслях. На заводах стали появляться своего рода контрольно-измерительные лаборатории. Начинают выделяться и некоторые метрологические центры. Но такое расщепление метрологического хозяйства в то время было оправдано, так

как каждая коллегия несла ответственность за единство мер в хорошо известной ей области. Но сущность метрологии заключается в единстве измерений, приводимых к эталонам. Создание же эталонного хозяйства невозможно без единого метрологического центра. В 1736 г. по решению сената была образована комиссия весов и мер под председательством графа Головкина, главного директора Монетного двора. Важнейшим шагом, подытоживающим работу комиссии, было создание русского эталонного метра. Работы комиссии начались в 1736 г. В 1747 г. была изготовлена бронзовая золоченая гиря, узаконенная в качестве образца русских мер веса. Деятельность комиссии продолжалась до 1842 г. и завершилась созданием эталонов длины и массы – платиновых стержней и фунта.

Указ «О системе русских мер и весов» 1835 г. законодательно утвердил основные единицы и окончательно определил русскую систему мер и весов. Эта система просуществовала вплоть до Октябрьской революции (до прогрессивной метрической реформы 1918 г.)

В 1842 г. было создано первое метрологическое и поверочное учреждение России – Депо образцовых мер и весов. В обязанности Депо входило не только тщательное хранение эталонов, их копий, но и изготовление новых в случае порчи, а также поверка и сличение образцовых мер с иностранными.

В 1892 г. Д. И. Менделеев принял предложенную ему должность ученого-хранителя Депо. Главной заслугой Д. И. Менделеева в области метрологии считается установление приемов метрологического, т. е. образцового, точного взвешивания.

Свою работу в Депо Менделеев начинает с того, что проводит реорганизацию его в метрологическое учреждение качественно нового типа, словом, он приступает к созданию главного метрологического института страны. 8 июня 1893 г. Депо преобразуется в Главную палату мер и весов, а Менделеев становится ее первым управляющим. В сущности, с этого момента начинается развитие собственно русской метрологии. С приходом Менделеева в метрологию она превратилась в строгую научную дисциплину, значение которой для развития науки и техники начали понимать многие ученые и промышленники России. Менделеев считал весьма важной составной частью научной метрологии определение точных значений физических констант.

По крылатому выражению Менделеева, «точная наука невысказима без меры». В наше время научно-технической революции (НТР) и расцвета точных наук метрология стала буквально вездесущей.

В 1865 г. Менделеев привел результаты измерений плотностей водных растворов этилового алкоголя с содержанием алкоголя от 35 до 100 процентов по массе. Им был создан пикнометр, названный позднее его именем. Менделеев не написал отдельного руководства по метрологии, но часто можно встретить ряд ценных идей и указаний, облеченных в форму блестящих афоризмов и крылатых фраз:

«Знанием в должном смысле должно назвать в настоящее время только то, что представляет собой согласие теории с практикой».

«Для теории предмета могут быть пригодны лишь такие данные, кото-

рые носят в себе признаки значительной точности».

«Достойны внимания и обработки только те данные, где все влияния описаны или несомненно приняты во внимание».

Научное наследие Менделеева велико и многообразно. Не вызывает сомнений, что внимательное изучение его классических работ еще не раз будет способствовать дальнейшему обогащению и развитию научной метрологии.

Систематическое и планомерное развитие государственной поверочной службы началось сразу же после создания Советского государства. В сентябре 1918 г. декретом СНК РСФСР была введена в стране единая международная система мер.

В 1921 г. Ленин подписал Постановление о Всероссийской поверке мер и весов.

В 1922 г. система технического обеспечения (СТО) утвердил новое положение, в соответствии с которым в Главной палате были организованы два института: метрологический и поверочный.

В 1924 г. ЦИК и СНК СССР приняли постановление, по которому Главная палата становится государственным учреждением, действующим на всей территории СССР.

15 сентября 1925 г. СНК СССР утвердил положение о вновь созданном Комитете по стандартизации и метрологии.

В 1930 г. был создан Всесоюзный комитет по стандартизации при СТО, которому подчинялась и Главная палата.

В 1931 г. Главная палата была переименована во Всесоюзный научно-исследовательский институт по метрологии и стандартизации (ВИМС).

17 октября 1934 г. ВИМС переименован во ВНИИМ. В 1954 г. организован Комитет стандартов, мер и измерительных приборов при СССР, в его ведение перешла вся государственная метрологическая служба. По инициативе СССР была создана в 1956 г. Международная организация законодательной метрологии (МОЗМ). Основная задача этой организации – обеспечить единство и правильность измерительной системы в международном масштабе.

## 1.2. Положения закона РФ об обеспечении единства измерений

Защита прав и законных интересов граждан и экономики России от отрицательных последствий недостоверных результатов измерений в настоящее время подтверждает необходимость уточнения концепции измерительного дела и принципов функционирования системы измерений. И то, и другое стало возможным на законодательной основе после принятия Закона Российской Федерации «Об обеспечении единства измерений» № 4871-1 от 27 апреля 1993 г.

Система измерений является социально-значимой системой, аналогичной системам связи, транспорта, образования, здравоохранения, правоохранения. И с каждой из них система измерений связана. Если же вспомнить роль измерений в торговле, обороне, науке и взаимоотношениях с мировым

сообществом, то появление идеи систематизации измерительного дела в стране становится совершенно обоснованным.

Имеются, по крайней мере, три обстоятельства которые указывают на необходимость организовать систему измерений на государственном уровне.

Во-первых, применение неправильных мер (неверных приборов) или методов измерений (методик выполнения измерений) ведет к ряду отрицательных последствий: нарушению технологий, необоснованным потерям топливно-энергетических ресурсов, созданию предпосылок для аварийных ситуаций, увеличению брака продукции, неправильности диагнозов пациентов, нарушению взаимозаменяемости элементов и узлов при сборке и ремонте, созданию возможности хищений и обмана потребителей, снижению боеготовности вооружения и военной техники и т.д.

Поэтому как органы государственной метрологической службы, входящие в структуру территориальных органов Госстандарта России, так и метрологические службы государственных органов управления Российской Федерации и юридических лиц должны в соответствии с Законом выполнять свою задачу по обнаружению недостоверных результатов измерений и принятию мер по их недопущению, т. е. система должна стоять на страже интересов потребителя.

Во-вторых, масштабы затрат на получение достоверных результатов измерений достаточно велики. Не так давно в СССР производилось более 200 млрд измерений в день, свыше 4 млн человек считало измерения своей профессией, а доля затрат на измерения составляла 10–15 % от всех затрат общественного труда, достигая в электронике и точном машиностроении 50–70 %. В стране насчитывалось более 1 млрд средств измерений, при этом увеличение числа приборов в промышленности было пропорционально квадрату прироста продукции. В США в 1965 г. было 20 млрд измерений в день, а 1,3 млн человек профессионально занимались измерениями, затраты на измерения составляли 3,5 % от валового национального продукта (ВНП), было вложено в метрологическое оборудование около 25 млрд долларов с предполагаемым увеличением на 4,5 млрд ежегодно. Еще 20 млрд долларов было вложено в изучение свойств веществ и материалов с ежегодным увеличением на 3 млрд долларов. В Великобритании в середине 80-х годов XX столетия тратилось около 20 млрд фунтов стерлингов ежегодно на измерения (или прямо с ними связанную деятельность), что составляло около 5 % ВНП или 300 фунтов стерлингов на душу населения. В Федеративной Германии, как и во всех развитых странах, сегодня тратится на измерения около 6 % ВНП, причем 0,1 % от этих затрат относится на финансирование разработки, хранения, поддержания и применения национальных эталонов единиц физических величин. Ясно, что средства, затрачиваемые на измерения, должны быть использованы наиболее эффективным образом.

В-третьих, изменение экономических отношений в России, децентрализация управления и приближение к рыночным структурам других стран обуславливают необходимость структурных изменений и в системе измере-

ний. Закон сегодня позволяет создать новую систему, работающую по критерию обеспечения единства измерений, которая ориентирована на гармоничное взаимодействие с национальными системами измерений других стран. В первую очередь это относится к взаимному признанию результатов измерений и испытаний, в том числе сертификационных. Участие России в международных и региональных организациях позволяет использовать мировой опыт и учитывать появляющиеся тенденции в современной метрологии.

Таким образом, Российская система измерений (РСИ) должна, по идее, охватывать органы и службы, обеспечивающие единство измерений в России, вместе с разработчиками, производителями (поставщиками) и пользователями средств измерений, действующими в соответствии с российским законодательством. И хотя структура такой системы пока достаточно условна и каждый элемент системы имеет свои функции (права и обязанности), есть некие общие принципы, которым подчиняется вся система в целом. На [рис. 1.1](#) представлена идея построения системы измерений, которая охватывает 3 элемента (условно) – измерительную технику 1, метрологию 3 и потребителя измерительной техники и измерительной информации 2. Существует некая общая зона пересечения этих трех элементов 4, которая являет собой ныне существующую Государственную систему обеспечения единства измерений (ГСИ). Во взаимопересечениях элементов между собой (попарно) находятся конкретные виды работ. Например, в 1–3 – государственные испытания средств измерений, в 2–3 – поверка и калибровка, в 1–2 – ремонт, калибровка, обслуживание и т. д. Внимательное рассмотрение особенностей «взаимопроникновений» позволяет определить структуру нормативно-технической документации (НТД) по метрологии. «Ядро» НТД – в рамках Государственной системы стандартизации (ГСС).

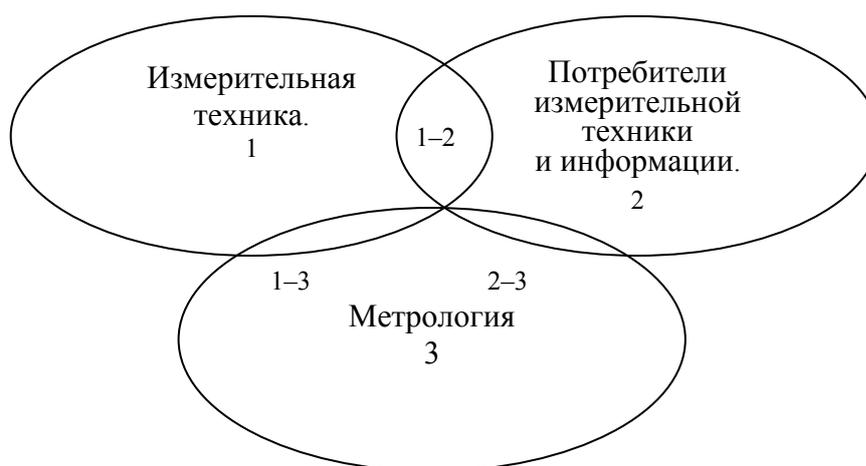


Рис. 1.1. Идея построения системы измерений

Закон «Об обеспечении единства измерений» определяет новый этап развития метрологии в России, задачами которого являются:

сохранение достигнутого уровня обеспечения единства измерений, в

том числе в СНГ;

обеспечение преемственного перехода от административного принципа управления метрологической деятельностью к законодательному;

адаптация Российской системы измерений к мировой системе;

сохранение государственности измерительного дела в России.

Законодательное регулирование существует в других странах уже давно. Например, система аккредитации Лабораторий мер и весов в каждом штате США существует с 1967 г.

На 28 марта 1990 г. была аккредитована 51 лаборатория, а национальная (добровольная) система аккредитации лабораторий специальных испытаний (акустика, теплоизоляция, свойства строительных материалов, дозиметрия, качество бумаги и т. п.) существует с 1976 г., имея на 1 марта 1990 г. 891 лабораторию и свыше 200 в процессе подготовки к аккредитации.



Рис. 1.2. Основа Российской системы измерений

Целесообразно в России предусмотреть объединение всех систем аккредитации лабораторий, связанных с измерениями, в единую российскую аккредитацию измерительных лабораторий (РСАИЛ). Аналогичная структура – NAMAS (National Measurement Accreditation Service) – сформирована в 1965 г. в Великобритании на базе Британской калибровочной службы (DCS) и Национальной схемы аккредитации испытательных лабораторий (NATLAS). К августу 1992 г. NAMAS было аккредитовано около 1300 лабораторий: 350 калибровочных и 950 испытательных. Характерно, что испытательные лаборатории являются, скорее, измерительными (акустика, баллистика, химический анализ, коррозия, линейно-угловые измерения, экология, пожароопасность, охрана труда, микробиология, структура и свойства материалов и металлов, безопасность, неразрушающие испытания и т. д). Только в калибровочных лабораториях за 1992 г. было выдано 320 тыс. сертификатов.

Наличие национальных служб аккредитации в странах позволяет им заключать соглашения между этими службами на государственном уровне, обеспечивая автоматически взаимное признание результатов измерений, полученных в лабораториях (центрах), входящих в Национальную службу аккредитации.



Рис. 1.3. Общая схема государственной системы измерений

И, наконец, контрольно-надзорная функция выполняется в значительной мере организациями Государственной метрологической службы (ГМС), техническими отделами Госстандарта России, а также метрологическими службами государственных органов управления РФ и юридических лиц в пределах их компетенции.

Все сказанное следует отнести к реализации стратегии РСИ, связанной с обеспечением единства измерений ([рис. 1.2](#)).

### 1.3. Основные понятия и определения измерительной техники, классификация измерений

Под измерениями понимают способ количественного познания свойств физических объектов.

Между размером и значением величины есть принципиальная разница. Размер – это «реально», независимо от того, знаем мы его или нет; выразить размер физической величины мы можем при помощи любой из единиц данной величины, т. е. при помощи числового значения. Для числового значения характерно, что при применении другой единицы оно изменится, тогда как физический размер величины остается неизменным. Размеры разных единиц одной и той же величины различны (размер метра отличается от размера фута).

#### Измерения. Виды измерений.

*Измерение* – познавательный процесс, заключающийся в сравнении путем физического эксперимента данной величины с известной величиной, принятой за единицу сравнения. Это нахождение физической величины опытным путем с помощью специальных технических средств.

Измерения классифицируют:

- по общим приёмам получения результатов измерений – прямые, косвенные, совместные, совокупные;
- выражению результата измерений – абсолютные, относительные;
- характеристике точности – равноточные, неравноточные;
- числу измерений в серии – однократные, многократные;
- отношению к изменению измеряемой величины – статические, динамические;
- метрологическому назначению – технические, метрологические.

Блок-схема классификации измерений представлена на [рис. 1.4](#).

*Прямое измерение* – измерение, при котором искомое значение величины находят непосредственно из опытных данных. Например, измерение температуры воздуха термометром, силы тока – амперметром, диаметра вала – микрометром и т. п.

*Косвенное измерение* – это измерение, при котором искомое значение величины находят на основании известной зависимости между этой величиной и величинами, подвергаемыми прямым измерениям.

При этом числовое значение искомой величины определяется по формуле

$$z = f(a_1, a_2, \dots, a_m),$$

где  $z$  – значение искомой величины;  $a_1, a_2, \dots, a_m$  – значение непосредственно измеряемых величин.

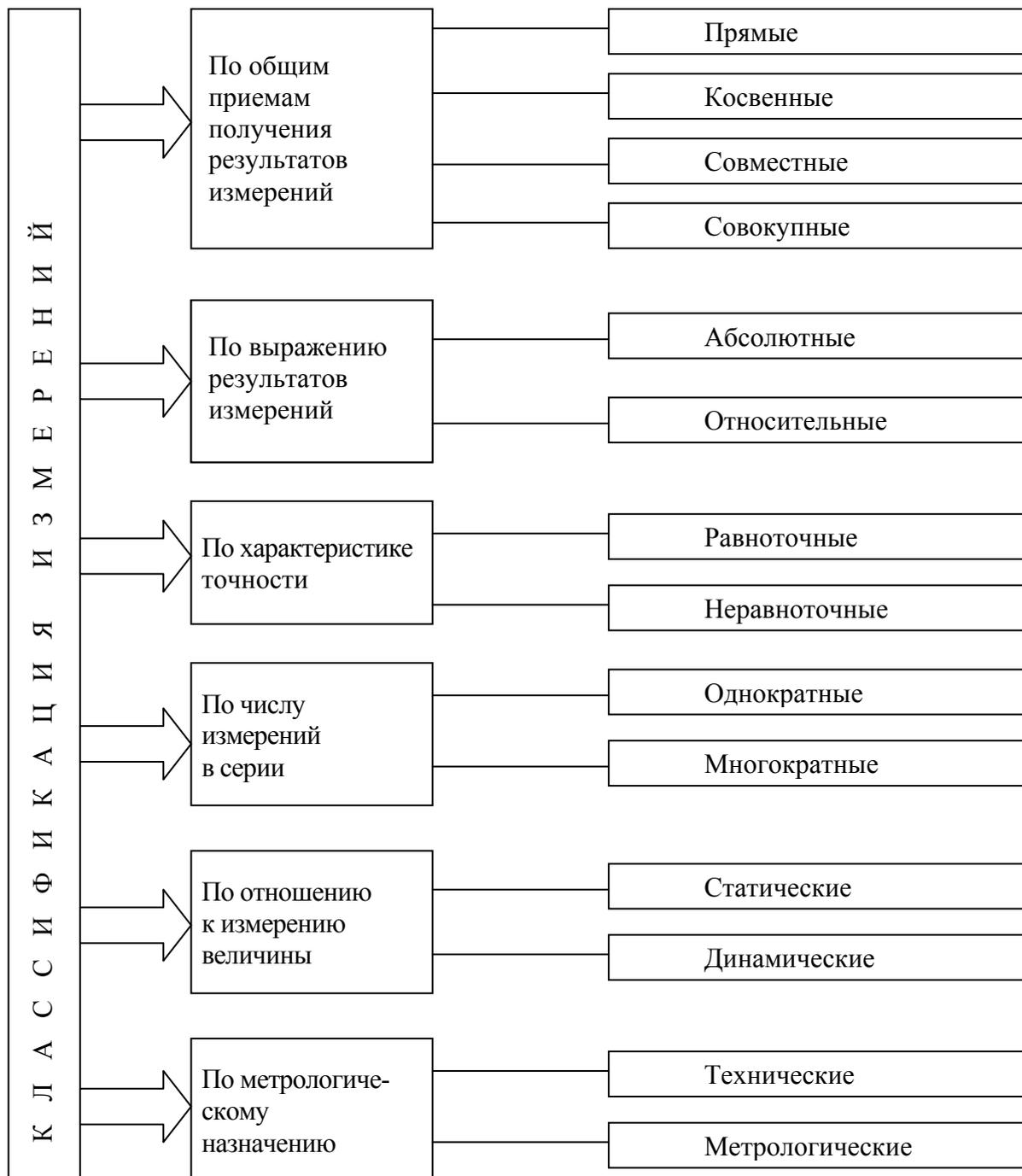


Рис. 1.4. Блок-схема классификации измерений

Приведем несколько примеров косвенных измерений.

1. Определим значение активного сопротивления  $R$  резистора (рис. 1.5, а) на основе прямых измерений силы тока  $I$ , проходящего через резистор, и падения напряжения  $U$  на нём по формуле

$$R = U/I.$$

2. Найдём плотность  $\rho$  тела цилиндрической формы (рис. 1.5, б) на ос-

новании прямых измерений его массы  $m$ , диаметра  $d$  и высоты  $h$  цилиндра по формуле

$$p = 4m/(\pi d^2 \cdot h).$$

3. Вычислим длины окружности  $L$  на основании прямого измерения диаметра  $d$  по формуле

$$L = \pi d.$$

Косвенные измерения сложнее прямых, однако они широко применяются на практике в случаях, когда прямые измерения практически невыполнимы или когда косвенное измерение позволяет получить более точный результат по сравнению с прямым измерением.

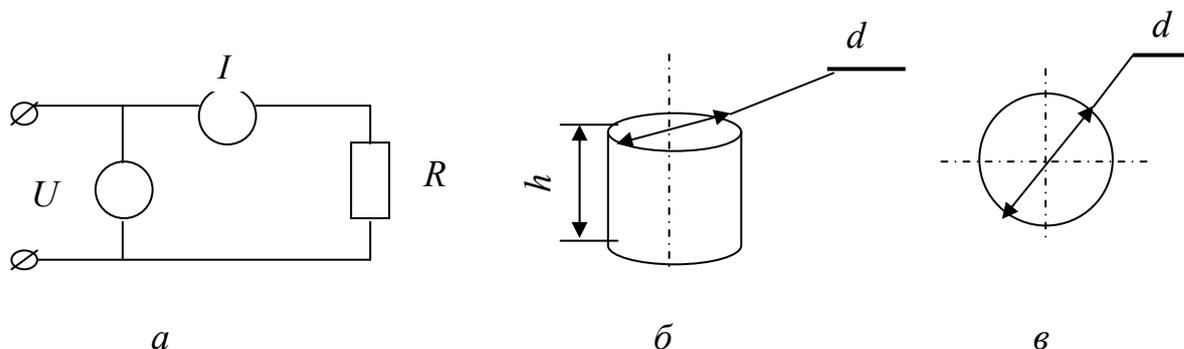


Рис. 1.5. Примеры косвенных измерений

В некоторых приборах вычисления функций, упомянутых в определении косвенных измерений, могут осуществляться как одна из операций преобразований «внутри» прибора. Измерения, проводимые с применением подобных измерительных приборов, относятся к прямым. К косвенным относятся только такие измерения, при которых расчёт осуществляется вручную или автоматически, но после получения результатов прямых измерений.

Во многих случаях вместо термина «косвенное измерение» применяют термин «метод косвенных измерений». Это закреплено международными словарями в области метрологии и стандартами ряда стран и обусловлено тем, что измерение рассматривается как акт сравнения величины с единицей. Следовательно, косвенное измерение – это не измерение, а метод измерений.

К *совокупным измерениям* относятся производимые одновременно измерения нескольких одноимённых величин, при которых искомые значения величин находят решением системы уравнений, получаемых при прямых измерениях различных сочетаний этих величин. К совокупным относятся, например измерения, при которых массы отдельных гирь набора находят при известной массе одной из них и по результатам прямых измерений (сравнений) масс различных сочетаний гирь.

**Совместные измерения** – это производимые одновременно измерения двух или нескольких не одноименных величин для нахождения зависимости между ними.

Например, на основании одновременных измерений приращений  $\Delta l$  длины детали в зависимости от изменений  $\Delta t$  его температуры (не одноименных величин) определяют коэффициент  $K$  линейного расширения материала образца по формуле

$$K = \Delta l / (l \cdot \Delta t).$$

Числовые значения искомых величин при совместных измерениях, как и при совокупных, могут определяться из системы уравнений, связывающих значения искомых величин со значениями величин, измеренных прямым (или косвенным) способом.

Чтобы получить числовые значения искомых величин, необходимо получить по крайней мере столько уравнений, сколько имеется этих величин.

Рассмотрим задачу экспериментального определения зависимости сопротивления резистора от температуры. Предположим, что эта зависимость имеет вид

$$R_t = R_0 \cdot (1 + \alpha \cdot t + \beta \cdot t^2),$$

где  $R_0$  и  $R_t$  – значения сопротивлений резистора при нулевой температуре и температуре  $t$  соответственно;  $\alpha$  и  $\beta$  – постоянные температурные коэффициенты.

Требуется определить значения величин  $R_0$ ,  $\alpha$  и  $\beta$ .

Очевидно, ни прямыми, ни косвенными измерениями эту задачу решить невозможно. Поступим следующим образом. При различных (известных) значениях температуры  $t_1$ ,  $t_2$  и  $t_3$  (она может быть измерена прямо или косвенно) измеряем (прямо или косвенно) значения  $R_{t_1}$ ,  $R_{t_2}$  и  $R_{t_3}$  и записываем систему уравнений:

$$\begin{aligned} R_{t_1} &= R_0 \cdot (1 + \alpha \cdot t_1 + \beta \cdot t_1^2); \\ R_{t_2} &= R_0 \cdot (1 + \alpha \cdot t_2 + \beta \cdot t_2^2); \\ R_{t_3} &= R_0 \cdot (1 + \alpha \cdot t_3 + \beta \cdot t_3^2). \end{aligned}$$

Решая эту систему относительно  $R_0$ ,  $\alpha$  и  $\beta$ , получаем значения искомых величин.

**Абсолютное измерение** – измерение, приводящее к значению измеряемой величины, выраженному в её единицах. Например, при измерении силы электрического тока амперметром или длины детали микрометром результат измерения выражается в единицах измеряемых величин (в амперах и миллиметрах).

В ГОСТ 16263 приведено другое определение: «абсолютное измерение –

измерение, основанное на прямых измерениях одной или нескольких величин и использовании значений физических констант». В таком понимании это понятие практически не применяется. Оно соответствует понятию «фундаментальное измерение», приведённому в международном словаре. Термина «абсолютное измерение» следует избегать, так как абсолютное, т. е. полностью безошибочное, измерение невозможно. Вместо него можно использовать термин «непосредственное измерение».

**Относительное измерение** – измерение отношения величины к одноимённой величине, играющей роль единицы, или измерение величины по отношению к одноимённой величине, принимаемой за исходную. Относительное измерение основано на сравнении измеряемой величины с известным значением меры. Исходную величину при этом находят алгебраическим суммированием размера меры и показаний прибора. Например, контроль калибра пробки на вертикальном оптиметре.

**Равноточные измерения** – ряд измерений какой-либо величины, выполненных одинаковыми по точности средствами измерений в одних и тех же условиях. Например, измерение диаметра вала гладким микрометром и индикаторной скобой.

**Неравноточные измерения** – ряд измерений какой-либо величины, выполненных различными по точности средствами измерений и (или) в разных условиях.

**Однократное измерение** – измерение, выполненное один раз. Например, измерение конкретного момента времени по часам. В ряде случаев, когда нужна большая уверенность в получаемом результате, одного измерения оказывается недостаточно. Тогда выполняется два, три и более измерений одной и той же конкретной величины. В таких случаях допускается выражение: «двукратное измерение», «трёхкратное измерение» и т. д.

**Многократное измерение** – измерение одной и той же физической величины, когда результат получают из нескольких следующих друг за другом измерений, т. е. измерение, состоящее из ряда однократных измерений.

С какого числа измерений можно считать измерение многократным? Строгого ответа на этот вопрос нет. Однако известно, что при числе отдельных измерений  $n > 4$ . Ряд измерений может быть обработан в соответствии с требованиями математической статистики. Следовательно, при четырёх измерениях и более измерение можно считать многократным. За результат многократного измерения обычно принимают среднеарифметическое значение из результатов однократных измерений, входящих в ряд.

**Статическое измерение** – измерение физической величины, принимаемой в соответствии с конкретной измерительной задачей за неизменную на протяжении времени измерения. Например, измерение длины детали при нормальной температуре, измерение размеров земельного участка.

**Динамические измерения** – измерения физической величины, размер которой изменяется с течением времени. Быстрое изменение размеров измеряемой величины требует её измерения с точной фиксацией момента времени. Например, измерение расстояния до уровня земли со снижающегося са-

молёта.

**Технические измерения** – измерения при помощи рабочих средств измерений. Технические измерения выполняются с целью контроля и управления научными экспериментами, контроля параметров изделий, технологических процессов, управления движением различных видов транспорта, диагностики заболеваний, контроля загрязнённости окружающей среды и т. п. Например, измерение давления пара в котле при помощи манометра, измерение ряда физических величин, характеризующих технологический процесс.

**Метрологические измерения** – измерения при помощи эталонов и образцовых средств измерений с целью воспроизведения единиц физических величин при передаче их размера рабочим средствам измерений. Например, при поверке образцовых мер магнитной индукции 3-го разряда на поверочной установке осуществляются измерения образцовым тесламетром 2-го разряда размера величины воспроизведённой мерой. Эти измерения производятся с метрологической целью, т. е. являются метрологическими.

Любые измерения представляют собой физический эксперимент, выполнение которого основано на использовании тех или иных физических явлений. *Совокупность физических явлений, на которых основаны измерения, называется принципом измерения.*

## 2. СИСТЕМА ЕДИНИЦ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

### 2.1. Физическая величина, системы единиц физических величин

Физическая величина – это свойство, общее в качественном отношении многим объектам (системам, их состояниям, происходящим в них процессам), но в количественном отношении индивидуальное для каждого объекта. Индивидуальное в количественном отношении – такое свойство одного объекта может быть в определенное число раз быть больше или меньше свойства другого.

Термин «величина» применяется в отношении свойств или иных характеристик, которые мы умеем оценивать количественно, т. е. измерять. «Величина» – многовидовое понятие: 1) цена, стоимость товаров, выраженная в денежных единицах; 2) биологическая активность лекарств, измеряемая в международных единицах; 3) физическая величина, т. е. свойство, присущее физическим объектам.

**Единица физической величины** – величина, которой по определению придано значение, равное единице. Такое ее значение принимают за основание для сравнения с ним физических величин того же ряда при количественной оценке.

**Размер и значение величины.** В тех случаях, когда необходимо подчеркнуть, что речь идет о количественном содержании в определенном объекте физической величины, следует употреблять слово «размер». Эта количественная оценка конкретной физической величины, выраженная в виде некоторого числа единиц, называется значением физической величины. Отвлеченное число, входящее в значение величины, называется числовым значением.

**Системы единиц физических величин.** История развития метрологии свидетельствует о том, что большинство старых единиц длины, площади, объема, массы, времени и других величин выбиралось произвольно, без учета какой бы то ни было внутренней связи между ними. Это привело к появлению в разных странах мира множества различных единиц для измерения одних и тех же физических величин. Так, длину измеряли в аршинах, локтях, футах, дюймах, массу в унциях, фунтах, золотниках и т. д. В ряде случаев единицы выбирали, исходя из удобств техники измерения или практического применения. Так появились, например, миллиметр ртутного столба (мм рт. ст.), лошадиная сила (л.с.). Интенсивное и поначалу независимое развитие отдельных областей науки и техники в различных странах в начале XIX в., формирование новых отраслей знаний способствовали возникновению новых физических величин и соответственно множества новых единиц. Множественность единиц измерения была препятствием для дальнейшего развития науки и роста материального производства. Отсутствие единства в понимании, определении и обозначении физических величин усложняло международные торговые связи, тормозило научно-технический прогресс в целом.

Все это вызвало необходимость строгой унификации единиц и разработки удобной для широкого использования системы единиц физических величин. В основу построения такой системы был положен принцип выбора небольшого количества основных, не зависящих друг от друга единиц, на базе которых с помощью математических соотношений, выражающих закономерные связи между физическими величинами, устанавливались бы остальные единицы системы.

Попытки создания унифицированной системы единиц предпринимались неоднократно. Были созданы Метрическая система мер, системы МКС, МКСА, МКГСС, СГС и др. Однако каждая из этих систем в отдельности не обеспечивала возможности использования ее во всех областях научной и практической деятельности человека, а параллельное применение различных систем создавало, помимо прочих неудобств, определенные трудности во взаимных пересчетах. Различные международные научно-технические организации, работавшие в области метрологии, в течение второй половины XIX в. и в первой половине XX в. готовили почву для создания единой международной системы единиц. 7 октября 1958 г. Международный комитет законодательной метрологии объявил об установлении этой системы.

Решением Генеральной конференции по мерам и весам в 1960 г. была принята универсальная система единиц физических величин, получившая название «*Système internationale d'unités*» (Международная система единиц) или сокращенно SI (в русской транскрипции СИ). Постоянная комиссия СЭВ по стандартизации утвердила основополагающий стандарт – СТ СЭВ 1052–78 «Метрология. Единицы физических величин». Автором-разработчиком этого стандарта является СССР. Стандартом устанавливалось обязательное применение, начиная с 1979–1980 гг., в странах-членах СЭВ Международной системы единиц. Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 19 марта 1981 г. стандарт СЭВ был заменен Государственным стандартом – ГОСТ 8.417–81 (СТ СЭВ 1052–78) «Единицы физических величин», введенным в действие с 1 января 1982 г. ГОСТ установил перечень единиц физических величин для применения в СССР, их наименование и обозначение, а также порядок использования внесистемных единиц и исключения ряда внесистемных единиц, подлежащих изъятию. Применение СИ стало обязательным во всех областях науки и техники, а также в народном хозяйстве.

**Структура Международной системы единиц (СИ).** Международная система единиц представляет собой совокупность основных и производных единиц, охватывающих все области измерений механических, тепловых, электрических, магнитных и других величин. Важным преимуществом этой системы является также и то, что составляющие ее основные и производные единицы удобны для практических целей. Основным преимуществом СИ является ее когерентность (согласованность), т. е. все производные единицы в ней получены с помощью определяющих формул (так называемых формул размерности) путем умножения или деления основных единиц без введения числовых коэффициентов, показывающих, во сколько раз увеличивается или

уменьшается значение производной единицы при изменении значений основных единиц. Например, для единицы скорости она имеет следующий вид:

$$v = kL \times T^{-1},$$

где  $k$  – коэффициент пропорциональности, равный единице;  $L$  – длина пути,  $T$  – время. Если вместо  $L$  и  $T$  подставить наименования единиц измерения длины и времени в системе СИ, получим формулу размерности единицы скорости в этой системе:

$$V = \text{м/с}, \text{ или } v = \text{м} \times \text{с}^{-1}.$$

Если физическая величина представляет собой отношение двух размерных величин одной природы, то она не имеет размерности. Такими безразмерными величинами являются, например, коэффициент преломления, массовая или объемная доля вещества.

Единицы физических величин, которые устанавливаются независимо от других и на которых базируется система единиц, называются основными единицами системы. Единицы, определяемые с помощью формул и уравнений, связывающих физические величины между собой, называются производными единицами системы. Основные и производные единицы, входящие в систему единиц, называются системными единицами.

Международная система единиц включает семь основных [\(табл. 2.1\)](#), две дополнительные [\(табл. 2.2\)](#), а также производные единицы, образованные из основных и дополнительных единиц [\(табл. 2.3 и 2.4\)](#). Дополнительные единицы (радиан и стерadian) не зависят от основных единиц и имеют нулевую размерность. Для непосредственных измерений они не применяются из-за отсутствия измерительных приборов, проградуированных в радианах и стерadianах. Эти единицы используют для теоретических исследований и расчетов.

Таблица 2.1

Основные единицы СИ и измеряемые ими величины

Наименование единицы	Обозначение		Измеряемая величина
	международное	русское	
Килограмм	kg	кг	Масса
Метр	m	м	Длина
Секунда	s	с	Время
Ампер	A	А	Сила электрического тока
Кельвин	K	К	Термодинамическая температура
Моль	mol	моль	Количество вещества
Кандела	cd	кд	Сила света

\* Допускается также наименование «температура Кельвина». Кроме температуры Кельвина ( $T$ ), можно пользоваться температурой Цельсия ( $t$ ), определяемой из выражения:  $t = T - T_0$ , где  $T$  – термодинамическая температура;  $T_0 = 273,15$  К. Для разности температур  $1^\circ\text{C} = 1$  К.

*Внесистемные единицы.* Единицы физических величин, которые вводятся независимо от системы единиц, называются внесистемными. К ним относятся, например, миллиметр ртутного столба, рентген, а также кратные и дольные единицы.

Таблица 2.2

Дополнительные единицы СИ и измеряемые ими величины

Наименование единицы	Обозначение		Измеряемая величина
	международное	русское	
Радиян	rad	рад	Плоский угол
Стерadian	sr	ср	Телесный угол

Стандартом СЭВ и ГОСТ предусмотрена возможность использования внесистемных кратных и дольных (в целое число раз больших или меньших) единиц, образуемых с помощью десятичных множителей, для измерения очень больших или очень малых величин. В [табл. 2.5](#) приведен перечень приставок и множителей для образования десятичных кратных и дольных единиц, где каждому множителю соответствует определенная приставка, с помощью которой складывается наименование кратной или дольной единицы путем прибавления ее к наименованию основной единицы, например,  $10^{-6}$  литра, или 1 микролитр;  $10^6$  тонны, или 1 мегатонна.

Наравне с единицами СИ допущены к применению единицы физических величин, широко распространенные и прочно утвердившиеся в некоторых областях науки и техники (в т. ч. в медицине), ставшие привычными в обыденной жизни. К ним относятся также единицы, определяемые по условным шкалам; некоторые наиболее распространенные производные единицы, образованные из допускаемых к применению внесистемных единиц ([табл. 2.6](#)), относительные и логарифмические единицы ([табл. 2.7](#)). Ряд внесистемных единиц принят для использования на ограниченное время; срок их изъятия устанавливается в соответствии с решениями на международном уровне.

Единицы физических величин, не предусмотренные стандартом, изымают из употребления ([табл. 2.8](#)). Устаревшие русские и распространенные в Великобритании, Канаде, США и других англоязычных странах английские неметрические единицы допускается применять в художественной, общественно-политической литературе, в публицистике, отражающей события в прошлом, а также в переводной литературе. Некоторые из этих единиц представлены в [табл. 2.9](#)

## 2. СИСТЕМА ЕДИНИЦ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

### 2.1. Физическая величина, системы единиц физических величин

Таблица 2.3

Некоторые производные единицы СИ и измеряемые ими величины\*

Наименование единицы	Обозначение		Измеряемая величина
	1	2	
Ампер на килограмм	A/kg	А/кг	Мощность экспозиционной дозы рентгеновского и гамма-излучения
Беккерель на килограмм	Bq/kg	Бк/кг	Удельная активность радиоактивного вещества
Беккерель на кубический метр	Bq/m <sup>3</sup>	Бк/м <sup>3</sup>	Объемная активность радиоактивного вещества
Беккерель на моль	Bq/mol	Бк/моль	Молярная активность радиоактивного вещества
Ватт на квадратный метр	W/m <sup>2</sup>	Вт/м <sup>2</sup>	Интенсивность звука, поверхностная плотность теплового потока, поверхностная плотность потока излучения, интенсивность ионизирующего излучения
Ватт на метр-кельвин	W/(m×K)	Вт/(м×К)	Теплопроводность
Ватт настерадиан	W/sr	Вт/ср	Сила излучения
Ватт настерадиан на метр квадратный	W/(sr×m <sup>2</sup> )	Вт/(Ср×м <sup>2</sup> )	Лучистость
Грей в секунду	Gy/s	Гр/с	Мощность поглощенной дозы излучения (мощность дозы излучения)
Джоуль на квадратный метр	J/m <sup>2</sup>	Дж/м <sup>2</sup>	Лучистая экспозиция
Джоуль на Кельвин	J/K	Дж/К	Теплоемкость
Джоуль на килограмм	J/kg	Дж/кг	Удельная работа, удельная энергия, удельное количество теплоты (удельная теплота фазового превращения, удельная теплота химической реакции – сгорания топлива, пищевых веществ)
Джоуль на килограмм-кельвин	J/(kg×K)	Дж/(кг×К)	Удельная теплоемкость
Джоуль на кубический метр	J/m <sup>3</sup>	Дж/м <sup>3</sup>	Плотность звуковой энергии, объемная плотность энергии излучения
Джоуль на моль	J/mol	Дж/моль	Молярная внутренняя энергия, молярный тепловой эффект химической реакции (образования, растворения, горения), фазовых превращений
Джоуль на моль-кельвин	J/(mol×K)	Дж/(моль×К)	Молярная теплоемкость

## 2. СИСТЕМА ЕДИНИЦ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

### 2.1. Физическая величина, системы единиц физических величин

Продолжение табл. 2.3

1	2	3	4
Зиверт в секунду	Sv/s	Зв/с	Мощность эквивалентной дозы излучения
Кандела на квадратный метр	cd/m <sup>2</sup>	кд/м <sup>2</sup>	Яркость
Кельвин на метр	K/m	К/м	Температурный градиент
Квадратный метр	m <sup>2</sup>	м <sup>2</sup>	Площадь
Квадратный метр на секунду	m <sup>2</sup> /s	м <sup>2</sup> /с	Вязкость кинематическая
Килограмм-метр в квадрате	kg×m <sup>2</sup>	кг×м <sup>2</sup>	Момент инерции (динамический момент инерции)
Килограмм-метр в секунду	kg×m/s	кг×м/с	Импульс (количество движения)
Килограмм на кубический метр	kg/m <sup>3</sup>	кг/м <sup>3</sup>	Плотность (массы), массовая концентрация компонента
Килограмм на моль	kg/mol	кг/моль	Молярная масса вещества
Кубический метр	m <sup>3</sup>	м <sup>3</sup>	Объем, вместимость
Кубический метр в секунду	m <sup>3</sup> /s	м <sup>3</sup> /с	Объемный расход
Кубический метр на килограмм	m <sup>3</sup> /kg	м <sup>3</sup> /кг	Удельный объем
Кубический метр на моль	m <sup>3</sup> /mol	м <sup>3</sup> /моль	Молярный объем вещества
Кулон на килограмм	C/kg	Кл/кг	Экспозиционная доза рентгеновского излучения и гамма-излучения
Люкс-секунда	lx×s	лк×с	Световая экспозиция
Люмен на квадратный метр	lm/m <sup>2</sup>	лм/м <sup>2</sup>	Светимость
Люмен-секунда	lm×s	лм×с	Световая энергия (количество света)
Метр в минус третьей степени	m <sup>-3</sup>	м <sup>-3</sup>	Объемная концентрация молекул
Метр в секунду	m/s	м/с	Скорость (линейная) распространения звуковых и электромагнитных волн
Метр на секунду в квадрате	m/s <sup>2</sup>	м/с <sup>2</sup>	Ускорение (линейное, свободного падения)
Моль в секунду на кубический метр	mol/(s×m <sup>3</sup> )	моль/(с×м <sup>3</sup> )	Скорость химической реакции
Моль на килограмм	mol/kg	моль/кг	Молярность раствора компонента
Моль на кубический метр	mol/m <sup>3</sup>	моль/м <sup>3</sup>	Молярная концентрация компонента
Ньютон-метр	N×m	Н×м	Момент силы, вращающий момент, момент пары сил
Ньютон на метр	N/m	h/m	Поверхностное натяжение
Ом-метр	W×m	Ом×м	Удельное электрическое сопротивление

## 2. СИСТЕМА ЕДИНИЦ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

### 2.1. Физическая величина, системы единиц физических величин

Окончание табл. 2.3

1	2	3	4
Паскаль-секунда	$\text{Па} \times \text{с}$	$\text{Па} \times \text{с}$	Вязкость динамическая
Радиян на секунду в квадрате	$\text{рад}/\text{с}^2$	$\text{рад}/\text{с}^2$	Угловое ускорение
Секунда в минус первой степени	$\text{с}^{-1}$	$\text{с}^{-1}$	Частота вращения, дискретных событий (импульсов, ударов), круговая (циклическая) частота, угловая частота, пульсация
Сименс на метр	$\text{С}/\text{м}$	$\text{С}/\text{м}$	Удельная электрическая проводимость

\* При образовании производных единиц иногда возникают единицы с громоздкими наименованиями, неудобные для применения в письме и устной речи, например килограмм-метр на секунду в квадрате. Чтобы устранить это неудобство, некоторым из них присвоены специальные наименования: люкс, люмен, ньютон, ампер, грей и другие. Обозначения этих единиц и измеряемые ими величины представлены в [табл. 2.3](#). Наравне с основными и дополнительными эти единицы используются для образования производных единиц СИ, например грей в секунду ( $\text{Гр}/\text{с}$ ), джоуль на килограмм ( $\text{Дж}/\text{кг}$ ) и т. д.

Таблица 2.4

Производные единицы СИ, имеющие специальное наименование и их выражение

Наименование единиц	Обозначение		Измеряемая величина	Выражение производной единицы	
	международное	русское		через другие единицы СИ	через основные единицы СИ
1	2	3	4	5	6
Беккерель	Bq	Бк	Активность нуклида (радиоактивного вещества)	Bq	$\text{с}^{-1}$
Ватт	W	Вт	Мощность, поток энергии, тепловой поток, поток звуковой энергии, поток излучения	Дж/с	$\text{м}^2 \times \text{кг} \times \text{с}^{-3}$
Вебер	Wb	Вб	Магнитный поток (поток магнитной индукции)	$\text{В} \times \text{с}$	$\text{м}^2 \times \text{кг} \times \text{с}^{-2} \times \text{А}^{-1}$
Вольт	V	В	Электрический потенциал, разность потенциалов, электрическое напряжение, электродвижущая сила, электродный потенциал, окислительно-восстановительный потенциал	Вт/А	$\text{м}^2 \times \text{кг} \times \text{с}^{-3} \times \text{А}^{-1}$

## 2. СИСТЕМА ЕДИНИЦ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

### 2.1. Физическая величина, системы единиц физических величин

Окончание табл. 2.4

1	2	3	4	5	6
Генри	н	Гн	Индуктивность	Вб/А	$\text{м}^2 \times \text{кг} \times \text{с}^{-2} \times \text{А}^{-2}$
Герц	Hz	Гц	Частота периодического процесса (звуковых, электрических и электромагнитных колебаний). Звуковые колебания употребляются реже	–	$\text{с}^{-1}$
Грей	Gy	Гр	Поглощенная доза	Gy	$\text{м}^2 \times \text{с}^{-1}$
Джоуль	J	Дж	Работа, энергия (звуковая, внутренняя, электромагнитного излучения), количество теплоты (теплота фазового превращения, теплота химической реакции сгорания топлива, пищевых веществ)	Н×м	$\text{м}^2 \times \text{кг} \times \text{с}^{-2}$
Зиверт	Sv	Зв	Эквивалентная доза излучения	Sv	$\text{м}^2 \times \text{с}^{-2}$
Кулон	C	Кл	Электрический заряд, количество электричества	–	$\text{с} \times \text{А}$
Люкс	lx	лк	Освещенность	–	$\text{м}^{-2} \times \text{кд} \times \text{ср}^{-2}$
Люмен	lm	лм	Световой поток	–	$\text{кд} \times \text{ср}$
Ньютон	N	Н	Сила, вес	–	$\text{м} \times \text{кг} \times \text{с}^{-2}$
Ом	О	Ом	Электрическое (омическое) сопротивление	В/А	$\text{м}^2 \times \text{кг} \times \text{с}^3 \times \text{А}^{-2}$
Паскаль	Pa	Па	Давление (звуковое, осмотическое), механическое напряжение	Н/м <sup>2</sup>	$\text{м}^{-1} \times \text{кг} \times \text{с}^{-2}$
Сименс	S	См	Электрическая проводимость	А/В	$\frac{\text{м}^{-2} \times \text{кг}^{-1}}{1 \times \text{с}^3 \times \text{А}^2}$
Тесла	T	Тл	Магнитная индукция, плотность магнитного потока	Вб/м <sup>2</sup>	$\text{кг} \times \text{с}^{-2} \times \text{А}^{-1}$
Фарад	F	Ф	Электрическая емкость	Кл/В	$\frac{\text{м}^{-2} \times \text{кг}^{-1}}{\text{с}^4 \times \text{А}^2}$

Примечания: 1. Производные единицы, имеющие специальные наименования в честь выдающихся ученых, принято обозначать прописной буквой (например, Па – паскаль, Ку – кулон, Дж – джоуль и т. д.). 2. В эти выражения входит дополнительная единица – стерадиан.

## 2. СИСТЕМА ЕДИНИЦ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

### 2.1. Физическая величина, системы единиц физических величин

Таблица 2.5

Приставки СИ и множители для образования десятичных кратных  
и дольных единиц и их наименований

Наименование приставки	Обозначение		Множитель
	международное	русское	
экса	E	Э	$10^{18}$
пета	P	п	$10^{15}$
тера	T	т	$10^{12}$
гига	G	г	$10^9$
мега	M	М	$10^6$
кило	k	к	$10^3$
гекто	h	г	$10^2$
дека	da	да	$10^1$
деци	d	Д	$10^{-1}$
санتي	c	с	$10^{-2}$
милли	m	м	$10^{-3}$
микро	μ	мк	$10^{-6}$
нано	n	н	$10^{-9}$
пико	P	п	$10^{-12}$
фемто	f	Ф	$10^{-15}$
атто	a	а	$10^{-18}$

Примечания: 1. Присоединение к наименованию единицы двух и более приставок подряд не допускается (например, вместо микромикрофарада следует употреблять пикофарада). 2. Поскольку наименование основной единицы килограмм содержит приставку кило, для образования кратных и дольных единиц массы используют дольную единицу грамм (0,001 кг) и приставки надо присоединять к слову грамм (например, миллиграмм вместо микрокилограмм). 3. Для некоторых единиц имеются ограничения, обусловленные исторически нежившимися правилами: например, единица времени секунда (с) употребляется только с дольными десятичными множителями (мс, мгкс и т. д.), единица массы тонна (т) – лишь с кратными (Мт, кг и т. д.). 4. Условно установленные единицы времени минуту, час, сутки; единицы плоского угла градус, минуту, секунду; атомную единицу массы (а. е. м.); астрономическую единицу световой год, парсек, оптическую диоптрию (литр) не допускается применять с приставками и множителями.

Таблица 2.6

Некоторые наиболее распространенные внесистемные единицы  
физических величин, допускаемые к применению наравне с единицами СИ,  
и их соотношение с единицами СИ

Наименование единицы	Обозначение		Измеряемая величина	Соотношение с единицей СИ или определение
	международное	русское		
1	2	3	4	5
Астрономическая единица	U. a.	а. е.	Длина	$1,5 \times 10^{11}$ м (приблизительно)

## 2. СИСТЕМА ЕДИНИЦ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

### 2.1. Физическая величина, системы единиц физических величин

Окончание табл. 2.6

1	2	3	4	5
Атомная единица массы	U	а. е. м.	Масса	$1,66 \times 10^{-27}$ кг (приблизительно)
Вольт-ампер	$V \times A$	$B \times A$	Полная мощность	1 Вт
Гектар	ha	га	Площадь	$10^4$
Градус (угловой)	...»	...°	Плоский угол	$1,75 \times 10^{-2}$ рад (приблизительно)
Диоптрия	–	дптр	Оптическая сила	$1 \text{ м}^{-1}$
Килограмм на литр	kg/l	кг/л	Плотность	$10^3 \text{ кг/м}^3$
Литр*	l	л	Объем, вместимость	$10^{-3} \text{ м}^3$
Литр в секунду	l/s	л/с	Объемный расход (клиренс)	$10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$
Литр на килограмм	l/kg	л/кг	Удельный объем	$10^{-3} \text{ м}^3/\text{кг}$
Литр на моль	l/mol	л/моль	Молярный объем	$10^{-3} \text{ м}^3/\text{моль}$
Миллиметр в час	mm/h	мм/ч	Скорость оседания эритроцитов	$0,2778 \times 10^{-6} \text{ м/с}$
Минута**	min	мин	Время	60 с
Минута (угловая)	...'	...'	Плоский угол	$2,9 \times 10^{-4}$ рад (приблизительно)
Моль в секунду на литр	mol/(s×l)	моль/(с×л)	Скорость химической реакции	$10^3 \text{ моль}/(\text{с} \times \text{м}^3)$
Моль на литр	mol/l	моль/л	Молярная концентрация	$10^3 \text{ моль/м}^3$
Парсек	pc	пк	Длина	$3,09 \times 10^{16}$ м (приблизительно)
Световой год	ly	св. год	—»—	$9,5 \times 10^{15}$ м (приблизительно)
Секунда (угловая)	..."	...»	Плоский угол	$4,8 \times 10^{-6}$ рад (приблизительно)
Сутки**	«d	сут	Время	86400 с
Тонна	t	т	Масса	$10^3$ кг
Час**	h	ч	Время	3600 с
Электрон-вольт	eV	эВ	Энергия	$1,6 \times 10^{-19}$ Дж (приблизительно)

\* Не рекомендуется применять при точных измерениях.

\*\* Допускается применение и других единиц, получивших широкое распространение (например, неделя, месяц, год, век, тысячелетие).

## 2. СИСТЕМА ЕДИНИЦ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

### 2.1. Физическая величина, системы единиц физических величин

Таблица 2.7

Относительные и логарифмические единицы, допускаемые к применению наравне с единицами СИ, и их определение

Наименование относительных и логарифмических единиц	Обозначение		Определение
	международное	русское	
Относительные единицы			
Единица (число 1)	–	–	1
Миллионная доля	ppt <sup>-1</sup>	млн <sup>-1</sup>	10 <sup>-6</sup>
Промилле	‰	‰	10 <sup>-3</sup>
Процент	%	%	10 <sup>-2</sup>
Логарифмические единицы			
Бел	В	Б	1 В = lg (P2/P1) при P2 = 10P <sup>-5</sup> 1 Б = 2lg (F2/F1) при F2 = 2·10 <sup>-5</sup> Па, где P1 и P2 – одноименные «энергетические» величины (мощности, энергии, интенсивности и др.), F1 и F2 – одноименные «силовые» величины (напряжения, силы тока, давления и др.), lg – знак десятичного логарифма
Децибел	dB	ДБ	0,1 Б

Таблица 2.8

Некоторые единицы физических величин, подлежащих изъятию из употребления, и их соотношение с единицами СИ

Наименование единицы	Обозначение		Измеряемая величина	Соотношение с единицей СИ
	международное	русское		
1	2	3	4	5
Ангстрем	Å	А	Длина	10 <sup>-10</sup> м
Атмосфера физическая	atm	атм	Давление	10 <sup>5</sup> Па
Бар*	bar	бар	→—	10 <sup>5</sup> Па
Бэр	rem	бэр	Эквивалентная доза излучения	0,01 Зв
Дина	dyn	дин	Сила, вес	10 <sup>-5</sup> Н
Калория	cal	кал	Количество теплоты, теплота химической реакции	4,1868 Дж
Калория на грамм	cal/g	кал/г	Удельное количество теплоты, удельная теплота химической реакции	4,1868 Дж/г

## 2. СИСТЕМА ЕДИНИЦ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

### 2.1. Физическая величина, системы единиц физических величин

Окончание табл. 2.8

1	2	3	4	5
Калория на моль	cal/mol	кал/моль	Молярная теплота химической реакции	4,1868 Дж/моль
Килограмм-сила	kgf	кгс	Давление	9,80665 Н
Килограмм-сила на квадратный сантиметр	kgf/cm <sup>2</sup>	кгс/см <sup>2</sup>	—»—	98,0665 кПа
Килокалория	kcal	ккал	Количество теплоты, теплота химической реакции	4,1868 кДж
Килокалория на килограмм	kcal/kg	ккал/кг	Удельное количество теплоты, удельная теплота химической реакции	4,1868 кДж/кг
Килокалория на моль	kcal/mol	ккал/моль	Молярная теплота химической реакции	4,1868 кДж/моль
Кюри	Ci	Ки	Активность нуклида (радиоактивного вещества)	$3,7 \times 10^{10}$ Бк
Микрон	m	мк	Длина	1 мкм
Миллиметр водяного столба	mm H <sub>2</sub> O	мм вод. ст.	Давление	9,80665 Па
Миллиметр ртутного столба	mm Hg	мм рт. ст.	—»—	133,322 Па
Миллимикрон	mm	ммк	Длина	1 нм
Нит	nt	нт	Яркость	$1 \text{ кд/м}^2$
Оборот в минуту	r/min	об/мин	Частота вращения	$1 \times 60 \text{ с}^{-1}$
Оборот в секунду	r/s	об/с	—»—	$1 \text{ с}^{-1}$
Пуаз	P	П	Динамическая вязкость	$0,1 \text{ Па}^{-\text{с}}$
Рад	rad, rd	рад	Поглощенная доза излучения	0,01 Гр
Рентген*	R	Р	Экспозиционная доза фотонного излучения	$2,58 \times 10^{-4}$ Кл/кг
Рентген в секунду*	R/s	Р/с	Мощность экспозиционной дозы фотонного излучения	$2,58 \times 10^{-4}$ А/кг
Стокс	St	Ст	Кинематическая вязкость	$10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$
Эрг	erg	эрг	Работа, энергия	$10^{-7}$ Дж
Эрстед	Oe	Э	Напряженность магнитного поля	79,575 А/м

\* Допускаются к применению на ограниченное время.

Таблица 2.9

Некоторые устаревшие русские и распространенные в англоязычных странах неметрические единицы и их значения в единицах СИ

Единицы измерения	Измеряемая величина	Значение в единицах СИ, кратных и дольных от них
<b>Русская</b>		
Аршин	Длина	0,7112 м
Верста	—»—	1066,8 м (1,0668 км)
Вершок	—»—	0,04445 м (4,445 см)
Золотник	Масса	0,00427 кг (4,27 г приблизительно)
Пуд	—»—	16,38 кг (приблизительно)
Фунт	—»—	0,4095 кг (409,5 г приблизительно)
<b>Английская</b>		
Дюйм	Длина	0,0254 м (2,54 см)
Миля (международная)	—»—	1800 м (1,8 км)
Фут	—»—	0,3048 (30,48 см)
Ярд	—»—	0,9144 м (91,44 см)
Унция	Масса	0,0283 кг (28,3 г приблизительно)
Унция тройская аптекарская	—»—	0,0311 кг (31,1 г приблизительно)
Фунт торговый	—»—	0,454 кг (454 г приблизительно)
Фунт тройский аптекарский	—»—	0,373 кг (373 г приблизительно)

## 2.2. Эталон единицы физической величины

**Эталон** – это средство измерений (или комплекс средств измерений), предназначенное для воспроизведения и (или) хранения единицы и передачи ее размера нижестоящим по поверочной схеме средствам измерений и утвержденное в качестве эталона в установленном порядке.

Примечания: 1. Конструкция эталона, его свойства и способ воспроизведения единицы определяются природой данной физической величины и уровнем развития измерительной техники в данной области измерений. 2. Эталон должен обладать, по крайней мере, тремя тесно связанными друг с другом существенными признаками (по М. Ф. Маликову) – неизменностью, воспроизводимостью и сличаемостью

**Первичный эталон.** Эталон, обеспечивающий воспроизведение единицы с наивысшей в стране (по сравнению с другими эталонами той же единицы) точностью.

Примечание. В случае когда одним первичным эталоном технически нецелесообразно обслуживать весь диапазон измеряемой величины, создают несколько первичных эталонов, охватывающих части этого диапазона с таким расчетом, чтобы был охвачен весь диапазон. В этом случае проводят согласование размеров единиц, воспроизводимых «соседними» первичными эталонами.

**Вторичный эталон.** Эталон, получающий размер единицы непосредственно от первичного эталона данной единицы.

**Эталон сравнения.** Эталон, применяемый для сличений эталонов, которые по тем или иным причинам не могут быть непосредственно сличены друг с другом.

**Исходный эталон.** Эталон, обладающий наивысшими метрологическими свойствами (в данной лаборатории, организации, на предприятии), от которого передают размер единицы подчиненным эталонам и имеющимся средствам измерений.

Примечания: 1. Исходным эталоном в стране служит первичный эталон, исходным эталоном для республики, региона, министерства (ведомства) или предприятия может быть вторичный или рабочий эталон. Вторичный или рабочий эталон, являющийся исходным эталоном для министерства (ведомства), нередко называют ведомственным эталоном. 2. Эталоны, стоящие в поверочной схеме ниже исходного эталона, обычно называют подчиненными эталонами

**Рабочий эталон.** Эталон, предназначенный для передачи размера единицы рабочим средствам измерений.

Примечания: 1. Термин «рабочий эталон» заменил собой термин «образцовое средство измерений» (ОСИ), что сделано в целях упорядочения терминологии и приближения ее к международной. 2. При необходимости рабочие эталоны подразделяют на разряды (1-й, 2-й, ...,  $n$ -й), как это было принято для ОСИ. В этом случае передачу размера единицы осуществляют через цепочку соподчиненных по разрядам рабочих эталонов. При этом от последнего рабочего эталона в этой цепочке размер единицы передают рабочему средству измерений.

**Государственный первичный эталон (государственный эталон).** Первичный эталон, признанный решением уполномоченного на то государственного органа в качестве исходного на территории государства.

*Пример* – государственные эталоны метра, килограмма, секунды, ампера, кельвина, канделы, ньютона, паскаля, вольта, беккереля.

**Национальный эталон.** Эталон, признанный официальным решением служить в качестве исходного для страны.

Примечание. Данное определение соответствует VIM-93 [1]. Оно, по существу, совпадает с определением понятия «государственный эталон», приведенным выше. Это свидетельствует о том, что термины «государственный эталон» и «национальный эталон» отражают одно и то же понятие. Вследствие этого термин «национальный эталон» применяют в случаях проведения сличения эталонов, принадлежащих отдельным государствам, с международным эталоном или при проведении так называемых круговых сличений эталонов ряда стран.

**Международный эталон.** Эталон, принятый по международному соглашению в качестве международной основы для согласования с ним размеров единиц, воспроизводимых и хранимых национальными эталонами.

*Пример* – международный прототип килограмма, хранимый в московском бюро мер и весов (МБМВ), утвержден 1-й Генеральной конференцией по мерам и весам (ГКМВ).

**Одиночный эталон.** Эталон, в составе которого имеется одно средство измерений (мера, измерительный прибор, эталонная установка) для воспроизведения и (или) хранения единицы.

**Групповой эталон.** Эталон, в состав которого входит совокупность средств измерений одного типа, номинального значения или диапазона измерений, применяемых совместно для повышения точности воспроизведения единицы или ее хранения.

Примечания: 1. Групповые эталоны подразделяют на групповые эталоны постоян-

ного или переменного составов. 2. За результат измерений принимают обычно среднее арифметическое значение результатов измерений однотипными средствами измерений или эталонными установками.

**Эталонный набор.** Эталон, состоящий из совокупности средств измерений, позволяющих воспроизводить и (или) хранить единицу в диапазоне, представляющем объединение диапазонов указанных средств.

Примечание. Эталонные наборы создаются в тех случаях, когда необходимо охватить определенную область значений физической величины.

*Пример* – эталонные разновесы (наборы эталонных гирь) и эталонные наборы ареометров, наборы концевых мер длины.

**Транспортируемый эталон.** Эталон (иногда специальной конструкции), предназначенный для его транспортирования к местам поверки (калибровки) средств измерений или сличений эталонов данной единицы.

**Хранение эталона.** Совокупность операций, необходимых для поддержания метрологических характеристик эталона в установленных пределах.

Примечания: 1. При хранении первичного эталона выполняют регулярные его исследования, включая сличения с национальными эталонами других стран с целью повышения точности воспроизведения единицы и совершенствования методов передачи ее размера. 2. Для руководства работ по хранению государственных эталонов устанавливают специальную категорию должностных лиц – ученых – хранителей государственных эталонов, назначаемых из числа ведущих в данной области специалистов-метрологов.

**Эталонная база страны.** Совокупность государственных первичных и вторичных эталонов, являющаяся основой обеспечения единства измерений в стране.

Примечание. Число эталонов не является постоянным, а изменяется в зависимости от потребностей экономики страны. Обычно прослеживается увеличение их числа во времени, что обусловлено постоянным развитием рабочих средств измерений.

**Эталонная установка.** Измерительная установка, входящая в состав эталона.

Примечание. Эталон может состоять из нескольких эталонных установок.

*Пример.* В состав государственного первичного эталона единицы активности радионуклидов входит шесть эталонных установок.

**Поверочная установка.** Измерительная установка, укомплектованная рабочими эталонами и предназначенная для поверки рабочих средств измерений и подчиненных рабочих эталонов.

**Воспроизведение единицы физической величины** (воспроизведение единицы). Совокупность операций по материализации единицы физической величины с помощью государственного первичного эталона.

Примечание. Различают воспроизведение основных и производных единиц.

**Воспроизведение основной единицы.** Воспроизведение единицы путем создания фиксированной по размеру физической величины в соответствии с определением единицы.

*Примеры:*

1. Воспроизведение единицы длины «метра» в соответствии с его определением, принятым на XVII ГКМВ в 1983 г., заключается в создании при помощи первичного эталона в специальных условиях длины пути, проходи-

мого светом в вакууме за промежуток времени, равный  $1/299792458$  с. При этом скорость света в вакууме принята за константу ( $299792458$  м/с).

2. Единица массы – 1 кг (точно) – воспроизведена в виде платино-иридиевой гири, хранимой в МБМВ в качестве международного эталона килограмма. Розданные другим странам эталоны имеют номинальное значение 1 кг, их действительные значения получены по отношению к международному эталону. На основании последних международных сличений платино-иридиевая гиря, входящая в состав государственного эталона единицы массы, в России имела значение  $1,000000087$  кг (1979 г.).

**Воспроизведение производной единицы.** Определение значения физической величины в указанных единицах на основании измерений других величин, функционально связанных с измеряемой величиной.

*Пример.* Воспроизведение единицы силы «ньютона» осуществляется на основании известного уравнения механики  $F = mg$ , где  $m$  – масса,  $g$  – ускорение свободного падения.

**Передача размера единицы.** Приведение размера единицы физической величины, хранимой поверяемым средством измерений, к размеру единицы, воспроизводимой или хранимой эталоном, осуществляемое при их поверке (калибровке).

Примечания: 1. Нередко при поверке (калибровке) измеряют одну и ту же физическую величину поверяемым средством измерения и эталоном с целью установления разности в их показаниях и введения поправки (в показание поверяемого средства измерений). 2 Размер единицы передается «сверху вниз» в соответствии с числом ступеней передачи, установленным поверочной схемой.

*Пример.* На основании сопоставления показаний высокоточного угломерного прибора с показаниями эталона вводят поправки в каждое оцифрованное деление поверяемого прибора.

**Хранение единицы** – совокупность операций, обеспечивающих неизменность во времени размера единицы, присущего данному средству измерений.

**Государственная система обеспечения единства измерений. Погрешности измерений.** Правовую основу метрологического обеспечения составляет Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ), представляющая собой комплекс нормативно-технических документов, устанавливающих единую номенклатуру стандартных взаимосвязанных правил и положений, требований и норм, относящихся к организации и методике оценивания и обеспечения точности измерений.

Основными объектами стандартизации ГСИ являются: единицы физических величин; государственные эталоны и общероссийские поверочные схемы; методы и средства поверки средств измерений; номенклатура нормируемых метрологических характеристик средств измерений; нормы точности измерений; способы выражения и формы представления результатов измерения и показателей точности измерений; методики выполнения измерений; организация и порядок проведения государственных испытаний, поверки, метрологической аттестации средств измерений; термины и определения в области метрологии и т. д.

Для обеспечения единства измерений ГСИ требует выполнения следующих положений. Результаты измерений должны выражаться в единицах физических величин, допущенных к применению в России по ГОСТу 8.417-81 (СТ СЭВ 1052-78) «ГСИ. Единицы физических величин». В соответствии с этим стандартом основными единицами являются : метр (м) – единица длины; килограмм (кг) – единица массы; секунда (с) – единица времени; ампер (А) – единица силы тока; кельвин (К) – единица термодинамической температуры; моль (моль) – единица количества вещества; кандела (кд) – единица силы света.

К дополнительным единицам относят радиан (рад) – единица плоского угла и стерadian (ср) – единица телесного угла. Кроме основных и дополнительных, система единиц предусматривает производные единицы, образуемые из основных и дополнительных при помощи определяющих уравнений. Угловые единицы не могут быть введены в число основных, так как это вызвало бы затруднение в трактовке размерностей величин, связанных с вращением (дуги окружности, площади круга, работа пары сил и т. п.). Вместе с тем они не являются производными единицами, так как не зависят от выбора основных единиц. Допускаются к применению также внесистемные единицы.

### 2.3. Государственная система обеспечения единства измерения

Средства измерений, предназначенные к серийному выпуску, подлежат государственным испытаниям. За данное мероприятие отвечает государственная система обеспечения единства измерения.

Основной целью государственных (приемочных и контрольных) испытаний является установление соответствия выпускаемых в стране серийно и закупаемых за границей средств измерений требованиям стандартов и техническим заданиям.

Средства измерений, находящиеся в пользовании, должны периодически подвергаться государственной поверке, ревизии, экспертизе. Поверка средств измерений производится для установления пригодности их к применению. Ревизия средств измерений производится для установления соответствия средств и методик измерений необходимому уровню метрологического обеспечения производства. Экспертиза выполняется в тех случаях, когда возникают вопросы о соответствии средств измерений и методик их применения техническим условиям.

Метрологические характеристики средств измерений, подлежащие нормированию, должны соответствовать государственным стандартам, которые устанавливают номенклатуру метрологических характеристик, средств измерений, а также способы их представления в нормативно-технической документации.

Форма представления результатов измерений должна соответствовать стандартам. В номенклатуру устанавливаемых стандартом показателей входят функции распределения вероятности систематической и случайной по-

грешностей результатов измерений, числовые характеристики систематической и случайной погрешностей, а также интервалы, в которых погрешности результатов измерений находятся с заданной вероятностью.

Измерения, нормы точности которых регламентированы стандартами или нормативно-техническими документами, должны выполняться по стандартным или аттестованным методикам выполнения измерений.

В настоящее время обосновывается назревшая необходимость замены понятия «Государственная система обеспечения единства измерений» понятием «Национальная система обеспечения единства измерений». Подобная замена диктуется принятием Закона РФ «О техническом регулировании», заменой государственных стандартов национальными стандартами, концепцией четкого разделения сфер государственного рыночного регулирования в области практической метрологии.

В истории есть много примеров того, когда сила инерции мышления, консерватизм взглядов и представлений приводили к фатальному всеобщему заблуждению. Сегодня нечто подобное происходит, на наш взгляд, применительно к понятию «Государственная система обеспечения единства измерений» (ГСИ).

ГСИ «родилась» в самом начале 1970-х годов, когда в нашей стране практически все было государственным. С тех пор в нашей стране изменилась общественно-экономическая формация, т. е. произошло событие всемирного глобального масштаба. Перестал существовать Госстандарт России, вместо государственных стандартов выпускаются национальные стандарты, действует Закон РФ «О техническом регулировании», готовится к утверждению новая редакция Закона РФ «Об обеспечении единства измерений». Ясно, что сегодня государство стремится освободиться от избыточных управленческих функций и в сфере практической метрологии. На этом фоне поразительным, почти загадочным феноменом является существование в стране ГСИ. Строго говоря, ГСИ изжила себя уже в тот период, когда велась работа над первой редакцией Закона «Об обеспечении единства измерений», принятого, как известно, в апреле 1993 г.

В рабочем варианте новой редакции Закона «Об обеспечении единства измерений», с которым ряд метрологов смог ознакомиться (кто официально, а кто и неофициально) в ноябре 2004 г, вновь фигурирует ГСИ. Попробуем выяснить, почему она снова возрождается.

Существуют различные определения ГСИ. В фундаментальном, богато изданном труде «Российская метрологическая энциклопедия» [1], составляющем предмет гордости ВНИИМ им. Д. И. Менделеева, мы находим следующее определение: «Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ) – государственная система управления деятельностью по ОБЕ в стране, возглавляемая, реализуемая и контролируемая Госстандартом России».

В этом же источнике, чуть раньше, дается следующее определение: «Обеспечение единства измерений (ОБЕ) – деятельность Государственной метрологической службы и метрологических служб федеральных органов государ-

ственной власти и юридических лиц, направленная на установление и применение научных, правовых, организационных и технических основ, правил и норм». В определении явно упущено главное – цель деятельности. По-видимому, предполагается, что она ясна сама по себе – это единство измерений.

В рекомендациях по межгосударственной стандартизации РМГ 29-99 «ГСИ. Метрология. Основные термины и определения», разработанных ВНИИМ им. Д. И. Менделеева [2], даются, как это ни парадоксально, другие определения.

В [2] мы читаем: «Обеспечение единства измерений (ОБЕ) – деятельность метрологических служб, направленная на достижение и поддержание единства измерений в соответствии с законодательными актами, а также правилами и нормами, установленными государственными стандартами и другими нормативными документами по обеспечению единства измерений». Это определение ОБЕ выгодно отличается, с нашей точки зрения, от определения ОБЕ, данного в [1].

Но главное в другом. В РМГ 22-29 дается следующее определение ГСИ: «Государственная система обеспечения единства измерений – комплекс нормативных документов межрегионального и межотраслевого уровней, устанавливающих правила, нормы, требования, направленные на достижение и поддержание единства измерений в стране (при требуемой точности), утверждаемых Госстандартом страны».

Так что же, в конце концов, представляет из себя ГСИ – «государственную систему управления деятельностью по ОБЕ...» или «комплекс нормативных документов»? Ответственность за это ложится на ВНИИ метрологии им. Д. И. Менделеева, именно он установил эти определения.

К изданиям энциклопедического характера нужно относиться с повышенным пиететом. «Российская метрологическая энциклопедия» издана с прицелом не на пару лет своего существования – подобные труды должны жить и служить людям долго. Но вот что ввергает в уныние: если довериться «Российской метрологической энциклопедии», то следует признать, что с исчезновением Госстандарта России исчезла и государственная система управления деятельностью по ОБЕ в стране. Есть, уважаемые читатели, над чем задуматься, не правда ли?

Не проясняет, а еще больше запутывает понимание смысла ГСИ, определение, данное в ГОСТ Р 8.000-2000 «Государственная система обеспечения единства измерений. Основные положения»: «Государственная система обеспечения единства измерений – государственная система управления субъектами, нормами, средствами и видами деятельности по обеспечению заданного уровня единства измерений в Российской Федерации». В этом определении много хороших, но существенно разных по смыслу слов. К тому же возникает новое понятие «заданный уровень единства измерений». Что это такое, уважаемые господа метрологи?

Нам представляется, что нет смысла заниматься «косметическим ремонтом» определения ГСИ, а надо просто осмыслить перемены, происшед-

шие в стране, и вместо понятия «Государственная система обеспечения единства измерений» ввести в употребление принципиально новое и адекватное реалиям нашей жизни понятие «Национальная система обеспечения единства измерений». Это предложение можно достаточно четко аргументировать.

Для начала попробуем вспомнить, что скрывается за понятием «государство». В «Большом юридическом словаре» [3] мы читаем: «Государство – определенный способ организации общества, основной элемент политической системы; организация публичной политической власти, распространяющаяся на все общество, выступающая его официальным представителем и опирающаяся в необходимых случаях на средства и меры принуждения...».

С приведенным выше определением можно в целом соглашаться или не соглашаться, но одну особенность государства следует признать безоговорочно: государство руководит основными сферами общественной жизни и при этом использует (в случае необходимости) силу принуждения.

Сегодня в наших российских условиях государство не может не взять на себя руководство определенной сферой практической метрологии – той сферой, которая затрагивает жизненно важные интересы общества в целом и отдельных граждан. Назовем для простоты и удобства эту сферу сферой государственного (законодательного) регулирования (СГР). Все, что не попадает в СГР, относится ко второй сфере – к сфере рыночного регулирования (СРР) или, точнее, к сфере саморегулирования. Естественно, что только в условиях «развитого социализма» государство могло позволить себе роскошь государственного управления всей практической метрологией. Именно в тех условиях и родилась тоталитарная Государственная система обеспечения единства измерений.

Наступили другие времена. Государство не может по ряду причин «опекать» всю практическую метрологию. Это слишком дорогое удовольствие, идущее в разрез к тому же с рядом конституционных норм. Государство берет «на себя» только СГР и при этом – в случае необходимости – использует механизм принуждения. В СРР все должно определяться законами рынка, и более того – рыночной стихией с ее жесткой конкуренцией. В СРР нет и не может быть (по определению) никакого принуждения.

По полной аналогии с приведенными выше соображениями о двух сферах практической метрологии надо говорить, с нашей точки зрения, об общей Национальной системе обеспечения единства измерений, включающей в себя две подсистемы:

- подсистему, жестко регулируемую с помощью обязательных к исполнению государственных документов (законы, указы президента, постановления правительства и т. п.);
- «саморегулируемую» подсистему, в которой могут использоваться (на условиях полной добровольности) метрологические документы нормативного и методического характера.

В первой подсистеме вопрос стоит так: выполняй в обязательном порядке положения государственных документов, в противном случае будешь

наказан.

Во второй подсистеме вопрос должен стоять так: хочешь выжить в жесткой конкурентной борьбе – работай «культурно», используя ту «мудрость», которая заложена в нормативных и методических метрологических документах. Хочешь рисковать – поступай, как знаешь.

Мы подошли к такому месту в наших рассуждениях, когда читатель вправе прервать нас и нетерпеливо воскликнуть: «Все это хорошо, но как можно определить понятие «Национальная система обеспечения единства измерений», тем более в условиях федерального государства, в котором живут и работают люди самых различных национальностей?»

Начнем с конца – с «самых различных национальностей». Убедительно просим читателей не путать национальности с нациями. В соответствии с [3], «нация – историческая общность людей, складывающаяся в процессе формирования общности их территории, экономических связей, и языка, некоторых особенностей культуры и характера, которые составляют ее признаки». Блестящим, очень убедительным подтверждением этого определения является существование американской нации. Сами американцы хорошо понимают, что такое нация и как надо пользоваться терминами «национальный» или «национальная». В США существуют, к примеру, национальная гвардия, национальное агентство по аэрокосмическим исследованиям, национальная библиотека, национальные стандарты и т. д. Другой пример – Франция. В этой стране, которая быстро становится многонациональной страной, также существует много организаций, названия которых начинаются словами «национальный» или «национальная».

Осознание глубинного смысла всего, что связано с понятием «нация», пришло, наконец, и в нашу общественную жизнь. На смену государственным стандартам пришли национальные стандарты. Еще недавно государственные стандарты были главной составляющей нормативной базы Государственной системы обеспечения единства измерений. И это обстоятельство воспринималось нами как нечто само собой разумеющееся. Но государственные стандарты исчезли, а Государственная система обеспечения единства измерений, в основе которой лежали исчезнувшие государственные стандарты, продолжает существовать.

Фактически на смену ГСИ пришла система государственного технического регулирования, основы которой, по существу, установлены Законом «О техническом регулировании». Теперь, после выхода этого закона, мы смотрим на стандарты совсем другими глазами. Обязательны к применению только те положения ранее утвержденных государственных стандартов, которые затрагивают жизненно важные интересы общества в целом и отдельных граждан. Со временем, надо полагать, в национальных стандартах вообще не будут регламентироваться положения, обязательные к применению. Такие положения будут регламентироваться в документах государственного уровня рассмотрения и утверждения (законы, указы президента, постановления правительства и т. д.).

Однако перейдем к возможным вариантам определения понятия «Национальная система обеспечения единства измерений».

В начале, говоря о двух вариантах определения ГСИ, мы обращали внимание читателей на тот важный факт, что в одном варианте ГСИ определялась как система управления, а в другом – как комплекс документов. Подчеркнем, что это различие носит принципиальнейший методологический характер, если не сказать больше – философский.

В соответствии с «Русским толковым словарем» [4], «система (от греческого слова *systema* – целое, составленное из частей; соединение) – нечто целое, представляющее собой единство закономерно расположенных и взаимосвязанных частей». Это определение не содержит, к сожалению, явных подсказок, на которые можно было бы опереться, рассматривая понятие «Национальная система обеспечения единства измерений». Вместе с тем в нем явно ощущается предостережение не смешивать в одну кучу «коней и людей» (помните, у Лермонтова в бессмертном шедевре «Бородино» есть строчки: «Смешались в кучу кони, люди...»?)

Рассмотрим два варианта определения:

1. Национальная система обеспечения единства измерений – система управления деятельностью по обеспечению единства измерений, принятая в стране.

2. Национальная система обеспечения единства измерений – комплекс документов правового, нормативного и методического характера, положения которых используются в деятельности по обеспечению единства измерений в стране.

«Оба приведенные выше варианта определения могут быть подвергнуты критике, но они обладают одним бесспорным достоинством – в них не смешиваются, по крайней мере, в одну кучу «кони и люди». Именно таким недостатком страдает, по нашему мнению, вариант определения ГСИ, который дается в одном из последних рабочих текстов новой редакции Закона «Об обеспечении единства измерений». В этом тексте мы читаем: «Государственная система обеспечения единства измерений представляет совокупность правил выполнения работ по обеспечению единства измерений, ее участников и правил функционирования системы обеспечения единства измерений в целом». Что можно сказать в связи с подобным определением? Правила – это правила, участники – это участники. Совокупность «правил и участников» представляет собой «совокупность» совершенно разнородных по изначальному смыслу понятий. Хорошо ли это? Думается, не очень. Пожалуй, значительно логичнее было бы записать: «Государственная система обеспечения единства измерений – совокупность правил функционирования системы обеспечения единства измерений». Совокупность правил – это звучит строго, логично, вполне в духе научного системного подхода. Но лучше всего, как это было показано нами выше, вообще отказаться от понятия «Государственная система обеспечения единства измерений» и перейти к понятию

«Национальная система обеспечения единства измерений», вполне адекватному, с нашей точки зрения, тем переменам в стране, которые уже произошли и происходят на наших глазах.

Ярким примером «метролого-юридических» курьезов является выпуск рекомендаций (документов вида МИ), на титульных листах которых «красуются» слова «Государственная система обеспечения единства измерений». Во-первых, документы вида МИ выпускаются отнюдь не государством и даже не по поручению государства. Во-вторых, как можно не выполнять требований документов, относящихся к Государственной системе обеспечения единства измерений? Зачем все использовать такую внушительную комбинацию слов? Зачем словами «Государственная система обеспечения единства измерений» прикрывать – в ряде случаев – разный метрологический «вздор»?

Словами «государство», «государственный» нельзя баловаться, нельзя их компрометировать на каждом шагу. «Государство» – это очень высокое понятие. С уважения к государству начинается многое.

Разработка новой редакции Закона РФ «Об обеспечении единства измерений» дает прекрасную возможность ввести «в употребление» новое, образно говоря, назревшее понятие – понятие «Национальная система обеспечения единства измерений». Другой такой возможности в ближайшие десять-двадцать лет, может и не будет.» [\[11\]](#)

## 2.4. Погрешности измерений

Погрешность измерения – это отклонение результата измерения от истинного (действительного) значения измеряемой величины.

Высокой точности измерений соответствует малая погрешность, при этом погрешность измерений представляет собой сумму целого ряда составляющих, каждая из которых имеет свою причину. Среди прочих можно выделить: погрешность настройки средства измерений; погрешность установки объекта измерения; погрешность получения, преобразования и выдачи информации в измерительной цепи; погрешность от воздействия внешних факторов (температуры, давления, электрического и магнитного полей, вибраций и т. п.); погрешности, связанные со свойствами измеряемого объекта и т. д.

В зависимости от формы выражения различают абсолютную и относительную погрешности измерений.

**Абсолютной** называют погрешность измерения ( $\Delta$ ), выраженную в тех же единицах, что и измеряемая величина.

Абсолютную погрешность вычисляют по формуле

$$\Delta = A - X_{\text{ист}},$$

где  $A$  – результат измерения;  $X_{\text{ист}}$  – истинное (действительное) значение из-

меряемой величины.

**Относительная погрешность** измерения ( $\delta$ ) представляет собой отношение абсолютной погрешности измерения к истинному (действительному) значению измеряемой величины. Она выражается в долях измеряемой величины по формуле

$$\delta = \frac{\Delta}{X_{\text{ист}}}, \quad \delta = \frac{\Delta}{A}$$

или в процентах

$$\delta = \frac{\Delta}{X_{\text{ист}}} \cdot 100 \%, \quad \delta = \frac{\Delta}{A} \cdot 100 \%$$

Существует понятие приведенной погрешности  $\gamma$ , которая связана непосредственно с измерительным прибором и определяется как отношение максимальной погрешности измерительного прибора  $\Delta X_{\text{max}}$  к нормирующему значению шкалы прибора  $X_n$ :

$$\gamma = \frac{\Delta X_{\text{max}}}{X_n}$$

Нормирующее значение  $X_n$  – это условно принятое значение, равное или верхнему пределу измерений, если нижний начинается с нуля, или диапазону измерений, или длине шкалы. Если приведенную погрешность выразить в процентах, то она будет численно равна классу точности прибора.

В зависимости от условий и режимов измерения различают статическую и динамическую погрешности.

**Статической** называют погрешность, не зависящую от скорости изменения измеряемой величины во времени.

**Динамической** называют погрешность, зависящую от скорости изменения измеряемой величины во времени.

Если в паспорте на средство измерений указывают предельные погрешности измерений, определенные в статических условиях, то они не могут характеризовать точность его работы в динамических условиях. Динамической погрешностью средства измерений является разность между погрешностью средства измерений в динамических условиях и его статической погрешностью.

В зависимости от характера проявления, возможностей устранения и причин возникновения различают систематическую и случайную погрешности.

**Систематической** ( $\Delta_{\text{сист}}$ ) называют составляющую погрешности измерений, остающуюся постоянной или закономерно изменяющуюся при повторных измерениях одной и той же величины. Близость к нулю системати-

ческих погрешностей характеризует качество измерений, называемое правильностью измерений. Это означает, что в случае несущественных систематических погрешностей правильно выбраны методы и средства измерений, обеспечены условия измерений и др.

**Случайной** ( $\Delta_{\text{случ}}$ ) называют составляющую погрешности измерений, изменяющуюся случайным образом при повторных измерениях одной и той же величины.

Выделяют также грубые погрешности и промахи, которые возникают из-за ошибок или неправильных действий оператора. Они обнаруживаются, как правило, при окончательной обработке результатов измерений и их значения из анализа исключаются.

По причине возникновения погрешности разделяют на инструментальные, методические и субъективные.

**Инструментальная погрешность** – погрешность средства измерений, определяющая несовершенство конструкции, она может быть как систематической, так и случайной.

**Методическая погрешность** – составляющая погрешности, обусловленная несовершенством метода измерений и упрощением математических зависимостей или связанная с невозможностью идеального воспроизведения модели объекта измерения.

**Субъективная погрешность** определяется с индивидуальной особенностью оператора и в большинстве случаев эти погрешности относятся к случайным.

## 3. КАЧЕСТВО ИЗМЕРЕНИЙ

### 3.1. Основные термины и определения

**Качество измерений** – совокупность свойств измерений, обуславливающих соответствие средств, метода, методики, условий измерений и состояния единства измерений требованиям измерительной задачи.

Качество измерений характеризуется точностью, достоверностью, правильностью, сходимостью и воспроизводимостью измерений, а также размером допустимых погрешностей.

**Точность** – качество измерений, отражающее близость их результатов к истинному значению измеряемой величины. Высокая точность измерений соответствует малым погрешностям, как систематическим, так и случайным.

Точность количественно оценивают обратной величиной модуля относительной погрешности. Например, если погрешность измерений равна  $10^{-6}$ , то точность равна  $10^6$ .

**Достоверность измерений** характеризует степень доверия к результатам измерений. Достоверность оценки погрешностей определяют на основе законов теории вероятностей и математической статистики. Это даёт возможность для каждого конкретного случая выбирать средства и методы измерений, обеспечивающие получение результата, погрешности которого не превышают заданных границ с необходимой достоверностью.

Под **правильностью измерений** понимают качество измерений, отражающее близость к нулю систематических погрешностей в результатах измерений.

**Сходимость** – качество измерений, отражающее близость друг к другу результатов измерений, выполняемых в одинаковых условиях. Сходимость измерений отражает влияние случайных погрешностей.

**Воспроизводимость** – это такое качество измерений, которое отражает близость друг к другу результатов измерений, выполняемых в различных условиях (в разное время, в различных местах, различными методами и средствами).

### 3.2. Вероятностный подход к описанию погрешностей

Полным описанием случайной величины, а следовательно и погрешности, является ее закон распределения, которым определяется характер появления различных результатов отдельных измерений. В практике измерений встречаются различные законы распределения, некоторые из которых рассмотрены ниже.

**Нормальный закон распределения (закон Гаусса).** Является одним из наиболее распространенных законов распределения погрешностей. Объ-

ясняется это тем, что во многих случаях погрешность измерения образуется под действием большой совокупности различных, независимых друг от друга причин. На основании центральной предельной теоремы теории вероятностей результатом действия этих причин будет погрешность, распределенная по нормальному закону при условии, что ни одна из этих причин не является существенно преобладающей.

Нормальный закон распределения погрешностей описывается формулой

$$\omega(\Delta x) = \frac{1}{\sigma[\Delta x]\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(\Delta x - \Delta x_c)^2}{2\sigma^2[\Delta x]}\right), \quad (3.1)$$

где  $\omega(\Delta x)$  – плотность вероятности погрешности  $\Delta x$ ;  $\sigma[\Delta x]$  – среднее квадратическое отклонение погрешности;  $\Delta x_c$  – систематическая составляющая погрешности.

Вид нормального закона, описываемого выражением (3.1) представлен на рис. 3.4 для двух значений  $\sigma[\Delta x]$ . Так как  $\Delta x = \Delta x - \Delta x_c$ , то закон распределения случайной составляющей погрешности  $\omega(\Delta x)$  имеет тот же вид (рис. 3.5) и описывается выражением, аналогичным, (3.1), т. е

$$\omega(\Delta x) = \frac{1}{\sigma[\Delta x]\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(\Delta x)^2}{2\sigma^2[\Delta x]}\right) = \frac{1}{\sigma[\Delta x]\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(\Delta x)^2}{2\sigma^2[\Delta x]}\right), \quad (3.2)$$

где  $[\Delta x]$  – среднее квадратическое отклонение случайной составляющей погрешности;  $\sigma[\Delta x] = \sigma[\Delta x]$ .

Таким образом, закон распределения погрешности  $\Delta x$  отличается от закона распределения случайной составляющей погрешности  $\Delta x$  только сдвигом по оси абсцисс на величину систематической составляющей погрешности  $\Delta x_c$ .

Из теории вероятностей известно, что площадь под кривой плотности вероятности характеризует вероятность появления погрешности. Из рис. 3.1 видно, что вероятность  $P$  появления погрешности в диапазоне  $\pm \Delta x_1$  при  $\sigma_1[\Delta x]$  больше, чем при  $\sigma_2[\Delta x]$  (площади, характеризующие эти вероятности, заштрихованы). Полная площадь под кривой распределения всегда равна 1, т. е. полной вероятности.

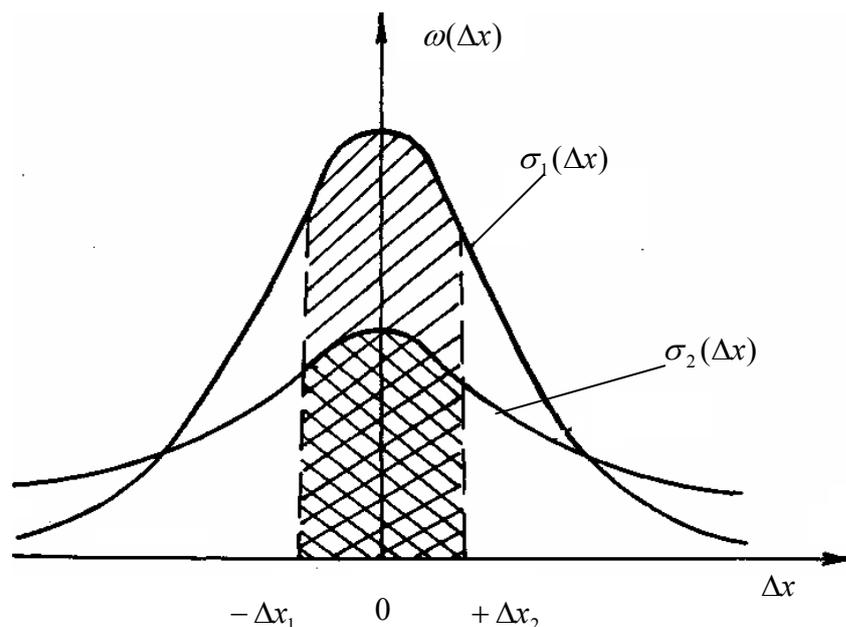


Рис. 3.1. Нормальный закон распределения случайной составляющей погрешности измерений

Учитывая это, можно утверждать, что погрешности, абсолютные значения которых превышают  $[\Delta x_1]$ , появляются с вероятностью, равной  $1-P$ , которая при  $\sigma_1[\Delta x]$  меньше, чем при  $\sigma_2[\Delta x]$ . Следовательно, чем меньше  $\sigma[\Delta x]$ , тем реже встречаются большие погрешности, тем точнее выполнены измерения. Таким образом, среднее квадратичное отклонение  $\sigma[\Delta x]$  можно использовать для характеристики точности измерений.

**Равномерный закон распределения.** Если погрешность измерений с одинаковой вероятностью может принимать любые значения, не выходящие за некоторые границы, то такая погрешность описывается равномерным законом распределения. При этом плотность вероятности погрешности  $\omega(\Delta x)$  постоянна внутри этих границ и равна нулю вне этих границ. Равномерный закон распределения представлен на [рис. 3.2](#). Аналитически он может быть записан так:

$$\omega(\Delta x) = \frac{1}{2\Delta x_1} \quad \text{при } -\Delta x_1 < \Delta x < +\Delta x_1 \quad (3.3)$$

$$\omega(\Delta x) = 0 \quad \text{при } \Delta x < -\Delta x_1 \text{ и } \Delta x > +\Delta x_1. \quad (3.4)$$

С таким законом распределения хорошо согласуется погрешность от трения в опорах электромеханических приборов, неисключенные остатки систематических погрешностей, погрешностей дискретности в цифровых приборах и др.

**Трапецевидный закон распределения.** Это распределение графически изображено на [рис. 3.3](#). Погрешность имеет такой закон распределения:

если она образуется из двух независимых составляющих, каждая из которых имеет равномерный закон распределения, тогда ширина интервала равномерного закона различна. Например, при последовательном соединении двух измерительных преобразователей, один из которых имеет погрешность, равномерно распределенную в интервале  $\pm\Delta\chi_1$  другой – равномерно распределенную в интервале  $\pm\Delta\chi_2$ , суммарная погрешность преобразования будет описываться трапециевидным законом распределения.

**Треугольный закон распределения (закон Симпсона).** Это распределение (см. [рис. 3.4](#)) является частным случаем трапециевидного, когда составляющие имеют одинаковые равномерные законы распределения. В машиностроении и метрологии треугольный закон после проверки на аномальность считают как закон нормального распределения.

**Двухмодальные законы распределения.** В практике измерений встречаются двухмодальные законы распределения, т. е. законы распределения, имеющие два максимума плотности вероятности. В качестве примера на [рис. 3.5](#) изображен двухмодальный закон распределения, который может быть в приборах, имеющих погрешность от люфта кинематических механизмов или от гистерезиса при перемагничивании деталей прибора.

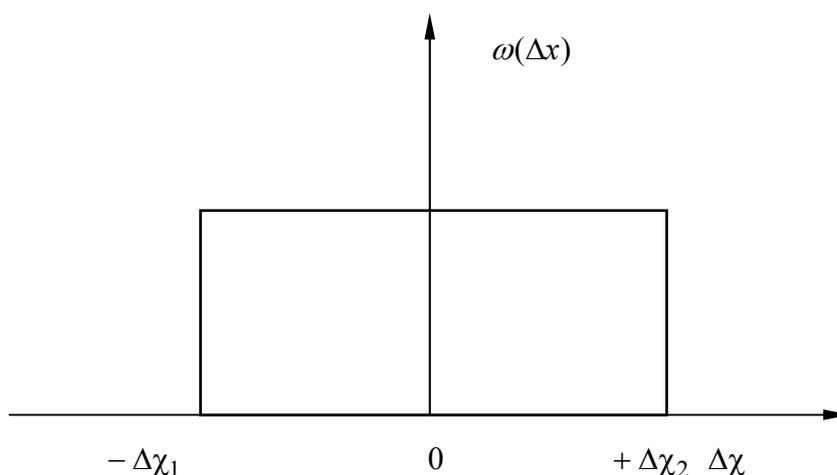


Рис. 3.2. Равномерный закон распределения

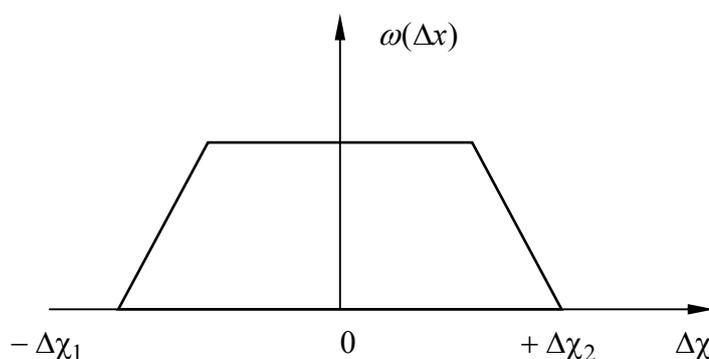


Рис. 3.3. Трапециевидный закон распределения

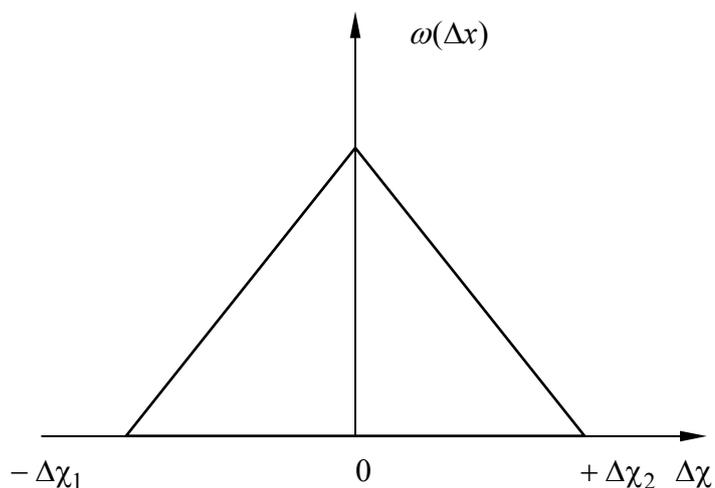


Рис. 3.4. Треугольный закон распределения

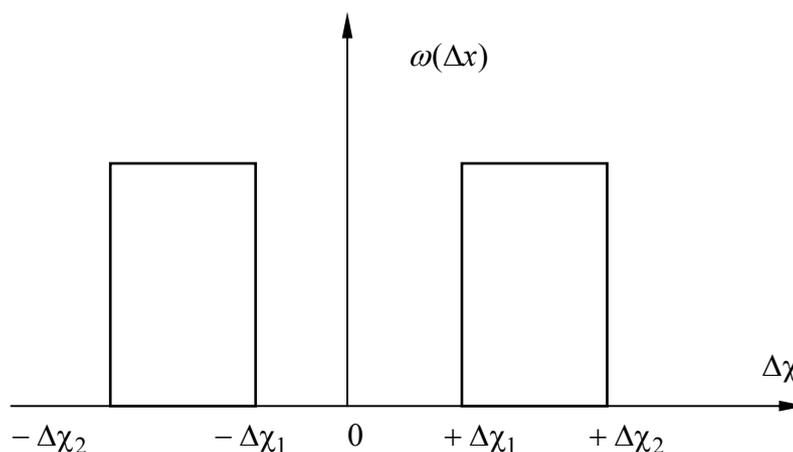


Рис. 3.5. Двухмодальный закон распределения

Если законы распределения погрешностей неизвестны, то они могут быть установлены на основании статистической обработки опытных данных ([рис. 3.6](#)). Однако экспериментальное определение законов распределения весьма трудоемко, поэтому к нему прибегают лишь при весьма ответственных измерениях.

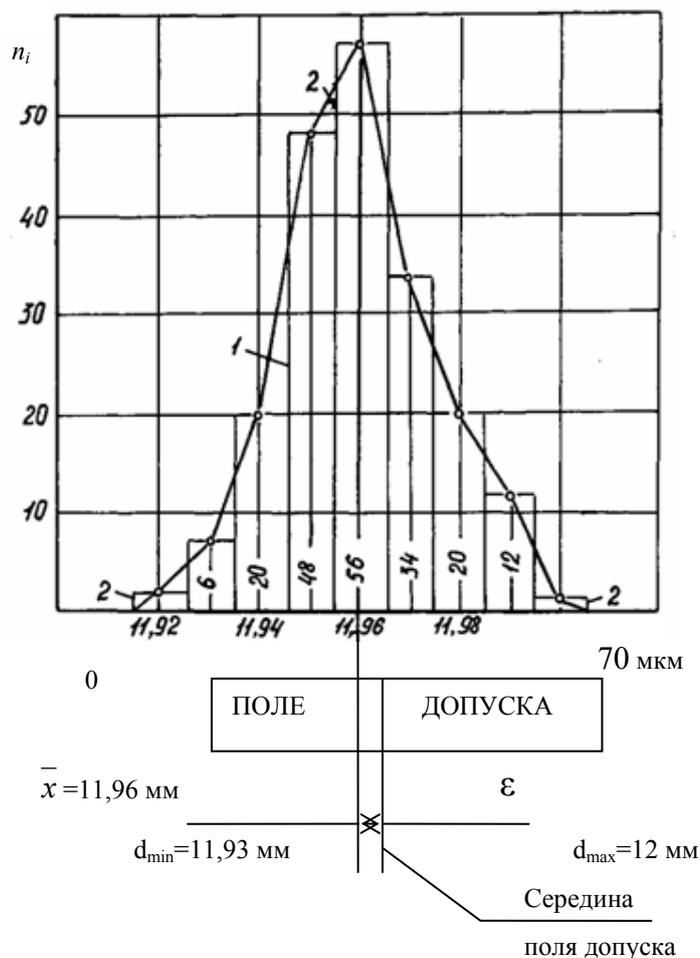


Рис. 3.6. Гистограмма 1 и эмпирическая кривая полигона распределения значений случайной величины 2

Иногда закон распределения погрешности принимают, исходя из физического представления о причинах появления погрешностей и анализа составляющих погрешностей измерения. Так, если погрешность измерения образуется из пяти и более составляющих, среди которых нет существенно преобладающих, то закон распределения результирующей погрешности обычно принимают нормальным. В противном случае, анализируя составляющие погрешности, принимают для них вид законов распределения и методами теории вероятностей находят закон распределения для результирующей (суммарной) погрешности измерения.

Из сказанного следует, что точный вид закона распределения погрешностей обычно неизвестен. Реальные законы распределения даже в простейших случаях отличаются от теоретических стандартных законов распределения, рассмотренных выше, где они называются стандартными аппроксимациями функций плотности вероятности. Поэтому характеристики погрешности не удастся найти точно. Однако практика показывает, что погрешность 10–20 % при определении самой погрешности зачастую вполне удовлетворительна.

### 3.3. Вероятностные оценки погрешностей

В результате измерения получают значение измеряемой величины в виде числа в принятых единицах величины. Погрешность измерения тоже удобно выражать в виде числа. Однако погрешность измерения является случайной величиной, исчерпывающим описанием которой может быть только закон распределения. Из теории вероятностей известно, что закон распределения можно охарактеризовать числовыми характеристиками (неслучайными числами), которые и используются для количественной оценки погрешности.

Основными числовыми характеристиками законов распределения являются математическое ожидание и дисперсия, которые определяются выражениями

$$M[\Delta x] = \int_{-\infty}^{+\infty} \Delta x \omega(\Delta x) d(\Delta x), \quad (3.5)$$

$$D[\Delta x] = \int_{-\infty}^{+\infty} \{\Delta x - M(\Delta x)\}^2 \omega(\Delta x) d(\Delta x) = D[\Delta x] = \int_{-\infty}^{+\infty} \{\Delta x\}^2 \omega(\Delta x) d(\Delta x), \quad (3.6)$$

где  $M$  – символ математического ожидания;  $D$  – символ дисперсии.

Математическое ожидание погрешности измерений есть неслучайная величина, относительно которой рассеиваются другие значения погрешностей при повторных измерениях. Математическое ожидание характеризует систематическую составляющую погрешности измерения, т. е.  $M[\Delta x]$ . Как числовая характеристика погрешности  $M[\Delta x]$  показывает на смещенность результатов измерения относительно истинного значения измеряемой величины.

Дисперсия погрешности  $D[\Delta x]$  характеризует степень рассеивания (разброса) отдельных значений погрешности относительно математического ожидания. Так как рассеивание происходит за счет случайной составляющей погрешности, то  $D[\Delta x] = D[\Delta x]$ . Чем меньше дисперсия, тем меньше разброс, тем точнее выполнены измерения. Следовательно, дисперсия может служить характеристикой точности проведенных измерений. Однако дисперсия выражается в единицах погрешности в квадрате. Поэтому в качестве числовой характеристики точности измерений используют среднее квадратическое отклонение  $\sigma[\Delta x] = \sqrt{D[X]}$  с положительным знаком, выражаемое в единицах погрешности.

Обычно при проведении измерений стремятся получить результат измерений с погрешностью, не превышающей допустимое значение. Знание только среднего квадратического отклонения не позволяет найти максимальную погрешность, которая может встретиться при измерениях, что свидетельствует об ограниченных возможностях такой числовой характеристики погрешности, как  $\sigma[\Delta x]$ . Более того, при условиях измерений, когда законы распределения погрешностей могут отличаться друг от друга, погрешность с меньшей дисперсией может принимать большие значения.

Максимальные значения погрешности зависят не только от  $\sigma[\Delta x]$ , но и от вида закона распределения. Когда распределение погрешности теоретически не ограничено, например, при нормальном законе распределения, погрешность может быть любой по значению. В этом случае можно лишь говорить об интервале, за границы которого погрешность не выйдет с некоторой вероятностью. Этот интервал называют доверительным интервалом, характеризующую его вероятность – доверительной вероятностью, а границы этого интервала – доверительными значениями погрешности.

В практике измерений применяют различные значения доверительной вероятности, например: 0,90; 0,95; 0,98; 0,99; 0,9973 и 0,999. Доверительный интервал и доверительную вероятность выбирают в зависимости от конкретных условий измерений. Так, при нормальном законе распределения случайных погрешностей со средним квадратическим отклонением  $\sigma[\Delta x]$  часто пользуются доверительным интервалом от  $+3\sigma[\Delta x]$  до  $-3\sigma[\Delta x]$ , для которого доверительная вероятность равна 0,9973. Такая доверительная вероятность означает, что в среднем из 370 случайных погрешностей только одна погрешность по абсолютному значению будет больше  $3\sigma[\Delta x]$ . Так как на практике число отдельных измерений редко превышает несколько десятков, появление даже одной случайной погрешности, большей, чем  $3\sigma[\Delta x]$ , мало.

## 4. ОСНОВЫ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ В МАШИНОСТРОЕНИИ

### 4.1. Понятие метрологического обеспечения в машиностроении

Развитие науки и техники неразрывно связано с возрастанием роли измерений. Автоматизация управления производственными процессами, техническими объектами и исследованиями ставит перед измерительной техникой новые и ответственные задачи, связанные с усложнением измерительных процедур, повышением точности, быстродействия и т. п. Многообразие видов и средств измерений неуклонно возрастает, причем это качественное и количественное развитие измерений должно идти в рамках обеспечения единства измерений, под которым понимается выражение результата измерения в указанных единицах с указанием значений характеристик погрешностей.

Возникло новое понятие – **метрологическое обеспечение**, под которым понимают установление и применение научных и организационных основ, технических средств, правил и норм, необходимых для достижения единства и требуемой точности измерений.

Научной основой метрологического обеспечения является метрология – наука об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства и способах достижения требуемой точности измерений.

Организационной основой метрологического обеспечения является метрологическая служба России, состоящая из государственной и ведомственной служб. Под метрологической службой подразумевается сеть учреждений и организаций, возглавляемых Госстандартом России, деятельность которых направлена на метрологическое обеспечение.

Техническую основу метрологического обеспечения составляют: система государственных эталонов единиц физических величин; система передачи размеров единиц физических величин от эталонов всем средствам измерений с помощью образцовых средств измерений и средств поверки; система государственных испытаний средств измерений, обеспечивающая единообразие средств измерений при разработке и выпуске их в обращение; система обязательной поверки или метрологической аттестации средств измерений; система стандартных образцов состава и свойств веществ и материалов; система стандартных справочных данных о физических константах и свойствах веществ и материалов.

Правовую основу метрологического обеспечения составляет Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ), представляющая собой комплекс нормативно-технических документов, устанавливающих единую номенклатуру стандартных взаимосвязанных правил и положений, требований и норм, относящихся к организации и методике оценивания и обеспечения точности измерений.

## 4.2. Структура метрологического обеспечения

В настоящее время метрологическое обеспечение принято разделять на три основные составляющие:

1. Научно-техническую основу метрологического обеспечения, которое представляет собой:

- а) физические величины и их измерение,
- б) единицы физических величин,
- в) эталоны единиц физических величин,
- г) средства и методы измерений,
- д) погрешности измерений.

2. Организационно правовую основу метрологического обеспечения, которая делится на следующие:

- а) государственную метрологическую службу,
- б) метрологические службы государственных органов и юридических лиц.

3. Метрологическое обеспечение подготовки производства и систем качества.

Научно-техническую основу метрологического обеспечения мы рассматривали выше, поэтому начнём непосредственно со второй составляющей.

Фундаментом организационно-правовой основы метрологического обеспечения является **Государственная метрологическая служба**.

Метрологическая служба – совокупность субъектов деятельности и видов работ, направленных на обеспечение единства измерений.

В настоящее время метрологическая служба России состоит из Государственной метрологической службы, а также из метрологических служб органов Государственного управления и юридических лиц. Единство измерений этих служб заключается в руководстве Госстандартом России всей метрологической деятельностью – обеспечении единства измерений и единых нормативных документов по вопросам метрологического обеспечения, имеющих обязательную силу на территории РФ.

Государственная метрологическая служба включает:

государственные научные метрологические центры (ГНМЦ); органы Государственной метрологической службы на территориях республик в составе Российской Федерации, автономных областей, автономных округов, областей, городов Москвы и Санкт-Петербурга.

В состав Государственной метрологической службы входит ряд метрологических научно-исследовательских институтов:

Всероссийский научно-исследовательский институт метрологической службы (ВИНИМС, г. Москва), НПО «ВНИИ метрологии имени Д. И. Менделеева» (ВНИИМ, г. С-Петербург), НПО «ВНИИ» физико-технических и радиотехнических измерений» (ВНИИФТРИ, Московская область), Сибирский государственный научно-исследовательский институт метрологии (СНИИМ, г. Новосибирск), Уральский научно-исследовательский институт метрологии (УНИИМ, г. Екатеринбург), Всероссийский научно-исследо-

вательский институт расходомерии (ВНИИР, г. Казань), Восточно-сибирский научно-исследовательский институт физико-технических и радиотехнических измерений (ВСНИИФТРИ, г. Иркутск).

Государственные научные метрологические центры несут ответственность за создание, совершенствование, хранение и применение государственных эталонов, а также за разработку нормативных документов по обеспечению единства измерений. Научные центры являются хранителями государственных эталонов, проводят исследования в области теории измерений, принципов и методов высокоточных измерений, разработки научно-методических основ совершенствования Российской системы измерений.

Органами Государственной метрологической службы являются центры стандартизации, метрологии и сертификации – ЦСМиС (их более 100), расположенные по всей территории России. В Москве находится Российский центр испытаний и сертификации (РосТест-Москва), в Санкт-Петербурге – РосТест-С.-Петербург. Органы Государственной службы проводят работы по поверке и калибровке средств измерений, осуществляют Государственный метрологический контроль и надзор за обеспечением единства измерений.

Обеспечением единства измерений заняты и другие государственные службы: Государственная служба времени и частоты и определения параметров Земли (ГСВЧ), Государственная служба стандартных образцов состава и свойств веществ и материалов (ГССО), Государственная служба стандартных справочных данных о физических константах и свойствах веществ и материалов (ГСССД). Госстандарт России осуществляет руководство этими службами и координацию их деятельностью.

ГСВЧ обеспечивает межрегиональную и межотраслевую координацию работ по организации единства измерений времени, частоты и определения параметров вращения Земли; воспроизведению, хранению и передаче размеров единиц времени и частоты, шкал атомного, всемирного и координированного времени, координат полюсов Земли.

ГССО организует создание и использование стандартных образцов состава и свойств веществ и материалов (металлов и сплавов, медицинских препаратов, минерального сырья, почв и др.). Служба также обеспечивает разработку средств сопоставления характеристик стандартных образцов с характеристиками веществ и материалов, которые производятся промышленными, сельскохозяйственными и другими предприятиями для их идентификации или контроля.

ГСССД занимается созданием достоверных характеристик физических констант, свойств веществ и материалов, минерального сырья и т. п., периодически публикуя справочные данные.

Метрологические службы государственных органов управления и юридических лиц создаются для выполнения работ по обеспечению единства измерений, повышения уровня метрологического обеспечения. Допускается возложение отдельных функций метрологической службы на иные структурные подразделения. Метрологические службы государственных органов управления и

юридических лиц организуют свою деятельность на основе положений Закона РФ «Об обеспечении единства измерений», других законодательных и нормативных документов, регламентирующих вопросы метрологии. Основные задачи, права и обязанности метрологических служб государственных органов управления и юридических лиц независимо от форм собственности определены в ПР 50.732-93 «ГСИ. Типовое положение о метрологической службе государственных органов управления и юридических лиц».

Метрологическая служба государственного органа управления представляет собой систему, образуемую приказом руководителя государственного органа управления, которая может включать: подразделение (службу) главного метролога в центральном аппарате; головные и базовые организации метрологической службы в отраслях; метрологические службы предприятий.

К основным задачам метрологических служб относятся:

- калибровка средств измерений;
- надзор за состоянием и применением средств измерений аттестованными методиками выполнения измерений, эталонами единиц величин, применяемыми для калибровки средств измерений, соблюдением метрологических правил и норм, нормативных документов по обеспечению единства измерений;
  - выдача обязательных предписаний, направленных на предотвращение, прекращение или устранение нарушений метрологических правил и норм;
  - проверка своевременности представления средств измерений на испытания в целях утверждения типа средств измерений, а также на поверку и калибровку;
  - анализ состояния измерений, испытания и контроля на предприятии, в организации.

Метрологические службы предприятий должны уделять особое внимание состоянию измерений, соблюдению метрологических правил и норм в сферах деятельности предприятия, предусмотренных Законом (ст. 13): при испытаниях и контроле качества продукции в целях определения соответствия обязательным требованиям государственных стандартов, при выполнении предприятием работ по обязательной сертификации продукции и услуг и др.

Специалисты метрологических служб предприятия должны принимать активное участие в аттестации испытательных подразделений, в подготовке к сертификации систем качества.

Метрологические службы могут быть аккредитованы на техническую компетентность в осуществлении конкретной деятельности в области обеспечения единства и требуемой точности измерений.

### **4.3. Метрологическое обеспечение подготовки производства и систем качества**

Метрологическое обеспечение может проводиться при создании нестандартных средств измерений.

**Нестандартные средства измерений (НСИ).** Установлен порядок метрологического обеспечения эксплуатации нестандартных средств измерений, который распространяется также:

- на ввозимые из-за границы единичными экземплярами;
- единичные экземпляры серийных средств измерений, отличающиеся от условий, для которых нормированы их метрологические характеристики;
- серийно выпускаемые образцы, в схему и конструкцию которых внесены изменения, влияющие на их метрологические характеристики.

Нестандартными могут быть как рабочие, так и образцовые средства измерений.

Задачами метрологического обеспечения НСИ являются:

1. Исследование метрологических характеристик и установление соответствия НСИ требованиям технических заданий либо паспорту (проекту) завода изготовителя.
2. Установление рациональной номенклатуры НСИ.
3. Обеспечение НСИ средствами аттестации, поверки (НТД по поверке) при их разработке, изготовлении и эксплуатации.
4. Обеспечение постоянной пригодности НСИ к применению по назначению с нормированной для них точностью.
5. Сокращение сроков и снижение затрат на разработку, изготовление и эксплуатацию.

Научно-методическое руководство деятельностью предприятий по метрологическому обеспечению НСИ осуществляют головные и базовые организации метрологической службы министерств (ведомств), метрологические институты, центры стандартизации и метрологии Госстандарта России.

Вновь разработанные или закупленные по импорту НСИ допускаются к применению только после их метрологической аттестации. Если существует договор о взаимном признании результатов аттестации средств измерений со страной, из которой импортируется НСИ, то аттестация в России может не проводиться.

За разработкой, изготовлением и эксплуатацией НСИ ведётся авторский и государственный (в сферах распространения государственного метрологического контроля и надзора) надзор, а также ведомственный контроль.

Авторский контроль осуществляется разработчиком НСИ совместно с метрологической службой разработчика. Он предусматривает участие в подготовке и проведении метрологической аттестации НСИ, оказание помощи при разработке нормативно-технической документации и организации по-

верки НСИ.

Ведомственный метрологический контроль за разработкой, изготовлением, аттестацией и поверкой НСИ проводится метрологическими службами министерства (ведомства).

## 5. МЕТРОЛОГИЧЕСКАЯ ЭКСПЕРТИЗА ДОКУМЕНТАЦИИ

### 5.1. Метрологическая экспертиза технической документации

Согласно ГОСТ 8.103-73 под метрологической экспертизой (МЭ) понимают анализ и оценку технических решений по выбору параметров, подлежащих измерениям, установлению требований к точности измерений и обеспечению методами и средствами измерения (СИ) процессов разработки, изготовления, испытания, эксплуатации и ремонта продукции.

МЭ является формой участия специалистов-метрологов в разработке технической документации. Целью такого участия является выявление ошибочных или недостаточно обоснованных решений по метрологическому обеспечению и оказание помощи разработчику в поиске наиболее рациональных решений. Введение МЭ в практику технологической подготовки производства приводит к совершенствованию его метрологического обеспечения и, как следствие, способствует повышению качества выпускаемой продукции. МЭ должна способствовать рациональному решению двух основных вопросов метрологического обеспечения производства изделий – что измерять и с какой точностью – и связанных с ними вопросов выбора средств и методик выполнения измерений.

В связи с этим задачами МЭ технической документации являются [\[5,7\]](#):

1) оценка:

- рациональности номенклатуры измеряемых параметров;
- оптимальности требований к точности измерений;
- соответствия точности измерений заданным требованиям;
- полноты и правильности требований к точности СИ;
- контролепригодности конструкции (возможности контроля необходимых параметров процесса изготовления, испытаний, эксплуатации и ремонта);
- возможности эффективного обслуживания выбранных СИ;
- рациональности выбранных средств и методик выполнения измерений;

2) анализ использования вычислительной техники в измерительных операциях;

3) контроль метрологических терминов, наименований измеряемых величин и обозначений их единиц.

МЭ подвергают документацию на продукцию основного и вспомогательного производств, содержащую требования к СИ, условиям, процедуре измерений, нормы и показатели точности измерений: документы на стадии разработки технического задания; документы, используемые на стадии разработки конструкции (техническое предложение, эскизный проект, технический проект); рабочую конструкторскую документацию; перспективные проекты технологической документации и рабочую технологическую докумен-

тацию; документы на стадии изготовления изделий (например, извещения об изменениях документации). Объекты анализа, рекомендуемые для МЭ различной технической документации, представлены в [табл. 5.1](#).

Результаты МЭ фиксируют в форме замечаний, которые носят характер предписаний, обязательных к исполнению. В большинстве случаев эти замечания должны сопровождаться предложениями, направленными на устранение замеченных недостатков. Замечания должны быть конкретными и понятными без устных пояснений эксперта, а предложения могут быть как конкретными (например, заменить одно средство измерения другим), так и более общими (например, заменить измерительную базу без указания вариантов замены, обосновать выбор нормируемого параметра и др.).

Другая типичная форма оформления результатов МЭ – экспертное заключение. Оно составляется при оформлении результатов МЭ документации, поступившей от других организаций, результатов МЭ специально назначенной комиссией, результатов МЭ, после которой необходимо вносить изменения в действующую документацию или разрабатывать мероприятия по совершенствованию метрологического обеспечения.

### 5.2. Метрологическая экспертиза конструкторской документации

Целью МЭ рабочей конструкторской документации является оценка возможности контроля установленных в документации норм точности, достоверности и экономической целесообразности методов контроля.

Одной из главных задач МЭ рабочей конструкторской документации является анализ рациональности номенклатуры параметров, подлежащих измерениям, который включает:

- рассмотрение возможности замены качественных требований (при их наличии) на требования к физическим величинам;
- принцип объективности и достоверности, который не оправдывает дополнительные затраты на организацию измерений.

Изменение номенклатуры измеряемых параметров осуществляют по результатам оценки их влияния на служебное назначение изделия и их взаимосвязи, а также экономической целесообразности соответствующих контрольно-измерительных операций ([табл. 5.1](#)).

Так, в ряде случаев для удобства измерения целесообразно заменять раздельное нормирование отклонений формы и расположения поверхностей деталей нормированием суммарных отклонений этих параметров геометрической точности, тем более, что во многих случаях точность формы и расположения поверхностей одновременно влияют на эксплуатационные свойства деталей [8]. К таким параметрам можно отнести отклонения от плоскостности и параллельности, плоскостности и перпендикулярности и некоторые другие, часто нерационально нормируемые и измеряемые раздельно.

## 5. МЕТРОЛОГИЧЕСКАЯ ЭКСПЕРТИЗА ДОКУМЕНТАЦИИ

### 5.2. Метрологическая экспертиза конструкторской документации

Таблица 5.1

Виды документов, подвергаемых метрологической экспертизе

Объект анализа при метрологической экспертизе	Виды технической документации								
	Техническое задание, предложения (заявки)	Отчет о НИР, пояснительная записка к техническим и эскизным проектам	Протокол испытаний	Технические условия, проекты стандартов	Эксплуатационные и ремонтные документы	Программы и методики испытаний	Технологические инструкции и регламенты	Технологические карты	Проектные документы
Рациональность номенклатуры измеряемых параметров		•		•	•	•	•		•
Оптимальность требований к точности измерений	•	•		•		•	•		•
Объективность и полнота требований к точности СИ	•	•		•	•	•	•		•
Соответствие фактической точности измерений требуемой		•	•	•	•	•	•		•
Контролепригодность конструкции (схемы)		•			•				•
Возможность эффективного метрологического обслуживания СИ	•	•		•	•		•		•
Рациональность выбранных методик и средств измерений		•	•	•	•	•	•		•
Применение ЭВМ		•		•		•	•		•
Метрологические термины	•	•	•	•	•	•	•		•

С другой стороны, иногда целесообразно нормируемые комплексные параметры геометрической точности заменять дифференцированными. Например, измерение комплексного параметра точности формы цилиндрических поверхностей есть отклонение от цилиндричности, которое бывает недостаточно обеспечено производственными измерительными средствами. Поэтому рекомендуют раздельно нормировать и измерять отклонения от круглости и профиля продольного сечения.

Нормирование точности расположения осей отверстий под крепеж позиционными допусками часто экономически целесообразней, чем нормирование допусками координирующих размеров, так как позволяет использовать для контроля зависимых позиционных отклонений комплексные калибры.

При проверке правильности взаимной увязки допусков формы, расположения, а также шероховатости поверхностей и допусков на размеры, проставляемых на чертеже детали, следует руководствоваться ГОСТ 24643–81 и рекомендациями [5, 6]. Если для обеспечения служебного назначения изделия назначаются для одних и тех же поверхностей допуски расположения  $TP$  и допуски формы  $TF$ , то допуски формы не должны превышать допусков расположения (кроме случаев, оговоренных нормативными документами)  $TF \leq TP$ .

Таким образом, для цилиндрических поверхностей допуски цилиндричности или круглости не должны превышать допусков соосности, пересечения осей, симметричности, позиционного допуска. Допуск профиля продольного сечения не должен превышать допусков параллельности и перпендикулярности. Для плоских поверхностей допуски плоскостности и прямолинейности не должны превышать допусков параллельности, перпендикулярности, торцового биения, симметричности и позиционного допуска положения плоскости симметрии.

Допуски формы назначают только в тех случаях, когда они должны быть меньше допуска размера  $IT$  для плоских поверхностей ( $TF < IT$ ) и меньше половины допуска диаметра для цилиндрических поверхностей ( $TF < 0,5 IT$ ).

Для обеспечения рационального соотношения между допусками формы и допуском размера  $IT$  ГОСТ 24643–81 рекомендованы три уровня относительной геометрической точности:

А – нормальная относительная геометрическая точность.  $TF = 0,6 IT$  для плоских поверхностей и  $TF = 0,3 IT$  для цилиндрических поверхностей.

В – повышенная относительная геометрическая точность. Для плоских и цилиндрических поверхностей соответственно  $TF = 0,4 IT$  и  $TF = 0,2 IT$ .

С – высокая относительная геометрическая точность. Для плоских и цилиндрических поверхностей соответственно  $TF = 0,25 IT$  и  $TF = 0,12 IT$ .

Аналогичные соотношения установлены для допусков параллельности и размера.

При проверке взаимной увязки допусков диаметра, угла и формы поверхностей деталей конических соединений следует руководствоваться ГОСТ 25307–82.

При заданном допуске  $TDS$  диаметра конуса в заданном сечении рекомендуется назначать допуск угла конуса  $ATD$ , не превышающим допуск диа-

метра конуса:  $ATD \leq TDS$ .

При задании допусков угла и формы поверхности конуса (допуски круглости и прямолинейности образующих) рекомендуется соблюдать следующие соотношения между ними:

при односторонних предельных отклонениях угла конуса ( $+ AT$  или  $- AT$ )  $TF \leq 0,5 ATD$ ;

при симметричных предельных отклонениях угла конуса ( $\pm AT/2$ )  $TF \leq 0,25 ATD$ .

Для трех уровней относительной геометрической точности наибольшие значения параметров шероховатости должны быть определены из следующих соотношений:

при уровне *A* среднее арифметическое отклонение профиля  $Ra \leq 0,05 IT$ ;

при уровне *B* –  $Ra \leq 0,025 IT$ ;

при уровне *C* –  $Ra \leq 0,012 IT$ .

При заданных допусках биения *TC* (радиального *TCR* или торцового *TCA*, в заданном направлении, полного радиального или полного торцового) значения параметра шероховатости *Ra* рекомендуется ограничивать, исходя из условия  $Ra \leq 0,1 TC$ .

В тех случаях, когда нормируют высоту неровностей по десяти точкам *Rz*, можно воспользоваться зависимостью

$$Rz = k \cdot Ra,$$

где  $k = 4$  при  $Ra = (2,5 \dots 80)$  мкм;  $k = 5$  при  $Ra = (0,02 \dots 1,6)$  мкм.

При экспертизе контролепригодности установленных норм точности основное внимание уделяют анализу возможности измерения указанных в конструкторской документации параметров точности изделия существующими в конкретном производстве измерительными средствами. Если это невозможно, проверяют обоснованность назначения указанных параметров точности и их допусков. При этом необходимо учитывать, что одни и те же свойства изделия могут быть обеспечены нормированием различных параметров. Например, при отсутствии в единичном производстве комплексных калибров для контроля позиционного отклонения осей отверстий под крепеж, возможна замена в соответствии с ГОСТ 28187–89 позиционных допусков предельными отклонениями координирующих размеров.

Проверка полноты и правильности требований к точности средств измерения производится, как правило, если нормируемые параметры непосредственно не проверяются, а используются косвенные методы измерения. При косвенных измерениях погрешность средств измерений составляет часть погрешности измерений. В таких случаях необходимо представление о методической составляющей погрешности измерений.

При проверке правильности требований к точности средств измерения следует учитывать, что чрезмерный запас по точности экономически не оправдан. Чем точнее средство измерения, тем выше затраты на измерения, в том числе затраты на метрологическое обслуживание этих средств.

Достоверность измерений линейных размеров можно оценить величинами параметров  $m$  (количество неправильно принятых деталей),  $n$  (количество неправильно забракованных деталей) и  $c$  (возможный выход за границу поля допуска у неправильно принятых деталей), определяемыми по ГОСТ 8.051–81 в зависимости от точности технологического процесса обработки заготовок и точности измерений. Указанные параметры должны находиться в пределах, допустимых конструктивными ( $m, c$ ) и экономическими ( $n$ ) требованиями.

При оценке правильности использования метрологических терминов, наименований измеряемых величин и обозначений их единиц проверяют выполнение требований ГОСТ 16263–70, ГОСТ 8.417–81 и др.

Правильное использование терминологии – залог предотвращения ошибок и неоднозначности в содержании технической документации. В документации разрешается применение Международной системы единиц (СИ), кратных и дольных единиц СИ, единиц, допущенных к применению наравне с единицами СИ.

Одним из наиболее важных и ответственных этапов МЭ конструкторской документации является метрологическая экспертиза рабочих чертежей машин и приборов.

## 6. ОБЩИЕ МЕТОДЫ И СПОСОБЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ПО МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ ЭКСПЕРТИЗЕ

Целью МЭ чертежа детали является установление возможности контроля заложенных в чертеже норм точности. МЭ чертежа детали выполняется в следующем порядке:

1. Проверяют соответствие (необходимость и достаточность) указанных непосредственно на чертеже и в технических требованиях допусков размеров, формы, расположения и шероховатости поверхностей служебному назначению детали и соответствующим государственным стандартам.

2. Проверяют правильность терминологии в назначенных технических требованиях, соответствие наименований измеряемых величин и обозначение их единиц Международной системе единиц.

3. Проверяют взаимную увязку допусков размеров, взаимного расположения и шероховатости поверхностей детали.

4. Определяют контролепригодность указанных в п. 3 допусков.

5. Определяют достоверность контроля назначенных норм точности.

Результаты метрологической экспертизы оформляют в виде замечаний и предложений. Документацию вместе со списком замечаний и предложений возвращают ее разработчику для внесения исправлений.

*Пример.* Выполнить метрологическую экспертизу чертежа шлицевого вала ([рис. 6.1](#)), изготавливаемого в условиях мелкосерийного производства.

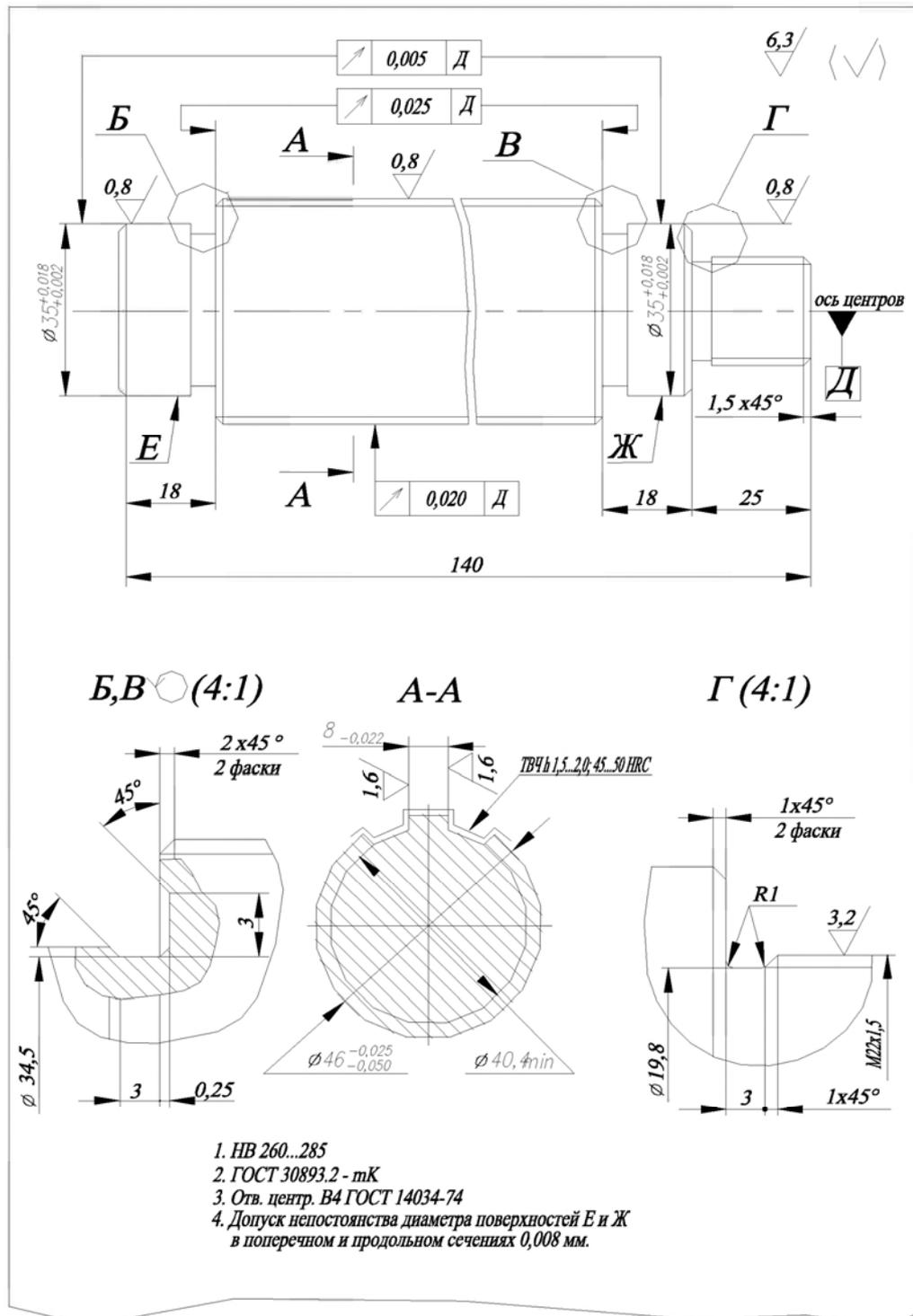


Рис. 6.1. Методологическая экспертиза чертежа детали

Основными базами вала, определяющими его положение в изделии, являются цилиндрические поверхности Е и Ж и соответствующие им торцовые поверхности. Эти поверхности сопрягаются с радиальными шариковыми подшипниками 0-го класса точности. Шлицевая поверхность вала, выполненная с центрированием по наружной поверхности шлиц, является вспомогательной базой и служит для установки на ней блока шестерен.

Наружная резьба  $M22 \times 1,5$  является крепежной, позволяющей с помощью гайки фиксировать осевое положение устанавливаемых на вал деталей.

Точность размеров поверхностей Е и Ж, а также наружного диаметра и ширины шлиц определена указанными на чертеже предельными отклонениями.

Точность остальных размеров вала соответствует среднему классу «*m*» по ГОСТ 30893.1–2002 «Общие допуски. Предельные отклонения линейных и угловых размеров с неуказанными допусками».

Точность взаимного расположения поверхностей вала косвенно определяют радиальные биения цилиндрических поверхностей и торцовые биения заплечиков вала относительно общей оси центровых отверстий. Точность формы поверхностей Е и Ж задана допусками непостоянства их диаметров в продольном и поперечном направлениях; точность формы заплечиков вала косвенно ограничена допуском торцового биения.

Шероховатость всех поверхностей вала задана параметром  $Ra$  – средним арифметическим отклонением профиля, предельные значения которого изменяются в диапазоне от 0,8 до 6,3 мкм.

Требования к точности линейных размеров поверхностей Е и Ж, а также элементов шлиц, указанных на чертеже, установлены правильно, так как соответствуют ГОСТ 3325–85 «Подшипники качения. Поля допусков и технические требования к посадочным поверхностям валов и корпусов и посадки». ГОСТ 139–80 «Соединения шлицевые прямобочные. Размеры и допуски».

Недопустимым является отсутствие на чертеже требований к точности резьбы  $M22 \times 1,5$ , так как резьба крепежная в соответствии с ГОСТ 16093–81 «Резьба метрическая. Допуски. Посадки с зазором» использует поля допуска  $g6$ .

С точки зрения **контролепригодности** установленные на линейные размеры допуски возражений не вызывают. В соответствии с рекомендациями [4] диаметры  $35^{+0,018}_{+0,002}$  и  $46^{-0,025}_{-0,050}$  можно измерить скобой рычажной СР50 с ценой деления 0,002 мм при установке на ноль по концевым мерам длины 3-го класса точности (при работе прибор должен находиться в стойке); ширину шлиц  $8_{-0,022}$  – микрометром гладким 1-го класса точности МК25-1 с величиной отсчета 0,01 мм при настройке на ноль по установочной мере. При измерении диаметра  $35^{+0,018}_{+0,002}$  скобой рычажной погрешность измерения  $\Delta_{и} = 4,5$  мкм, что меньше допустимой погрешности измерения  $\delta = 5$  мкм; при измерении размера  $8_{-0,022}$  микрометром гладким  $\Delta_{и} = 5$  мкм при  $\delta = 5$  мкм [2].

Оценим достоверность контроля на примере измерения шейки вала  $35^{+0,018}_{+0,002}$ . Согласно ГОСТ 8.051–81 при неизвестной точности технологического процесса среди годных деталей может оказаться 5,2 % неправильно принятых деталей с отклонениями, выходящими за границу поля допуска на величину 0,004 мм (с предельными отклонениями + 0,022 и – 0,002 мм). При сопряжении шейки вала с полученными предельными отклонениями с подшипником качения вероятность получения натяга будет 99,72 %, что не влияет на эксплуатационные показатели соединения (анализ выполняют со-

вместно с конструктором изделия). Следовательно, на чертеже целесообразно оставить первоначально назначенное конструктором поле допуска.

Допуски торцового биения поверхностей вала, сопряженных с подшипниками качения, назначены в соответствии с ГОСТ 3325–85, а радиального биения наружной поверхности шлиц – по ГОСТ 24643–81. Они не превышают допусков соответствующих размеров и возражений не вызывают.

Для исключения перекоса колец подшипников, установленных на вал, согласно ГОСТ 3325–85, необходимо обеспечить соосность шеек под подшипники вала относительно их общей оси. На чертеже (см. [рис. 6.1](#)) задан допуск радиального биения этих шеек относительно оси центровых отверстий. При контроле радиального биения шеек вала относительно оси центровых отверстий вместо отклонения от соосности шеек вала относительно их общей оси возникают методические погрешности измерения: погрешность, вызванная отклонением формы (отклонением от круглости) измеряемой поверхности (наибольшее значение погрешности формы по чертежу  $\Delta_\phi = 4$  мкм, что соответствует половине допуска на непостоянство диаметра этих шеек) и погрешность несовмещения конструкторской (общая ось шеек под подшипники) и измерительной (ось центровых отверстий) баз. Погрешность несовмещения баз после тонкого шлифования может достигать до  $\Delta_\delta = 12$  мкм [7]. Таким образом, методическая погрешность измерения

$$\Delta_m = \sqrt{\Delta_\phi^2 - \Delta_\delta^2} = \sqrt{4^2 + 12^2} = 12,6 \text{ мкм.}$$

Как видим, методическая погрешность измерения в 14 раз превышает допустимую погрешность измерения радиального биения, которая, согласно ГОСТ 28187–89, равна  $\delta = 0,9$  мкм.

Устранить методическую составляющую погрешности измерения можно путем замены допуска радиального биения шеек под подшипники относительно оси центровых отверстий на допуск соосности этих шеек относительно их общей оси, заданный в диаметральном выражении. Измерение можно выполнить при установке детали на ножевидные призмы ([рис. 6.2](#)) и использовании в качестве СИ головки измерительной рычажно-зубчатой 1ИГ с ценой деления 0,001 мм. Погрешность измерения отклонения от соосности по предложенной схеме при соблюдении нормальных условий выполнения измерений будет равна инструментальной погрешности средства измерения  $\Delta_{и} = \Delta_{СИ} = 0,8$  мкм [2].

Допуск радиального биения наружной поверхности шлиц и допуск торцового биения заплечиков вала также заданы не от основной конструкторской базы вала, а от оси центровых отверстий (см. [рис. 6.1](#)). Необходимо, с целью исключения погрешности несовмещения баз, указанные биения задать относительно основной конструкторской базы вала – общей оси шеек под подшипники. Измерение можно выполнить по схемам, изображенным на [рис. 6.3](#) и [6.4](#), с использованием в качестве измерительных средств индикато-

ров часового типа ИЧ 10 с ценой деления 0,01 0-го класса точности или индикатора многооборотного 2МИГ с ценой деления 0,002 мм [8].

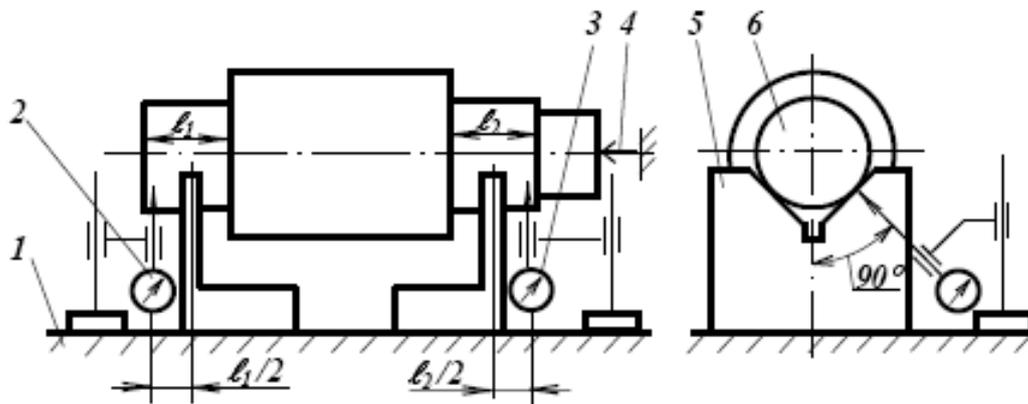


Рис. 6.2. Схема измерения соосности шеек под подшипники шлицевого вала:  
1 – поверочная плита; 2, 3 – измеряемые головки; 4 – упор; 5 – ножевидная призма; 6 – измерительная деталь

На погрешность измерения торцового биения по предложенной схеме (см. [рис. 6.3](#)) окажет влияние отклонение от круглости базовых поверхностей, которое приведет к перекосу детали, когда напротив одной из опор окажется выступ неровности базовой поверхности, а напротив другой – впадина. Учитывая это обстоятельство, погрешность измерения торцового биения левого торца детали можно определить по зависимости

$$\Delta_{v1} = \sqrt{\Delta_{\text{си}}^2 + \left(\Delta_{\phi1} \cdot \frac{\delta_1}{L}\right)^2 + \left(\Delta_{\phi2} \cdot \frac{\delta_1}{L}\right)^2},$$

где  $\Delta_{\text{си}}$  – инструментальная погрешность средства измерения, мкм;  $\Delta_{\phi1}$  и  $\Delta_{\phi2}$  – отклонение формы (отклонение от круглости) поверхности соответственно первой и второй базовой шейки;  $d_1$  и  $d_2$  – диаметры измерения торцового биения первого и второго заплечиков вала, мм;  $L$  – расстояние между ножевидными призмами, мм.

Так как по чертежу детали  $d_1 = d_2$  (см. [рис. 6.1](#) и [6.4](#)), погрешность измерения правого торца  $\Delta_{v2}$  будет равна  $\Delta_{v1}$ .

При использовании индикатора часового типа с  $\Delta_{\text{си}} = 6$  мкм [8] и с учетом максимального значения отклонения от круглости поверхностей базовых шеек  $\Delta_{\phi} = 4$  мкм. При нормальных условиях выполнения измерений погрешность измерения

$$\Delta_{v1} = \Delta_{v2} = \sqrt{6^2 + 2 \cdot \left(4 \cdot \frac{42}{96}\right)^2} = 6,5 \text{ мкм.}$$

Погрешность измерения торцового биения  $\Delta_{и1} = \Delta_{и2} = 6,5$  мкм меньше допускаемой погрешности измерения  $\delta = 9$  мкм [6], следовательно, предложенную схему можно использовать для измерения.

На погрешности измерения радиального биения поверхности шлиц вала также будет сказываться отклонение от круглости поверхностей базовых шеек  $\Delta_{ф1} = \Delta_{ф2}$ . В худшем случае при  $\Delta_{ф1} = \Delta_{ф2} = \Delta_{ф}$ :

$$\Delta_u = \sqrt{\Delta_{си}^2 - \Delta_{ф}^2}.$$

При использовании индикатора многооборотного 2МИГ с ценой деления 0,002 мм и  $\Delta_{си} = 5$  мкм [8], с учетом максимального значения отклонения от круглости поверхностей базовых шеек  $\Delta_{ф} = 4$  мкм; и нормальных условий выполнения измерений

$$\Delta_u = \sqrt{5^2 - 4^2} = 6,4 \text{ мкм.}$$

Погрешность измерения радиального биения  $\Delta_{и} = 6,4$  мкм меньше допускаемой  $\Delta_{и} = 7$  мкм [6], следовательно, измерение можно выполнять по схеме, показанной на [рис. 6.3](#).

Рассмотрим требования к допускам формы поверхностей вала.

В соответствии с нормативными документами (ГОСТ 3325–85) цилиндрические поверхности шеек под подшипники должны быть ограничены допусками круглости и профиля продольного сечения. Рекомендуется нормировать отклонение от круглости, если на производстве есть прибор для его измерения, например кругломер.

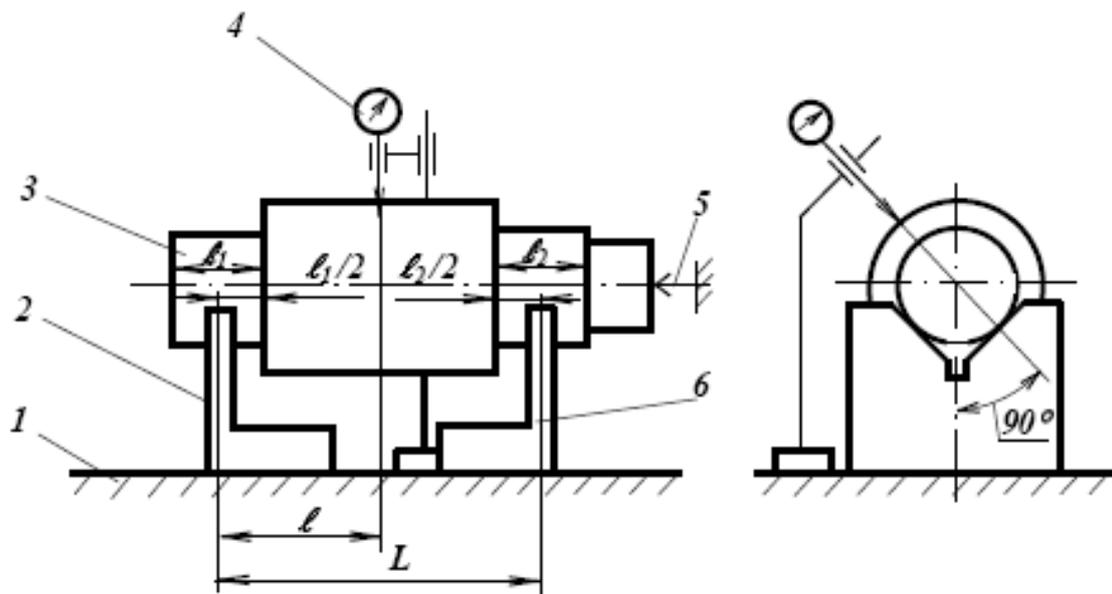


Рис. 6.3. Схема измерения радиального биения наружной поверхности шлиц относительно общей оси шеек под подшипники:

1 – поверочная плита; 2 и 6 – ножевидные призмы; 3 – измеряемая деталь; 4 – индикатор многооборотный; 5 – упор

В противном случае отклонения формы посадочных поверхностей в поперечном сечении следует ограничивать допуском непостоянства диаметра, что допускается стандартом. Если на посадочной поверхности возможно образование огранки с нечетным числом граней (особенно опасна для работоспособности подшипника огранка с тремя и пятью гранями), то ограничивать отклонения формы в поперечном сечении следует допуском круглости, а двухточечное измерение непостоянства диаметров дополнять трехточечным измерением огранки с применением призмы. Измерить отклонение профиля продольного сечения, представляющее собой сочетание отклонений от прямолинейности оси и параллельности образующих, без специального прибора, например, координатно-измерительной машины для контроля размеров тел вращения [8], достаточно сложно. При отсутствии в производстве специального средства измерения отклонения формы посадочных поверхностей в продольном сечении целесообразно ограничивать непостоянством диаметра вдоль оси детали, что не противоречит стандарту. Предполагая отсутствие значительной огранки с нечетным числом граней и учитывая небольшую длину посадочных поверхностей вала (см. рис. 6.1), отклонения формы посадочных поверхностей для подшипников 0-го класса точности диаметра 35 мм целесообразно ограничивать допуском непостоянства диаметра в поперечном и продольном сечениях 8 мкм.

Непостоянство диаметра шеек под подшипники в поперечном и продольном сечениях можно измерить скобой рычажной с ценой деления 0,002 мм при настройке на ноль по концевым мерам 1-го класса точности с использованием отсчета на  $\pm(1-2)$  делениях шкалы и четырехкратным измерением при со-

блюдении нормальных условий выполнения измерений. Тогда погрешность измерения  $\Delta_{и} = 0,8 = 3$  мкм [6], что меньше допускаемой погрешности измерения  $\delta$ .

Шероховатость поверхностей шеек вала под подшипники ограничена средним арифметическим отклонением профиля  $Ra = 0,8$  мкм, что соответствует рекомендуемому соотношению  $Ra 0,05 \leq IT \leq 0,8$  мкм и ГОСТ 3325–85.

При анализе возможности контроля торцового биения заплечиков вала видно, что для этих поверхностей не установлены соответствующие требования по шероховатости  $Ra 0, IT \leq c = 2,5$  мкм (заданы требования  $Ra \leq 6,3$  мкм, что соответствует шероховатости поверхностей, на изображениях которых не нанесен знак шероховатости). Необходимо, в соответствии с рекомендациями ГОСТ 3325–85, на торцовые поверхности заплечиков вала установить требования к шероховатости по среднему арифметическому отклонению профиля  $Ra \leq 1,6$  мкм.

Требования к шероховатости остальных поверхностей шлицевого вала соответствуют рекомендованным.

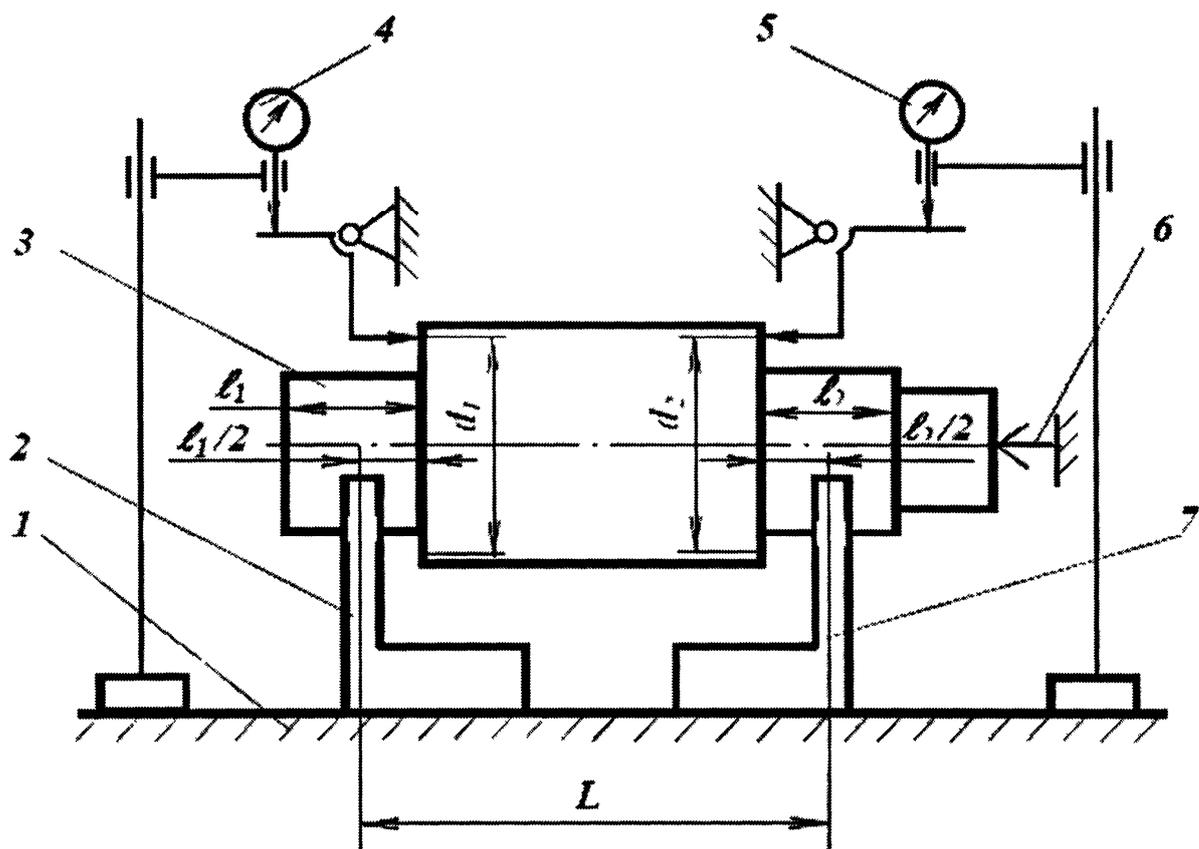


Рис. 6.4. Схема измерения торцового биения заплечиков вала относительно общей оси шеек под подшипники: 1 – поверочная плита; 2 и 7 – ножевидные призмы; 3 – измеряемая деталь; 4 и 5 – индикаторы часового типа; б – упор

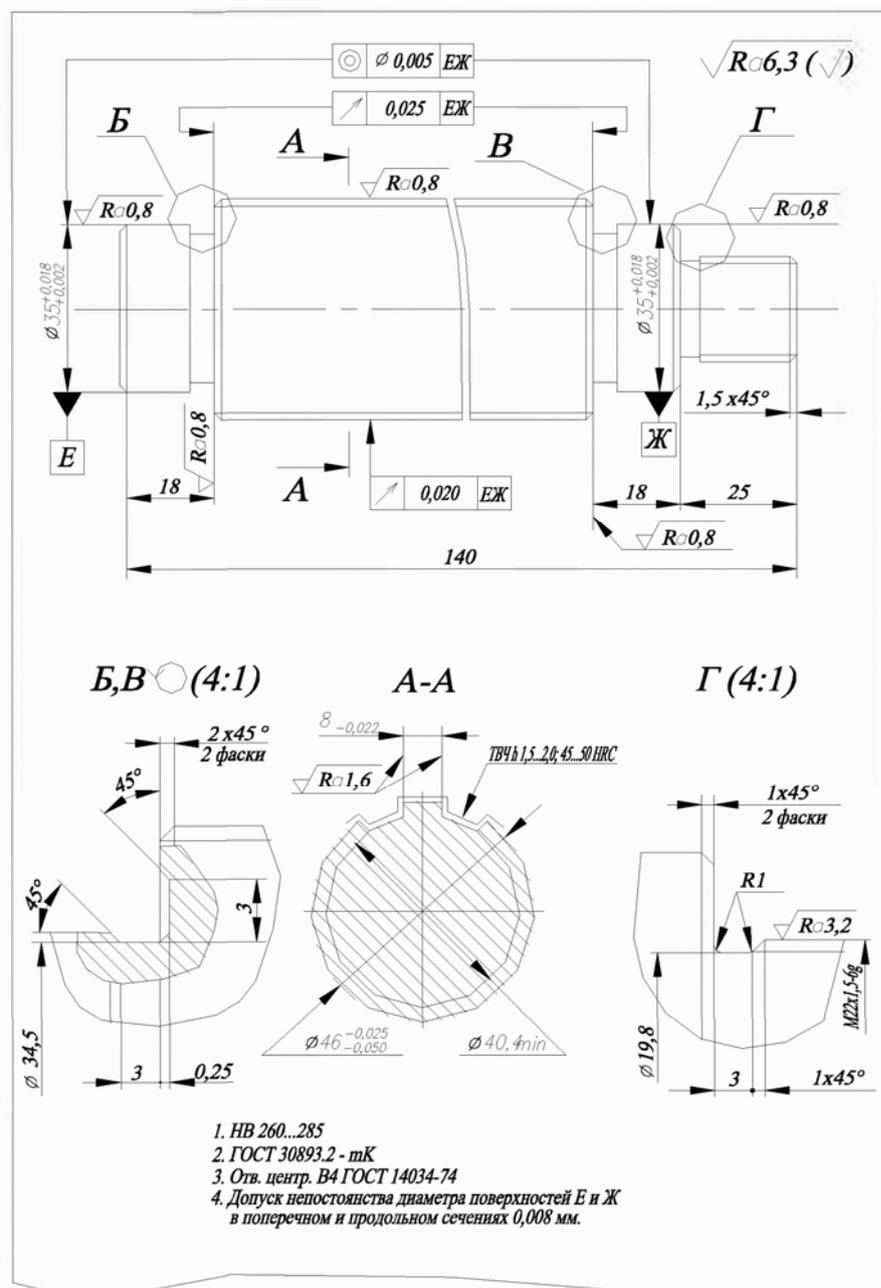


Рис. 6.5. Переработанный чертеж вала

Обозначение шероховатости поверхностей детали не соответствует изменению № 3 к ГОСТ 2.309–73, введенному с 1 января 2005 г.

Таким образом, по результатам проведенной метрологической экспертизы чертежа шлицевого вала необходимо:

ограничить резьбовую поверхность вала М 22 × 1,5 полем допуска 6g;

заменить допуск радиального биения шеек вала относительно оси центровых отверстий под подшипники на допуск соосности этих шеек относительно их общей оси диаметра 0,005 мм;

заменить измерительную базу при контроле торцового биения заплечиков вала (проставить в качестве базы общую ось шеек вала под подшипники);

заменить измерительную базу при контроле радиального биения наружной поверхности шлиц (проставить в качестве базы общую ось шеек вала под подшипники);

установить требования к шероховатости заплечиков вала  $Ra \leq 1,6$  мкм;

привести обозначения шероховатости в соответствии с изменением № 3 к ГОСТ 2.309–73.

Следует помнить, что каждый размер и параметр чертежа должен подвергаться всестороннему анализу, основой которого является проверка анализируемого объекта на контролепригодность.

В настоящее время процесс анализа каждого из перечисленных размеров осуществляется на базе анализа измерительной базы предприятия, т. е. на базе метрологического обеспечения.

Таблица 6.1

## Результаты метрологической экспертизы

№ п/п	Замечание	Предложение
1	Не ограничена полем допуска резьбовая поверхность <a href="#">шлицевого</a> вала М 22×1,5	Установить требования по точности резьбы М 22×1,5 – 6g
2	Допуск радиального биения шеек вала под подшипники относительно оси центровых отверстий задан не от основных конструкторских баз вала При контроле этого допуска методическая составляющая погрешности измерения превышает допустимую погрешность измерения	Проставить допуск соосности шеек вала под подшипники 0,005 мм в диаметральном выражении относительно их общей оси
3	Допуск радиального биения наружной поверхности шлицевого вала задан не от основных конструкторских баз детали	Проставить допуск радиального биения наружной поверхности шлицевого вала 0,02 мм относительно общей оси шеек вала под подшипники
4	Допуск торцового биения заплечиков вала относительно оси центровых отверстий не позволяет ограничить перекося колец подшипников при работе узла, так как задан не от основных конструкторских баз вала	Проставить допуск торцового биения заплечиков вала 0,025 мм относительно общей оси шеек вала под подшипники
5	Требования к шероховатости заплечиков вала $Ra \leq 6,3$ мкм не соответствуют ГОСТ 3325–85	Установить требования к шероховатости заплечиков вала $Ra \leq 1,6$ мкм
6	Обозначение шероховатости поверхностей вала не соответствует изменению № 3 к ГОСТ 2.309–73, введенному с 1 января 2005 г.	Привести обозначение шероховатости вала в соответствии с изменением № 3 к ГОСТ 2.309–73

Список замечаний и предложений оформляют по форме [табл. 6.1](#). Исправленный чертеж шлицевого вала представлен на [рис. 6.5](#) (сравните с [рис. 6.1](#)).

## 7. ОСНОВЫ ПРАКТИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

### 7.1. Образцовые и рабочие средства измерения

По метрологическому назначению средства измерений делят на образцовые и рабочие. Образцовые средства измерений предназначены для проверки по ним других средств измерений, как рабочих, так и образцовых менее высокой точности. Эта задача метрологического характера, так как именно последовательный ряд образцовых средств измерений различных разрядов обеспечивает передачу размера единицы от эталона до рабочего прибора, а тем самым и сохранение единства мер в стране. *Процесс передачи размера единиц от образцовых средств измерений высшей точности рабочим и образцовым средствам измерения называется поверкой.* Поэтому все образцовые средства измерений являются средствами проверки.

**Рабочие средства измерений** применяются для измерений, служащих тем или иным конкретным целям в разнообразной деятельности человека.

Сущность разделения средств измерений на образцовые и рабочие лежит не в конструкции и не в точности, а в их назначении.

Одно и то же средство измерений может быть предназначено для практических измерений как в качестве рабочего средства измерения, так и в качестве образцового, другими словами, в качестве средства проверки, а также градуировки. Лишь немногие образцовые средства измерений отличаются по конструкции и некоторым метрологическим характеристикам от рабочих. Но когда средства измерений предназначаются для применения в качестве образцовых, они как бы ставятся в особое положение, изолируются от любых других измерений, кроме проводимых в целях проверки и градуировки.

Однако не каждое средство измерений целесообразно использовать как образцовое. Например, для образцового средства измерений не так важно, насколько велики поправки к его показаниям, как важна стабильность и воспроизводимость его показаний. К образцовым средствам измерений предъявляются более высокие требования в отношении воспроизводимости показаний, чем к аналогичным рабочим средствам измерений.

Запрещение применять образцовые средства измерений для практических измерений является одним из важнейших правил метрологии. Однако им нередко пренебрегают или недооценивают его значение.

Приведенная на [рис. 7.1](#) схема наглядно иллюстрирует это правило. Каким бы точным ни было средство измерений, применяемое для практических измерений, оно не может применяться для проверки других средств измерений. Само оно должно поверяться по образцовому средству измерений, имеющему более высокую точность.

Средства измерений могут быть в виде мер, измерительных приборов, измерительных установок или измерительных машин ([рис. 7.2](#)).

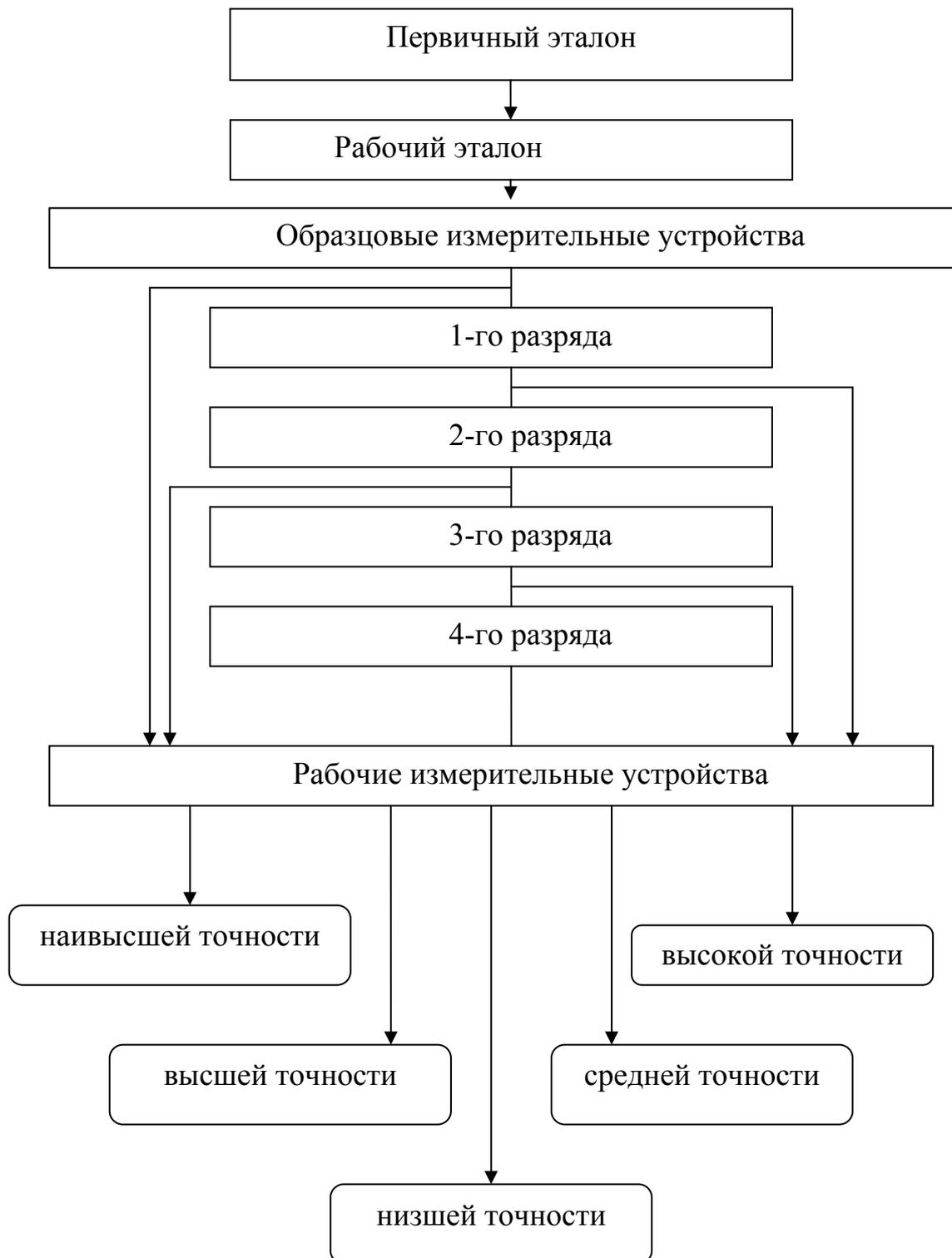


Рис. 7.1. Схема передачи единицы физической величины

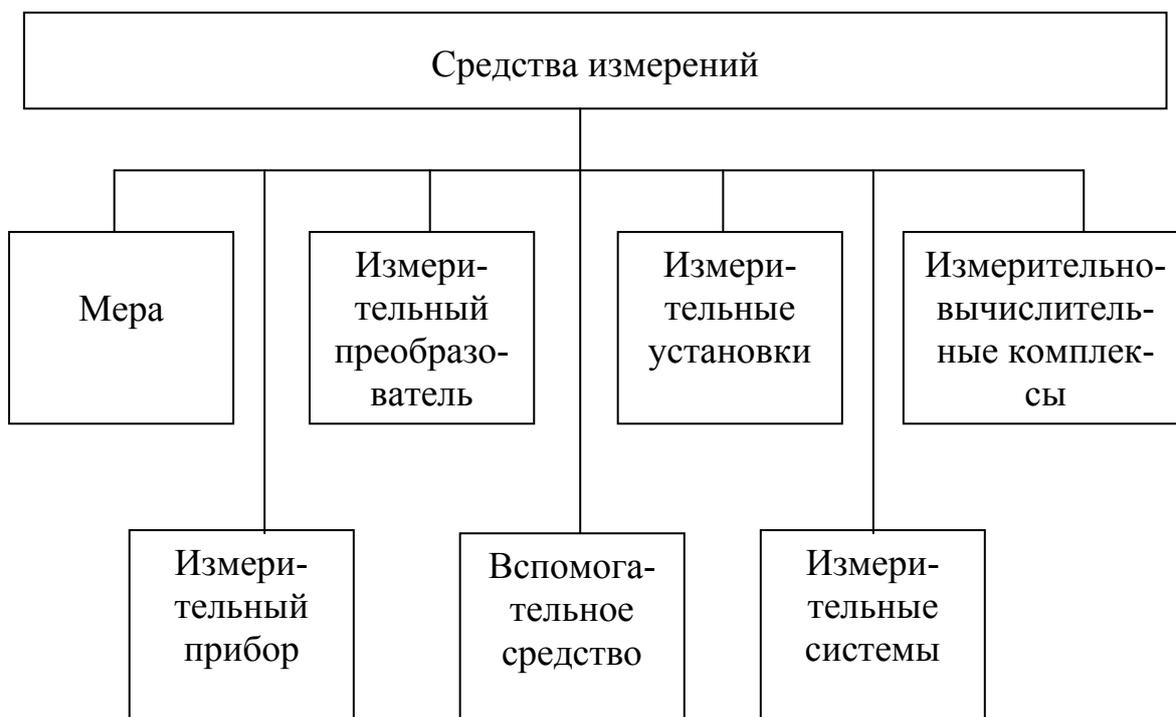


Рис. 7.2. Классификация видов средств измерений

**Мера** – тело или устройство, служащее для воспроизведения одного или нескольких известных значений данной величины для целей измерения. Например: гиря; плоскопараллельная концевая мера длины; линейка с делениями; рулетка; измерительная колба; катушка электрического сопротивления; температурная лампа; нормальный элемент; измерительный конденсатор; генератор стандартных сигналов.

**Набор мер** – совокупность мер, применяемых как отдельно, так и в различных сочетаниях с целью воспроизведения ряда значений величины в определенных пределах. Например: набор гирь; набор плоскопараллельных концевых мер длины; набор измерительных конденсаторов.

Необходимо подчеркнуть, что под набором мер подразумевается не произвольная группа мер с любыми значениями, а совокупность мер с целесообразно выбранным рядом значений.

**Магазин мер** – набор мер, в котором меры объединены в одно конструктивное целое с устройством для соединения их в различных сочетаниях. Магазины мер широко применяются в электротехнике (магазины сопротивления, магазины индуктивности, магазины емкости).

**Ряды значений мер и наборы мер.** Рабочие и образцовые меры изготовляют в виде отдельных экземпляров, наборов и магазинов. Даже тогда, когда меры изготовляют в виде отдельных экземпляров, ряд из значений выбирают таким образом, чтобы они обеспечивали переход от одного значения к другому с соблюдением метрологических требований. Например, образцовые катушки электрического сопротивления не только изготовляют, но и применяют отдельно, последовательное или параллельное включение их, как прави-

ло, не производится. Тем не менее их изготавливают с номинальными значениями, представляющими собой закономерный ряд и равными  $1 \times 10^n$  Ом, где  $n$  – целые числа или нуль.

При изготовлении наборов или магазинов мер к выбору ряда значений предъявляют особые требования. При этом стремятся наиболее рационально, используя наименьшее число мер, обеспечить возможность получения наибольшего числа сочетаний. Например, набор гирь строится по ряду 1; 2; 2; 5 (в каждом десятичном числовом разряде), что дает возможность воспроизвести все значения от 1 до 10. Такой ряд признан более рациональным, чем ряд 1; 2; 3; 4, содержащий гири четырех размеров вместо трех. Это имеет большое значение при массовом производстве. Кроме того, гири 2 и 3, а особенно 3 и 4 не очень заметно отличаются по размерам, что усложняет пользование ими. Этот же ряд применяется и в магазинах электрических мер со штепсельным переключением. Кроме него, в магазинах мер со штепсельным и рычажным переключением применяется декадная система  $(1; 2; 3; \dots; 10) \times 10^n$ .

К наборам плоскопараллельных концевых мер длины (называемых для краткости «плитками») предъявляется другое требование: любое значение длины (в заданных пределах) должно воспроизводиться с помощью не более чем четырех-пяти мер. Так, набор из 87 плиток длиной от 0,5 до 100 мм позволяет воспроизводить длину от 0,5 до 340 мм с интервалами 0,005, 0,01 и 0,1 мм, применяя не более четырех плиток. Если бы набор плиток был составлен по ряду, подобному набору гирь (1; 2; 2; 5; 10; 20; ...), то для воспроизведения длины 188,88 мм понадобилось бы не четыре, а тринадцать мер.

**Измерительный прибор** – средство измерений, в котором измеряемая величина преобразуется в показание или сигнал, пропорциональный измеряемой величине в форме, доступной для непосредственного восприятия наблюдателем. В отличие от меры измерительный прибор не воспроизводит известное значение величины, а измеряемая величина должна подводиться к нему извне, воздействовать на него тем или иным способом.

В состав измерительного прибора входят узлы и детали, служащие для восприятия воздействующей на прибор величины, а также для преобразования ее в показания, которые могут быть отсчитаны наблюдателем. Измерительный прибор может содержать также узлы, предназначенные для выполнения дополнительных действий, например, регулирования, сигнализации, дозирования, сортировки, посылки кодированных сигналов и др.

**Измерительная установка** – совокупность функционально объединенных средств измерений, в которых для преобразования измеряемой величины в сигнал служат одно или несколько измерительных и ряд вспомогательных устройств, расположенных в одном месте.

В состав измерительной установки могут входить измерительные приборы, меры, измерительные приспособления и измерительные преобразователи, а также вспомогательные и регулировочные устройства, источники питания.

Измерительные установки в большинстве случаев обладают большей или меньшей универсальностью как в отношении номенклатуры измеряемых величин, так и в отношении диапазонов измерений.

**Измерительные машины** являются измерительными установками более узкого назначения. Как правило, они имеют большие размеры. К измерительным машинам относятся силоизмерительные машины и машины для измерения больших длин.

Средства измерений включают в себя отсчетное устройство, измерительный механизм и измерительные принадлежности.

**Отсчетное устройство** – часть конструкции средства измерений, предназначенная для отсчитывания значения измеряемой величины. Отсчетное устройство показывающего средства измерений обычно состоит из шкалы и указателя или цифрового преобразователя. Отсчетное устройство осуществляет запись ряда значений измеряемой величины на диаграмме; в интегрирующем измерительном устройстве чаще всего применяется счетный механизм. При этом под отсчетом понимается число, отсчитанное при данном измерении по отсчетному устройству либо полученное путем счета последовательных отметок или сигналов. Показание же средства измерений – это значение измеряемой величины, устанавливаемое по отсчету, например, путем умножения на цену деления.

**Измерительный механизм**, или измеритель, – часть конструкции средства измерений, включающая органы, воспринимающие измеряемую величину и преобразующие ее действие в показания отсчетного устройства. Измерительный механизм состоит из элементов, взаимодействие которых вызывает их взаимное перемещение. Нередко воспринимающий орган измерительного механизма называют чувствительным элементом.

**Измерительная принадлежность** – устройство, применяемое при измерении и служащее для поддержания надлежащих значений измеряемых или влияющих на измерение величин или для повышения чувствительности измерительных устройств. Примерами измерительных принадлежностей являются: усилитель, лупа, термостат для поверки термометров. Характерная особенность измерительных принадлежностей заключается в том, что они служат для улучшения условий измерений, не изменяя непосредственно диапазонов измерения.

Измерительное средство иногда может быть представлено измерительным преобразователем.

**Измерительный преобразователь** – средство измерений, служащее для преобразований измеряемой величины в величину, действующую на измерительный механизм.

Далеко не всегда целесообразно, а во многих случаях и невозможно строить средство измерений так, чтобы измеряемая величина непосредственно воздействовала на его измерительную часть или на измерительный механизм. Обычно измеряемая величина подвергается предварительному преобразованию, которое может быть многоступенчатым, и измерительный меха-

низм измеряет уже преобразованную величину, находящуюся в определенной зависимости от измеряемой величины.

**Измерительно-вычислительный комплекс** – функционально объединённая совокупность средств измерений, ЭВМ и вспомогательных устройств, предназначенных для выполнения в составе конкретной измерительной задачи.

По назначению приборы делятся на универсальные, предназначенные для измерения одинаковых физических величин различных объектов, и специализированные, используемые для измерения параметров однотипных изделий (например, размеров резьбы или зубчатых колёс) или одного параметра различных изделий (например, шероховатости или твёрдости).

## 7.2. Измерительные преобразователи

Многоступенчатое преобразование измеряемой величины приобретает в современной измерительной технике все большее значение и преследует самые разнообразные цели. Поэтому возникла необходимость классифицировать измерительные преобразователи по их назначению и функциям, которые они выполняют.

Но прежде чем рассматривать различные виды измерительных преобразователей, остановимся на одной особенности измерительных преобразователей. Выше подчеркивалось, что измерительные преобразователи не являются чем-то самостоятельным. Киловольтметр, например, имеет измерительный механизм, шкала которого проградуирована в киловольтах. В действительности, измерительный механизм измеряет напряжение не более 100 В. Его соединяют с измерительным трансформатором напряжения, который и преобразует измеряемое напряжение, например, 110 кВ, в напряжение 110 В. Ни измеритель на 100 В со шкалой в киловольтах, ни трансформатор напряжения каждый в отдельности не могут измерять напряжение 110 кВ. Только в совокупности они представляют собой средство измерений «киловольтметр». Несмотря на то, что измерительный трансформатор по своим размерам может во много раз превосходить измеритель, он является составной частью измерительного устройства. Но, с другой стороны, измерительные преобразователи могут применяться не только для измерений, но и для других целей, где преобразование одной величины в другую с известной точностью может иметь значение. Например, в автоматических устройствах. В частности, к упомянутому измерительному трансформатору напряжения может быть подключена автоматическая система защиты линии передачи.

**Приемный или, первичный, преобразователь** – измерительный преобразователь, к которому подведена измеряемая величина, т. е. он является первым в измерительной цепи. Для приемных преобразователей характерно то, что на них воздействует непосредственно измеряемая величина. Физическая величина, в которую преобразует измеряемую величину приемный преобразователь, может быть подведена к измерительному механизму, может

быть подана на другой преобразователь или использована, например, для целей телеизмерений.

К приемным преобразователям могут быть отнесены такие одноступенчатые преобразователи, как термопары или сужающие устройства расходомеров, основанных на принципе измерения перепада давления в потоке жидкости или газа. Из многоступенчатых преобразователей можно назвать приемный преобразователь термохимического газоанализатора.

**Передающий преобразователь** – измерительный преобразователь, служащий для преобразования показаний измерительного механизма или величины, полученной от приемного преобразователя, в другую физическую величину для передачи ее на расстояние.

Передающий преобразователь может быть аналогично приемному одно-и многоступенчатым. Для этой группы преобразователей характерным является назначение величины, образуемой на его «выходе». Очевидно, что преобразователь может одновременно выполнять функции приемного и передающего. Приемные и приемно-передающие преобразователи часто называют датчиками.

**Масштабный преобразователь** – измерительный преобразователь, служащий для изменения в определенное число раз значения одной из величин, действующих в цепи измерительного прибора, без изменения ее физической природы. К числу таких преобразователей относятся уже упоминавшиеся измерительные трансформаторы напряжения, а также трансформаторы тока, измерительные усилители и т. п. Масштабные преобразователи чаще всего являются одним из видов приемных преобразователей, хотя могут служить и передающими.

**Первичный измерительный механизм** (первичный измеритель) – измерительный механизм, служащий для измерения величины, создаваемой приемным преобразователем. К числу таких механизмов относятся, например, дифманометры расходомеров переменного перепада давления.

**Вторичный измерительный механизм** (вторичный измеритель) – механизм, служащий для измерения величины, получаемой от вперёдстоящего преобразователя. Вторичным измерителем может служить автоматический потенциометр, измеряющий электрическое напряжение, создаваемое передающим преобразователем, например, передающим преобразователем расхода жидкости или газа.

**Измерительные устройства** – наименование категории средств измерений, охватывающей измерительные приборы и измерительные преобразователи.

### 7.3. Метрологические характеристики измерительных средств

К основным метрологическим характеристикам относятся:

**Цена деления шкалы прибора** – значение измеряемой величины, соответствующее одному делению шкалы прибора.

**Интервал деления шкалы** (или деление шкалы) – расстояние между осями симметрии двух рядом лежащих штрихов.

**Диапазон показаний** – область значений шкалы, ограниченная ее начальным и конечным значениями.

**Диапазон измерений** – область значений измеряемой величины, для которой нормированы допускаемые погрешности средства измерений.

**Предел измерений** – наибольшее или наименьшее значение диапазона измерений.

**Чувствительность измерительного прибора** – отношение изменения сигнала на выходе измерительного прибора к вызывающему его изменению измеряемой величины. Для шкальных приборов абсолютная чувствительность численно равна передаточному отношению. С изменением цены деления шкалы чувствительность прибора остается неизменной.

**Погрешность показаний** – алгебраическая разность между показанием прибора и действительным значением измеряемой величины.

**Допускаемая погрешность** – наибольшая по абсолютной величине погрешность меры или показаний прибора, допускаемая действующими нормами.

Систематические составляющие допускаемой погрешности нормируются пределом допускаемой составляющей погрешности.

Случайные составляющие нормируются пределом допускаемого среднего квадратичного отклонения случайной составляющей погрешности.

**Вариация (нестабильность) показаний** – наибольшая, полученная экспериментально разность между отдельными повторными результатами измерений одной и той же величины при неизменных внешних условиях.

**Измерительное усилие** – усилие, возникающее в процессе измерения при контакте измерительных поверхностей прибора с измеряемым объектом.

### 7.4. Выбор количества измерений

На практике количество измерений, как правило, ограничивается (от одного до 25–30). Можно считать, что однократные измерения допустимы только в порядке исключения, так как они не позволяют судить о достоверности измерительной информации.

Сколько измерений необходимо сделать, чтобы считать их результаты вполне надежными? Однозначного ответа данный вопрос не имеет. Все зависит от целей измерений, ответственности их результатов для оценки состоя-

ния объекта измерений, а также от степени исключения систематических погрешностей измерения.

Если принять, что в погрешности результата измерений роль систематических погрешностей пренебрежимо мала по сравнению со случайной погрешностью, то при определении необходимого количества измерений следует исходить просто из возможности систематической обработки результатов измерений. Известно, что уже при 7–8 измерениях оценки их результатов приобретают некоторую устойчивость.

Вместе с тем параметры ряда законов распределения, применяемых при оценке результатов, а также при оценке и случайных погрешностей, при увеличении числа наблюдений более 25–30 изменяются незначительно. Так, анализ показывает, что значение процентных точек ( $\alpha$  – доверительная вероятность) распределения Стьюдента при доверительной вероятности 90 % и числе наблюдений от 1 до 30 изменяются от 6,3 до 1,70 (почти в два раза), а при увеличении числа наблюдений от 30 до бесконечности – от 1,70 до 1,64 (меньше 10 %). Однако увеличивать число измерений с целью найти истинное значение величины бессмысленно, так как оно не зависит от организации измерений; истинное значение существует независимо от того, проводятся или нет измерения, в том числе и от того, сколько произведено наблюдений. Таким образом, если речь идет о получении достоверных результатов измерений, то их число 25–30 является достаточным.

По иному ставится задача организации измерений, если объект измерений до этого не исследовался и, кроме предварительных значений величины, о нем мало что известно.

В этом случае число измерений должно быть увеличено в 2–3 раза (против 25–30), а при необходимости нахождения законов распределения оцениваемых величин число измерений целесообразно увеличить на порядок.

Главная цель увеличения числа измерений состоит в уменьшении случайности результата измерений, а следовательно, в наилучшем приближении результата к истинному значению величины.

**Округление результатов измерений.** Погрешности результата измерений физической величины дают представление о том, какие числа в его числовом значении являются сомнительными. Поэтому достаточно ограничиться одной значащей цифрой или двумя, если вторая является пятеркой. Две значащие цифры удерживаются в числовых значениях погрешностей только при ответственных и точных измерениях.

Округлять числовые значения самого результата измерения следует в соответствии с числовым рядом значащей цифры погрешности, т. е. числовое значение результата измерения должно оканчиваться цифрой того же разряда, что и значение погрешности.

*Пример.* Результат 2356090, погрешность  $\pm 0,001$ ; результат нужно округлять до 2356000.

Лишние числа в целых числах заменяются нулями, а в десятичных дробях отбрасываются.

*Пример.* Результат 28456, после округления с четвертой цифрой получаем 28400.

*Пример.* Результат 185,608, после округления с пятой цифры получаем 185,6.

Если первая (слева направо) из заменяемых нулями и отбрасываемых цифр меньше 5, остальные цифры не изменяются.

*Пример.* Число 3245,4 следует округлять до 3245.

Если первая из заменяемых нулями или отбрасываемых цифр равна или больше 5, то последняя цифра увеличивается на единицу.

*Пример.* Число 3245,6 нужно округлять до 3246.

## 8. ПОВЕРКА И КАЛИБРОВКА СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

### 8.1. Поверка средств измерений

Поверка средств измерений – это совокупность операций, выполняемых органами Государственной метрологической службы (другими уполномоченными на то органами, организациями) с целью определения и подтверждения соответствия средства измерения установленным техническим требованиям.

Поверку средств измерения производят для установления их пригодности к применению. Пригодными к применению признают средства измерений, поверка которых подтверждает их соответствие метрологическим и техническим требованиям к данному средству измерений, установленным в нормативно-технических документах.

Основные требования к организации и порядку проведения поверки средств измерений, выпускаемых из производства или ремонта, ввозимых по импорту, а также находящихся в эксплуатации и на хранении, устанавливает ГОСТ 8.513-84.

Поверка является составляющей частью Государственного метрологического контроля и распространяется:

- на здравоохранение, охрану окружающей среды и обеспечение безопасности труда;

- государственные учетные организации;

- обеспечение обороны государства;

- геодезические и гидрометеорологические работы;

- испытания и контроль качества продукции в целях определения соответствия обязательным требованиям государственных стандартов Российской Федерации;

- обязательную сертификацию продукции и услуг и т. п.

Перечни групп конкретных средств измерения, подлежащих поверке, утверждаются Госстандартом России.

В частности, обязательной государственной поверке подлежат:

- средства измерений, принадлежащие органам Государственной метрологической службы;

- исходные образцовые средства измерений предприятий;

- средства измерений, предназначенные для применения и используемые в качестве рабочих для измерений, результаты которых применяют для учета материальных ценностей, топлива и энергии, для защиты природной среды, обеспечения безопасности труда и т. п.

Поверочная деятельность осуществляется аккредитованными метрологическими службами юридических лиц и контролируется органами Государственной метрологической службы по месту расположения этих юридических лиц. Поверка средств измерений осуществляется физическим лицом, ат-

тестованным в качестве поверителя органом Государственной метрологической службы.

Положительные результаты поверки результатов измерений удостоверяются поверительным клеймом или свидетельством о поверке.

Средства измерений, применяемые для наблюдения за изменением величин без оценки их значений в единицах физических величин с нормированной точностью, поверке не подлежат, на них должно быть нанесено обозначение «И». Средства измерений применяемые для учебных целей, поверке не подлежат на них должно быть нанесено обозначение «У».

Иногда поверку пытаются ограничить небольшим участком диапазона измерений и заданием точности в зависимости от конкретного случая применения прибора. Например, амперметр поверяют только при силе тока 4 А, что соответствует устойчивому режиму работы определенной установки. Такая поверка не может быть рекомендована, так как при выходе из строя данного амперметра для его замены необходимо будет подвергнуть такой же специализированной поверке другой амперметр. В то же время поверенные таким образом средства измерений непригодны для применения на других рабочих местах. Поэтому, как правило, пользуются средствами измерений, погрешности которых определены для всей шкалы и соответствуют требуемой точности измерений. В этом случае замена вышедшего из строя средства измерений не составляет труда. Кроме того, такое средство измерений может быть применено в любом другом месте, где требования к нему и условия его применения не выходят за рамки, установленные соответствующими нормами (стандартами).

При поверке средств измерений, предназначенных для применения без поправок, определяют, не выходят ли их погрешности (а также некоторые другие показатели) за установленные пределы, не превышают ли они допускаемые значения. При поверке средств измерений, применяемых с учетом поправок к их показаниям, задача усложняется, так как необходимо определять значения погрешностей. При повышении требований к образцовым средствам измерений процесс поверки становится более трудоемким.

Какое значение имеет определение погрешности, можно наглядно показать на примере плоскопараллельных концевых мер длины («плиток»). При изготовлении плиток их длину доводят до номинального значения, указанного на каждой плитке, с большей или меньшей точностью. По оставшемуся отклонению от номинального значения плитки делят на классы: чем меньше это отклонение, тем выше класс (тем меньше номер класса). Например, для плитки 2-го класса с номинальным размером 130 мм допускается отклонение +0,001 мм. Если при измерении такой погрешностью можно пренебречь, то длину плитки принимают равной 130 мм, хотя действительная ее длина может быть любой между 129,999 и 130,001 мм. Однако с помощью этой плитки можно провести более точные измерения, если определить действительную ее длину.

Если длина плитки номинальным размером 130 мм определена с по-

грешностью, не превышающей 0,0004 мм, то ее длина может оказаться, например, равной  $130,0005+0,0004$  мм. Длину плитки при ее использовании принимают равной 130,0005 мм. Если погрешность определения размера плитки не превышает 0,00012 мм, длина ее может оказаться равной, например,  $129,99945+0,00012$  мм. За действительную длину плитки принимают 129,99945 мм. Естественно, что в каждом из описанных случаев к образцовым средствам измерений и методам поверки предъявляют различные требования, причем эти требования тем выше, чем выше необходимая точность.

Поверка средств измерений имеет большое значение, выходящее далеко за рамки данной лаборатории, института, предприятия. Обеспечивая единство мер как одно из условий обеспечения единства измерений во всех звеньях народного хозяйства страны, она тем самым способствует бесперебойному и безотказному взаимодействию этих звеньев максимально эффективно использовать результаты их работы. Известно немало случаев, когда из-за нарушения единства мер, несопоставимости показаний средств измерений оказалось невозможным наладить работу важных и сложных установок.

Обеспечение взаимозаменяемости изделий, деталей и узлов зависит в первую очередь от правильной и своевременной поверки средств измерений.

Большое значение имеет поверка средств измерений и в международном масштабе. Без обеспечения международного единства мер и единства измерений практически невозможно наладить торговлю, культурный и научный обмен, если объекты торговли и обмена имеют характеристики, определяемые путем измерений.

Поверка средств измерений является, по существу, одним из звеньев многоступенчатого процесса передачи размера единицы от эталона к рабочему средству измерений. Именно связь с эталоном является необходимым условием повсеместного единства мер и единства измерений. Эта связь осуществляется ступенями, причем, если идти от эталона, каждая следующая ступень по точности будет ниже предыдущей. При применении средств измерений в рабочих условиях эта связь осуществляется как бы в обратном направлении: от применяемого им средства измерений вверх до эталона. Быть уверенным в правильности показаний рабочего средства измерения можно, только поверив его с помощью более точного образцового средства измерений.

Чтобы удостовериться в том, что погрешности образцового средства измерений малы настолько, насколько это необходимо для поверки рабочего средства измерений, образцовое средство измерений, в свою очередь, подвергается поверке с помощью еще более точного образцового средства измерений и так далее до эталона.

**Виды поверок.** Средства измерений подвергают первичной, периодической, внеочередной, инспекционной и экспертной поверкам.

**Первичной поверке** подлежит каждый экземпляр средств измерений при выпуске из производства, ремонта или поступающих по импорту. В отдельных случаях, предусмотренных в нормативно-технических документах, допускается проводить выборочную поверку. Первичную поверку проводят:

на месте изготовления средств измерений;  
на месте применения средств измерений;  
частично на месте изготовления и частично на месте применения средств измерений.

**Периодической проверке** подлежат средства измерений, находящиеся в эксплуатации или на хранении, через определенные межповерочные интервалы, устанавливаемые органами государственной метрологической службы с расчетом обеспечения пригодности к применению средств измерений на период между поверками. Средства измерений, находящихся на длительном хранении в условиях, обеспечивающих их пригодность к применению, периодической поверке могут не подвергаться.

**Внеочередную поверку** производят в условиях эксплуатации (хранения) средств измерений при:

необходимости удостовериться в пригодности к применению средств измерений;

применении средств измерений в качестве комплектующих при истечении половины межповерочного интервала на них;

повреждении поверительного клейма, пломбы или утере документа, подтверждающего прохождение средствами измерений первичной или периодической поверки, в том числе при их хранении;

вводе в эксплуатацию средств измерений после хранения, в течение которого не могла быть произведена периодическая поверка в связи с требованиями к консервации средств измерений или изделий, содержащих средства измерений;

переконсервации средств измерений, а также изделий, в комплекте которых применяются средства измерений;

передаче средств измерений на длительное хранение по истечении половины межповерочного интервала на них;

отправке потребителю средств измерений, не реализованных предприятием-изготовителем по истечении половины межповерочного интервала на них.

Рекомендуется внеочередную поверку производить перед вводом в эксплуатацию средств измерений, взятых со склада после хранения и транспортирования.

**Инспекционную поверку** выполняют для выявления пригодности к применению средств измерений при осуществлении государственного надзора и контроля за состоянием и применением средств измерений.

Инспекционную поверку можно проводить не в полном объеме, предусмотренном нормативно-техническими документами по поверке.

Результаты инспекционной поверки отражают в акте проверки состояния и применения средств измерений.

Государственную инспекционную поверку производят в присутствии представителя проверяемого предприятия.

**Экспертную поверку** осуществляют при возникновении спорных вопросов по метрологическим характеристикам, исправности средств измерений и пригодности их к применению.

Экспертную поверку производят органы Государственной метрологической службы по письменному требованию (заявлению) суда, прокуратуры, милиции, государственного арбитража, органов народного контроля, по письменному заявлению предприятий при возникновении спорных вопросов по метрологическим характеристикам, исправности средств измерений и пригодности средств измерений к применению и по правильности эксплуатации средств измерений. В заявлении должны быть указаны предмет, цель экспертной поверки и причина, вызвавшая ее необходимость.

При осуществлении экспертной поверки средств измерений в необходимых случаях могут присутствовать заявители, а также представители заинтересованной стороны.

По результатам экспертной поверки составляют заключение, которое утверждает руководитель органа Государственной метрологической службы и направляют его заявителю. Один экземпляр должен храниться в органе Государственной метрологической службы, проводившем экспертную поверку.

## 8.2. Калибровка

Система калибровки – совокупность субъектов деятельности и калибровочных работ, направленных на обеспечение единства измерений в сферах, не подлежащих государственному метрологическому контролю и надзору и действующих на основе установленных требований к организации и проведению калибровочных работ.

Структура Российской системы калибровки (РСК) представлена [рис. 8.1](#).

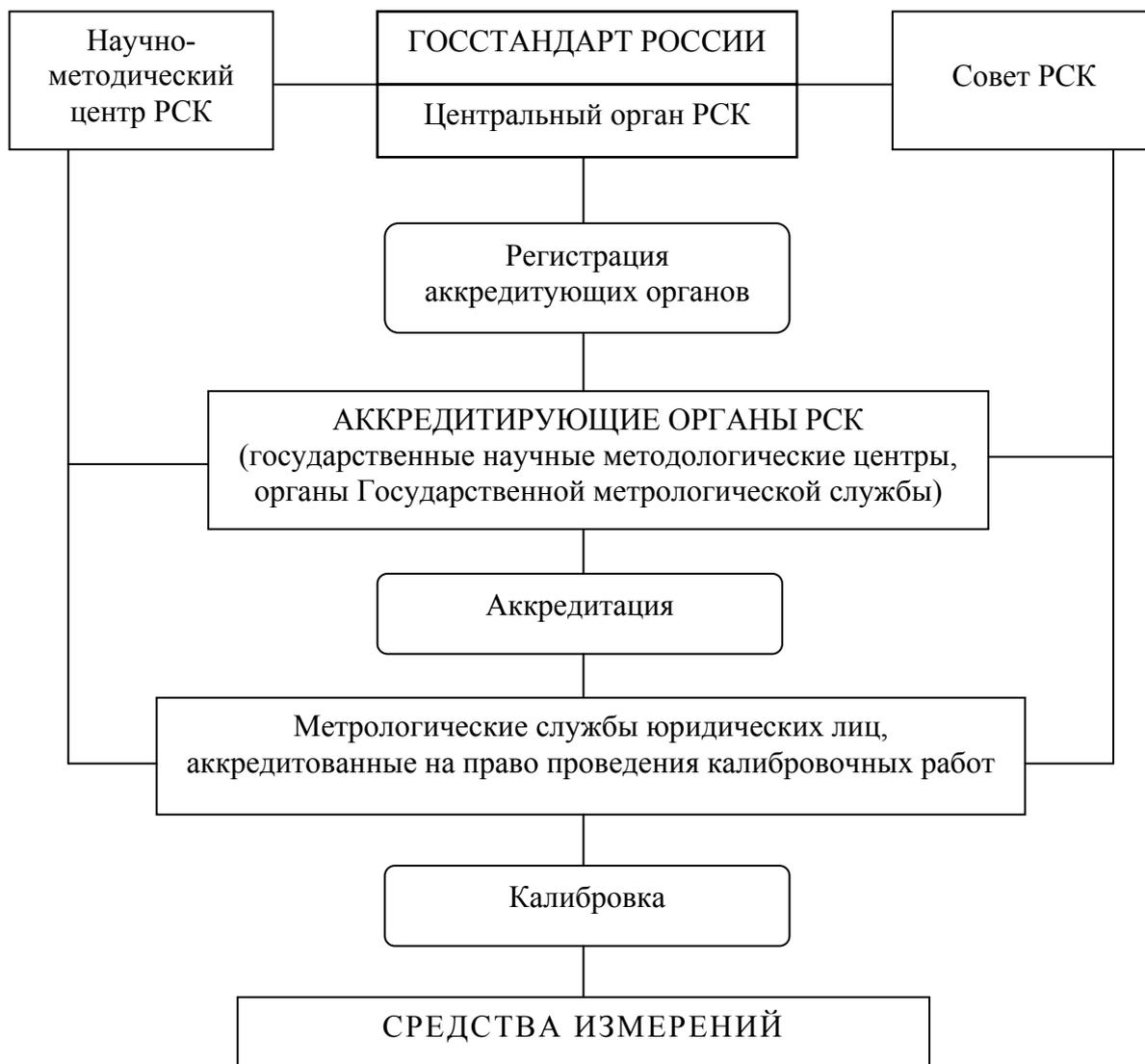


Рис. 8.1. Структура Российской системы калибровки

Основным предметом деятельности Российской системы калибровки являются:

регистрация аккредитующих органов,  
аккредитация метрологических служб юридических лиц (далее – метрологических служб) на право проведения калибровочных работ.

Калибровка средств измерений – установление основных принципов и правил РСК, организационное, методическое и информационное обеспечение

деятельности РСК; инспекционный контроль за соблюдением аккредитованными метрологическими службами требований к проведению калибровочных работ.

Комитет Российской Федерации по стандартизации, метрологии и сертификации (Госстандарт России), государственные научные метрологические центры, органы Государственной метрологической службы, метрологические службы государственных органов управления, аккредитованные метрологические службы юридических лиц в совокупности образуют Российскую систему калибровки, выполняющую свои функции в соответствии с законодательными документами.

В организационную структуру РСК (см. [рис. 8.1](#)) входят:

Центральный орган РСК, совет РСК, научно-методический центр РСК, аккредитующие органы РСК, метрологические службы юридических лиц, аккредитованные на право проведения калибровочных работ.

Центральный орган РСК и научно-методический центр РСК назначаются Госстандартом России.

Государственные научные метрологические центры и органы Государственной метрологической службы и метрологические службы юридических лиц, способные выполнять соответствующие функции, регистрируются в Российской системе калибровки в качестве аккредитующих органов РСК по их заявкам.

Центральный орган образует Совет РСК.

Совет РСК формируется из числа руководителей метрологических служб государственных органов управления, руководителей аккредитующих органов, руководителей аккредитованных метрологических служб юридических лиц, представителей отраслей народного хозяйства и предприятий, научно-исследовательских институтов и объединений, государственных научных метрологических центров, органов Государственной метрологической службы, а также других заинтересованных в РСК обществ и объединений. Председатель Совета РСК избирается на три года членами Совета открытым голосованием на общем собрании.

Совет РСК созывается по инициативе центрального органа РСК не реже одного раза в год или по инициативе не менее 1/3 ее состава для разрешения срочных вопросов, касающихся деятельности Российской системы калибровки.

## 9. МЕТОДИКИ ВЫПОЛНЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ

### 9.1. Порядок разработки и утверждения методики выполнения измерений

Под **методикой выполнения измерений (МВИ)** понимают совокупность приемов и способов использования средств измерения, средств вычислений и вспомогательных средств, а также совокупность приемов и способов обработки данных измерений, осуществляемых для получения количественной информации о значении измеряемой величины (результата измерения) с требуемой точностью.

Методики должны содержать следующие разделы:

- нормы точности измерений;
- используемые средства измерений;
- методы измерений;
- требования безопасности;
- требования к квалификации оператора;
- условия выполнения измерений;
- выполнение измерений;
- обработка и оформление результатов измерений.

В раздел «Нормы точности измерений» включают требования к точности выполняемых измерений, их устанавливают на основании предварительного исследования возможных источников погрешности измерений. При этом оценивают все составляющие погрешности измерения (погрешность средства измерений, метода измерений, оператора и т. п.). Нормы точности представляют в любой удобной форме (таблица, графики, уравнения). В тех случаях, когда нормы точности измерений установлены нормативно-техническими документами, во вводной части методики выполнения измерений дают ссылку на этот документ.

Раздел «Средства измерений и вспомогательные устройства» должен содержать перечень средств измерений и других технических средств, необходимых для выполнения измерений. Средства измерений должны пройти проверку и иметь свидетельство о проверке или поверочные клейма.

В разделе «Метод измерений» дается описание физического принципа, положенного в основу метода. Метод должен быть хорошо проанализирован, при анализе необходимо оценить его погрешность.

Раздел «Требования безопасности» составляют не всегда. Он необходим в том случае, если принимаются специальные меры для обеспечения безопасности при эксплуатации средств измерений, например, пожаро- и взрывобезопасность, а также источников ионизирующих излучений, высоких напряжений и т. п. При изложении этого раздела следует руководствоваться требованиями ГОСТ 1.26–77.

Раздел «Требования к квалификации оператора» составляют в случае, если погрешность метода измерений определяется субъективными свойства-

ми оператора и если эта погрешность составляет значительную часть в общей погрешности результата. Например, яркостную температуру лампы оператор определяет путем визуального сравнения яркости образцовой и поверяемой ламп. При наличии такого раздела в методике выполнения измерения в него включают сведения об уровне квалификации (профессии, образовании, практическом опыте и т. п.) лиц, допускаемых к выполнению подобных измерений и обработке их результатов.

Раздел «Условия выполнения измерений» обычно содержит перечень влияющих величин, их номинальные значения и пределы допустимых отклонений от них.

В разделе «Подготовка к выполнению измерений» указывают подготовительные работы, которые необходимо провести перед измерениями (исследование источников влияющих величин, определение значений тех или иных констант, используемых при получении результата измерений и т. п.).

В разделе «Выполнение измерений» указывают перечень, объем и последовательность проведения операций, которые необходимо выполнять при измерениях, дают их описание.

В разделе «Обработка и оформление результатов измерений» приводят описание способов получения результатов измерений и требования к форме представления окончательных результатов измерений.

Однако в настоящее время на предприятиях нет чёткого понятия, что называется МВИ. Попытаемся разъяснить данное понятие. Прежде всего необходимо МВИ понимать не только как порядок выполнения измерения, но и как комплект документированных процедур, направленных на выполнение закона об обеспечении единства измерений.

Схема процедуры разработки комплекта документов для МВИ по ГОСТ Р 8.563–96 представлена в МИ 2377–98 и имеет следующую структуру ([рис. 9.1](#)).

К типичным требованиям, указываемым в техническом задании (ТЗ) на МВИ, согласно ГОСТ Р 8.563-96, относятся:

- назначение МВИ, из которого можно установить возможность использования МВИ в сферах распространения Государственного метрологического контроля и надзора (ГМКН);
- пределы измерений;
- пределы допускаемой погрешности измерений;
- характеристики объекта измерений (например, температура жидкости, давление или уровень которой измеряется);
- условия измерений (температура, влажность, давление окружающего воздуха, характеристики источника питания средств измерений, наличие внешних электромагнитных полей, вибрация в местах установки средств измерений и др.);

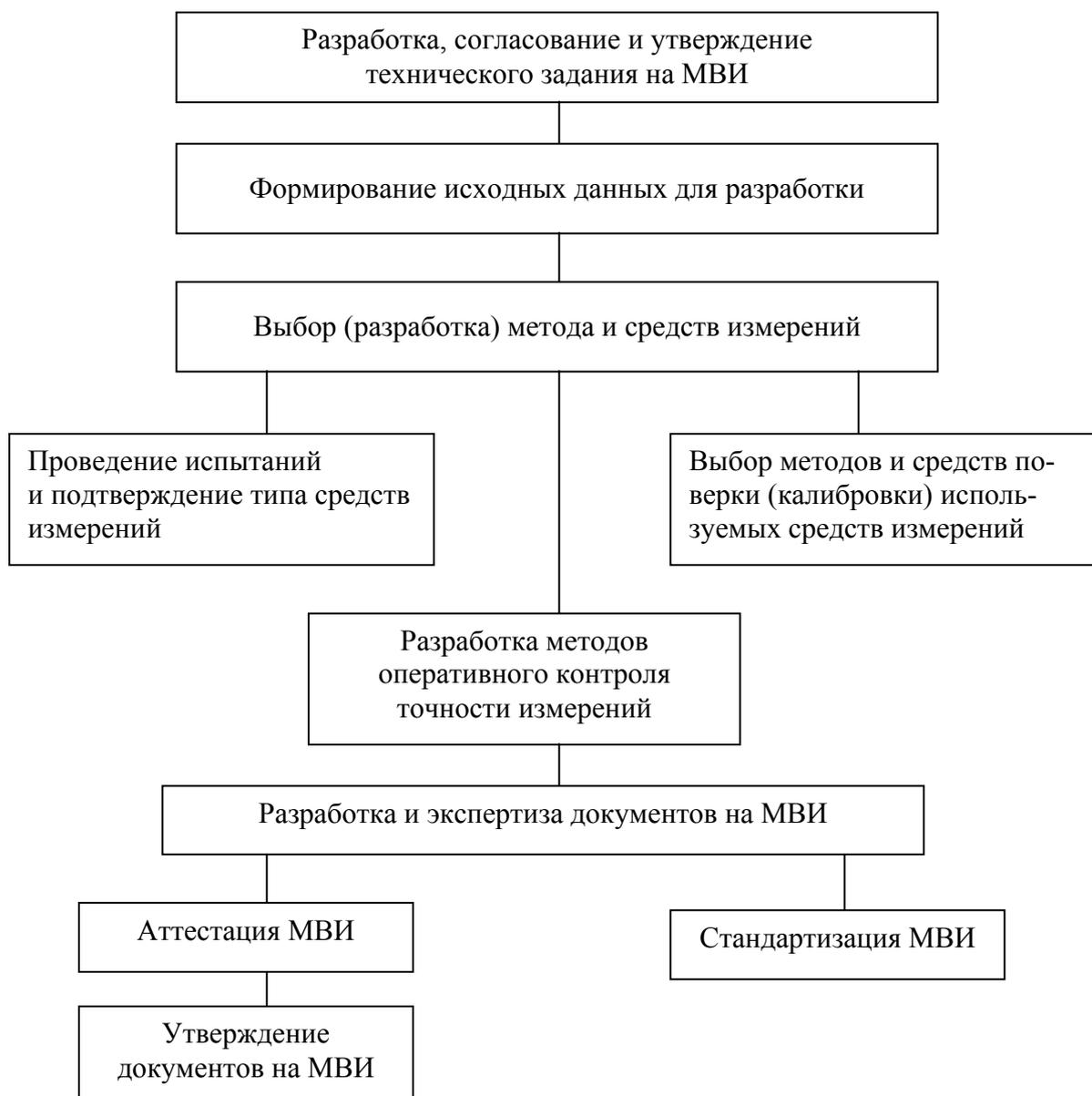


Рис. 9.1. Схема разработки МВИ

- вид индикации и формы регистрации результатов измерений;
- требования к автоматизации измерительных процедур;
- требования к обеспечению безопасности выполнения работ.

К типичным исходным данным для разработки МВИ относятся:

- наличие средств измерений, необходимых для разработки МВИ, в том числе утвержденных типов;
- наличие других технических средств, в том числе средств вычислительной техники, которые могут быть использованы при измерениях;
- наличие эталонов, стандартных образцов состава и свойств веществ и материалов, аттестованных смесей для поверки (калибровки) средств измерений, которые могут быть использованы в МВИ;
- квалификация операторов, выполняющих измерения.

При разработке МВИ одним из основных исходных требований являет-

ся требование к точности измерений. В ряде нормативных документов приводятся требования к точности измерений в наиболее распространенных технологических процессах.

Требования к точности измерений устанавливаются в виде пределов допускаемых значений характеристик абсолютной или относительной погрешности измерения.

Выбор метода и средств измерений, например, в машиностроении базируется на требованиях, изложенных в ГОСТ 8.051–81 «ГСИ. Погрешности, допускаемые при измерении линейных размеров до 500 мм».

Сначала нужно по качеству и интервалу размера, на который разрабатывается МВИ, определить допустимую погрешность измерения. Затем следует назначить диапазон и средство измерения, погрешность которого не превышает допустимой погрешности измерения. Если для разработки конкретных МВИ такие документы отсутствуют, то выбор метода и средств измерений представляет собой многовариантную задачу.

Предварительно выбирают метод и средства измерений, которые могут быть применены в заданных условиях, т. е. метод и средства измерений заведомо удовлетворяют всем заданным требованиям (кроме точности измерений, которая предполагается удовлетворительной). Далее проводят оценивание погрешности измерений.

Если оцененные характеристики погрешности измерений не превышают допускаемых пределов и незначительно меньше этих пределов, то погрешность измерений считают удовлетворительной и ее характеристики приписывают данной МВИ.

Если оцененные характеристики погрешности измерений существенно меньше допускаемых пределов (например, составляют менее 0,5 предела допускаемых значений), то выбранные метод и средства измерений нерациональны по экономическим соображениям. В этом случае целесообразно выбрать менее точные метод и средства измерений, если затраты на измерения, включая затраты на метрологическое обслуживание этих средств измерений, существенно меньше, чем в предварительном варианте. Далее проводят новое оценивание погрешности измерений, и, если оцененные характеристики погрешности удовлетворяют, выбор метода и средств измерений можно считать законченным.

Если оцененные характеристики превышают пределы допускаемых значений, то необходимо выбрать более точные метод и средства измерений и произвести оценивание погрешности измерений.

Процесс выбора метода и средств измерений заканчивают, когда оцененные характеристики погрешности измерений удовлетворяют.

Различают три метода оценивания погрешности измерений:

- расчетный;
- экспериментальный;
- расчетно-экспериментальный.

Расчетные методы оценивания погрешности измерений используют в тех случаях, когда нет условий для применения экспериментальных методов. Кроме того, расчетные методы оценивания погрешности измерений предпочтительны при наличии исходной информации, достаточной для получения результатов расчета с необходимой точностью.

Чем полнее и конкретнее исходные данные, тем точнее результаты расчета погрешности измерений, тем ближе полученные при расчете характеристики погрешности измерений к действительным характеристикам.

Часто на практике в качестве исходных данных для установления требований к точности измерений при контроле используют допуск на контролируемый параметр. Считается удовлетворительным соотношение между пределом допускаемой погрешности измерений и границей симметричного поля допуска 1:5 (в ряде случаев 1:4). При соотношении 1:3 вводится контрольный (суженный) допуск на контролируемый параметр.

Требования к точности измерений устанавливаются в виде пределов допускаемых значений характеристик абсолютной или относительной погрешности измерения.

Наиболее распространенным способом выражения требований к точности измерений являются границы допускаемого интервала, в котором с заданной вероятностью  $P$  должна находиться погрешность измерений.

Если границы симметричны, то перед их одним числовым значением ставятся знаки «плюс-минус». Если заданное значение вероятности равно единице ( $P = 1$ ), то в качестве требований к точности измерений используются пределы допускаемой погрешности измерений, при этом вероятность  $P = 1$  не указывается.

Проведение испытаний и подтверждение типа средств измерений осуществляется согласно ПР 50.2.009-94 «ГСИ. Порядок проведения испытаний и утверждения типа средств измерений».

Для выбора таких средств измерений целесообразно использовать публикации «Новые средства измерений, допущенные к серийному производству в СССР и ввозу партиями из-за рубежа». (ВНИИМС, 1991, вып. 1, 2 и 3), а также сообщения в журнале «Измерительная техника» об утвержденных типах средств измерений (с 1991 г.). Кроме того, для этих целей может быть использован Государственный реестр средств измерений, который находится во ВНИИМС, в части утвержденных типов стандартных образцов.

**Разработка методов оперативного контроля точности измерений.** Процедуры оперативного контроля разрабатывают по МИ 2335–95 «ГСИ. Внутренний контроль качества результатов количественного химического анализа». Для этого контроля используют характеристики погрешности или ее составляющих.

Оперативный контроль нарушения точности результатов измерений в автоматизированных системах может осуществляться с помощью косвенных показателей:

- по результатам тестирования автоматизированных систем управления или их подсистем;

- невязкам в балансе материальных и энергетических потоков в системах трубопроводов или сетях;
- расхождениям показаний дублирующих приборов;
- выходу измеренных значений параметров; за установленные границы при нормальном протекании технологического процесса, что может фиксироваться средствами измерений других параметров;
- превышению скорости изменения результатов измерений максимально физически возможной скорости изменения параметра.

Выбор (разработку) методов и средств поверки (калибровки) средств измерений осуществляют, если для используемых в МВИ (МКХА) средств измерений отсутствуют нормативные или рекомендательные документы на методики поверки.

Для этих целей может быть использован «Автоматизированный указатель комплектов средств поверки» (АИС «Указатель КСП»), разработанный ВНИИМС.

При разработке методик поверки необходимо обеспечить их привязку к поверочной схеме в данном виде измерений.

Испытания с целью утверждения типа средств измерений проводят, если типы используемых в МВИ средств измерений не утверждены и не внесены в Государственный реестр средств измерений.

Процедуры испытаний и утверждения типа средств измерений изложены в ПР 50.2.009-94 «ГСИ. Порядок проведения испытаний и утверждения типа средств измерений». Процедуры метрологической аттестации и утверждения типа стандартного образца изложены в ГОСТ 8.315-91 «ГСИ. Стандартные образцы. Основные положения, порядок разработки, аттестации, утверждения, регистрации и применения».

### 9.2. Разработка и экспертиза документов по методике выполнения измерений

Виды документов, разрабатываемые на МВИ, и основные требования к ним приведены в ГОСТ Р 8.563 (п. 4.2). Рекомендации по построению и изложению отдельных документов на МВИ приведены в прил. В к ГОСТ Р 8.563-96. Отдельные рекомендации из этого приложения могут быть использованы при изложении МВИ в разделах или частях общего документа (в разделе ТУ, стандарта, конструкторского или технологического документа).

**Метрологическая экспертиза МВИ** – анализ и оценка выбора методов и средств измерений, операций и правил проведения измерений и обработки их результатов с целью установления соответствия МВИ предъявляемым метрологическим требованиям.

Проекты государственных стандартов, в которых излагаются МВИ, предназначенные для применения в сферах распространения ГМКН, должны подвергаться метрологической экспертизе в государственных научных мет-

рологических центрах (ГНМЦ). Данную экспертизу не проводят, если ГНМЦ ранее аттестовал стандартизуемую МВИ.

Другие документы на МВИ, применяемые в сферах распространения ГМКН, подвергают метрологической экспертизе в ГНМЦ по согласованию между Госстандартом России и ведомствами или предприятием и ГНМЦ.

При проведении метрологической экспертизы документов на МВИ целесообразно использовать МИ 2267-93 «ГСИ. Обеспечение эффективности измерений при управлении технологическими процессами. Метрологическая экспертиза технической документации».

Стандартизацию МВИ осуществляют в соответствии с положениями Государственной системы стандартизации Российской Федерации (ГОСТ Р 1) и требованиями ГОСТ Р 8.563. После окончания разработки государственного стандарта в пояснительной записке к комплекту документов, представляемых в Госстандарт России для утверждения стандарта, должны указываться выводы по результатам проведенных исследований, аттестации или экспертизы МВИ. Эти сведения проверяются НИИ Госстандарта, подготавливающим проект стандарта к утверждению, на соответствие МВИ предъявляемым требованиям.

Утверждение документа на МВИ (кроме государственного стандарта) производится в порядке, установленном в ведомстве (на предприятии или в организации).

**Аттестация МВИ** – процедура установления и подтверждения соответствия МВИ предъявляемым к ней метрологическим требованиям. Необходимо отличать аттестацию от метрологических исследований МВИ. **Метрологические исследования** – часть процедуры аттестации МВИ. В результате метрологических исследований устанавливаются метрологические характеристики, а при аттестации на основе результатов исследований делается вывод о соответствии МВИ заданным требованиям или приписанным характеристикам (регламентированным в документе на МВИ). **Аттестации подвергают в обязательном порядке МВИ, применяемые в сферах распространения Государственного метрологического контроля и надзора, а также для контроля состояния сложных технических систем, на которые распространяется ГОСТ Р 22.2.004–94.**

Аттестацию МВИ, применяемых вне сфер распространения ГМКН, проводят в порядке, установленном в ведомстве или на предприятии. При этом необходимость аттестации МВИ может возникать при существенной методической составляющей или личностной составляющей (вносимой оператором) погрешности измерений, когда такие составляющие погрешности в процессе разработки МВИ определены недостаточно четко. Необходимость аттестации таких МВИ может определяться заказчиком или указываться в техническом задании на разработку МВИ.

На аттестацию МВИ представляют:

исходные требования (техническое задание) на разработку МВИ, в том числе требования к точности измерений и условиям измерений;

документ (проект документа) на МВИ;  
программу и результаты экспериментального или расчетного оценивания характеристик погрешности измерений, если оно проводилось при разработке МВИ.

При положительных результатах аттестации МВИ, применяемой в сфере распространения государственного метрологического контроля и надзора, а также для контроля состояния сложных технических систем, оформляют свидетельство об аттестации МВИ, рекомендуемая форма которого приводится в ГОСТ Р 8.563–96 (прил. Г). Для других МВИ свидетельство об аттестации оформляют по требованию заказчика.

## 10. РЕМОНТ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ НА ПРИМЕРЕ ШТАНГЕНЦИРКУЛЯ

На каждый изготовленный инструмент выдается аттестат, в котором указывается основная характеристика, комплектность, результат проверки, гарантийные сроки эксплуатации и приводится руководство по обращению с инструментом. С улучшением технологии изготовления отдельных деталей и сборочных работ повышаются гарантийные сроки эксплуатации инструмента.

Сохранность измерительного инструмента зависит от правильной эксплуатации, хранения и ухода за ним. Необходимо помнить, что даже при правильной эксплуатации измерительный инструмент изнашивается. Сначала изнашиваются измерительные (рабочие) поверхности, затем корпусные детали (линейки, рамки, винты и др.).

Нередко инструмент используют не по прямому назначению. Так, штангенциркули с величиной отсчета по нониусу 0,05 мм применяют при измерении грубых размеров, а разметку выполняют на деталях, поверхности которых не обработаны, имеют окалину, затвердевшую корку и др. Иногда в инструментальной тумбочке вместе со средствами измерений (СИ) лежит металлорежущий инструмент. Все перечисленные факторы приводят к износу средств измерений.

Кроме этого, в связи с сложной экономической ситуацией в стране многие предприятия машиностроительного комплекса вынуждены заниматься ремонтом средств измерений самостоятельно. Следовательно, рассмотрение данной темы является важным аспектом в прикладной метрологии.

**Ремонтом** – принято называть технологический процесс восстановления метрологических характеристик СИ с последующей процедурой утверждения принципа единства измерения (юстировка, поверка).

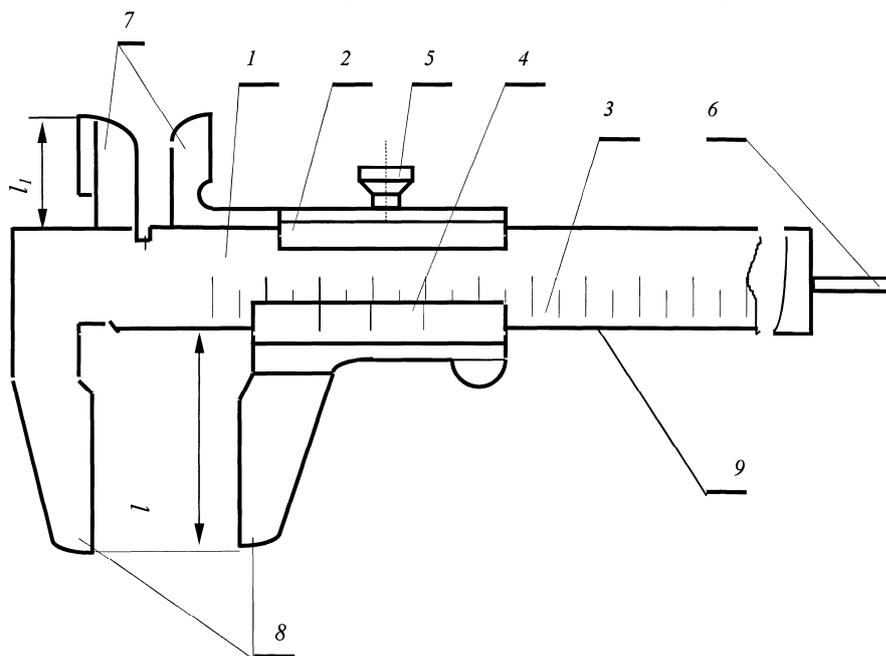


Рис. 10.1. Устройство штангенциркуля

**Юстировка** (от немецкого *justieren* – выверять), проверка и наладка приборов и механизмов, заключающаяся в установлении правильного взаимодействия и расположения деталей и узлов. Термин «юстировка» обычно применяется к оптико-механическим измерительным приборам.

Рассмотрим маршрутный технологический процесс ремонта на примере штангенциркуля.

**Назначение и устройство штангенциркуля ШЦ-I-125-0,1-1.** Штангенциркуль ШЦ-I-125-0,1-1 ГОСТ 166–89 предназначен для измерения наружных и внутренних размеров. Наличие у штангенциркуля данного типа глубиномера расширяет его функциональные возможности. Обозначение ШЦ-I-125-0,1-1 означает: ШЦ – штангенциркуль; I – тип (двусторонний с глубиномером); 125 – диапазон измерения от 0 до 125 мм; 0,1 – значение отсчета по нониусу (цена деления) в мм; I – класс точности штангенциркуля.

Штангенциркуль (рис. 10.1) состоит из штанги 1, по которой может перемещаться рамка 2. На рабочей поверхности 3 штанги 1 нанесена основная миллиметровая шкала. Отсчетным устройством в штангенциркуле является нониус 4, который нанесен на рамке и позволяет отсчитывать дробные доли миллиметра. Для стопорения рамка снабжена винтом 5.

На штанге и рамке имеются губки 7 с кромочными измерительными поверхностями для измерения внутренних размеров и губки 8 с плоскими измерительными поверхностями для измерения наружных размеров. С тыльной стороны рамки размещен глубиномер 6.

У штангенциркулей, бывших в употреблении, встречаются следующие дефекты:

- изношены губки для разметки;
- изношены измерительные поверхности губок;
- перекошены измерительные поверхности губок;
- изогнута штанга и имеются забоины на ней;
- неравномерно передвигается рамка по штанге;
- неправильны показания нониуса;
- имеется большой люфт винта микрометрической подачи в гайке;
- установленный размер слабо фиксируется стопорным винтом.

Наиболее трудоемка работа, связанная с заменой неподвижной ножки. При сильном износе или поломке остроконечной губки или губки для внутреннего измерения неподвижную ножку заменяют.

У штангенциркулей с величиной отсчета по нониусу 0,05 мм, штанга которых соединена с неподвижной ножкой заклепками, заменяют ножку следующим образом:

- 1) выпрессовывают заклепки и снимают изношенную или сломанную ножку;
- 2) изготавливают новую ножку аналогично старой; особое внимание обращают на размеры прямоугольного окна ножки;
- 3) напрессовывают ножку на штангу, выверяют перпендикулярность относительно граней штанги (90°);
- 4) сверлят отверстие, раззенковывают с обеих сторон, вставляют за-

клепки и расклепывают их;

5) опиливают напильником и зачищают шкуркой;

6) опиливают губки верхней ножки так, чтобы их форма и размеры соответствовали форме губок рамки;

7) подгоняют измерительные поверхности губок штанги по измерительным поверхностям губок рамки, оставляя припуск на доводку 0,06–0,08 мм;

8) закаливают с отпуском измерительные губки;

9) шлифуют все поверхности после закалки;

10) доводят измерительные поверхности губок и затачивают острые концы губок;

11) регулируют штангенциркуль (подгоняют нониус). Штангенциркули с величиной отсчета по нониусу 0,05 мм выпускают обычно со штампованной штангой, вследствие чего толщина неподвижной ножки и штанги одинаковая. Поэтому изношенную ножку заменяют другим способом, чем у штангенциркуля с приклепанной ножкой.

**Поверочные схемы.** Для обеспечения правильной передачи размеров единиц измерения должен быть установлен определенный порядок этой передачи. Поэтому составляют поверочные схемы, устанавливающие соподчинение эталонов и образцовых средств измерений, а также порядок и точность передачи единиц измерения от эталонов образцовым, а от них – рабочим средствам измерений. Нередко в поверочных схемах указывают также метод поверки и применяемые для этого компарирующие устройства.

Эталоны и ближайшие к ним разряды образцовых средств измерений находятся в метрологических организациях, которые и осуществляют передачу размеров единиц на высших ступенях схем. Пример такой схемы приведен на [рис. 10.2](#). Нижняя часть таких схем носит общий характер, так как охватывает большую группу средств измерений, объединяемых общими метрологическими, и иногда и конструктивными признаками. Эти схемы являются основой для построения поверочных схем предприятий, располагающих большим числом разнообразных средств измерений с двумя, тремя и более ступенями точности.

В поверочных схемах предприятий рабочие средства измерений, как правило, объединяют в группы, образцовые же средства измерений указывают более конкретно. В верхней части схемы располагаются средства измерений высшей для данного предприятия точности. Часто их называют исходными. Называть их эталонами, или эталонными, не следует, так как по точности они стоят ниже государственного эталона. Эти средства измерений в установленные сроки поверяют в метрологической организации.

Так как в качестве рабочих используются средства измерений различных уровней точности, то для их поверки применяются образцовые средства измерений различных разрядов. Таким образом, некоторые рабочие средства измерений по точности могут превосходить образцовые, предназначенные для поверки менее точных рабочих средств измерений. Однако из этого не следует делать вывод, что рабочие средства измерений высокой точности могут одновре-

менно применяться в качестве образцовых. Как уже указывалось, одно из основных правил метрологии заключается в том, что к хранению и использованию эталонов, образцовых средств измерений следует относиться с особой тщательностью, чтобы обеспечить максимально возможную неизменность их метрологических характеристик. Ни одно образцовое средство измерений не должно применяться для практических измерений в интересах их наименьшего износа и наибольшей сохранности метрологических характеристик.

Чем выше разряд образцовых средств измерений, тем выше требования к условиям их хранения и применения. Наивысшие требования предъявляются к условиям хранения и применения эталонов. Если образцовое средство измерений все-таки применялось для практических измерений, оно должно быть заново поверено и только после этого может снова занять свое место в ряду образцовых измерительных средств.

Пример сравнительно простой поверочной схемы предприятия приведен на [рис. 10.3](#). Содержание и построение поверочных схем дано в ГОСТ 8.061–73. Согласно этому стандарту, поверочные схемы подразделяются на общероссийские и локальные (отдельных органов Государственной метрологической службы или ведомственных метрологических служб).

Поверочные схемы составляют отдельно по каждому виду средств измерений. Иногда одна схема охватывает целую отрасль измерений, в других случаях даже отдельные виды измерений бывают представлены несколькими поверочными схемами. Форма поверочных схем не регламентируется. Приведенная на [рис. 10.2](#) плакатная форма наглядна, но не всегда удобна. Поверочные схемы составляют также в виде ведомостей или таблиц. Возможны и другие формы схем, удобные для данных специфических условий.

Только строгое соблюдение поверочных схем и своевременная поверка исходных образцовых средств измерений в метрологических организациях обеспечивает единство измерения.

**Общероссийские поверочные схемы** служат основанием для составления поверочных схем и для разработки государственных стандартов и методик на методы и средства поверки образцовых и рабочих средств измерений. Эти поверочные схемы утверждают в качестве государственных стандартов.

**Локальные поверочные схемы** утверждает руководитель предприятия или организации, в которых используют данную поверочную схему. Локальные схемы следует согласовывать с органами государственной службы, осуществляющими поверку образцовых исходных средств измерений, включенных в поверочную схему.

Локальные поверочные схемы составляют при наличии более двух ступеней передачи размера единицы физических величин. Схемы не должны противоречить общероссийским поверочным схемам для средств измерений данного вида. В верхней части локальной поверочной схемы указывают местонахождение и наименование эталона или образцового средства измерений (в соответствии с общероссийской поверочной схемой), по которой поверяют образцовые исходные средства измерений.

В локальную поверочную схему включают также все находящиеся в

эксплуатации или выпускаемые в обращение рабочие средства измерений данной физической величины.

Общероссийская поверочная схема охватывает государственные эталоны; эталоны-копии; эталоны-свидетели; эталоны-сравнения; рабочие эталоны; образцовые и рабочие средства измерений, а также методы передачи размера единиц (методы поверки). Допускается включать в поверочную схему эталона-копии и рабочие эталоны.

Поверочные схемы состоят из текстовой части и чертежа.

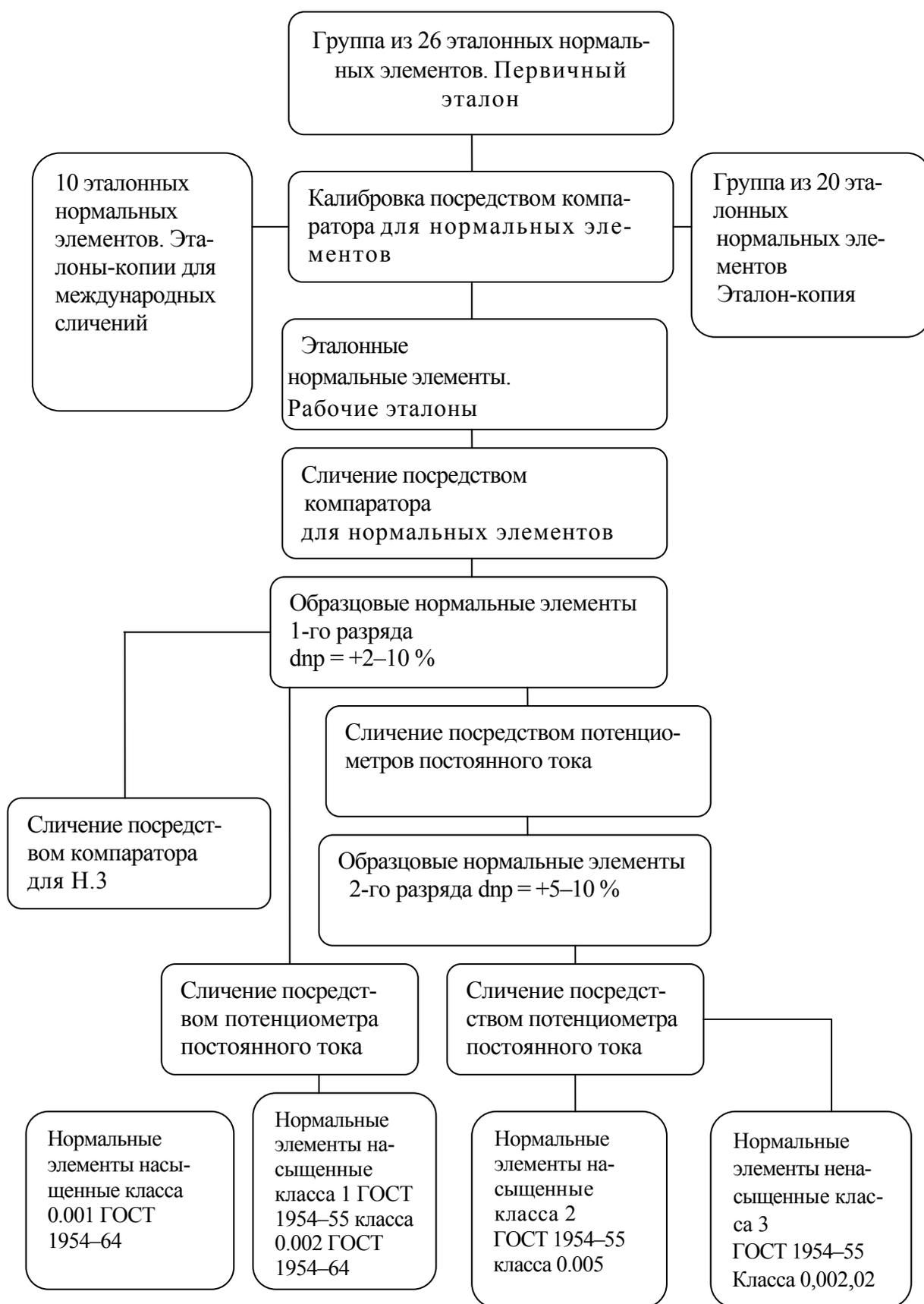


Рис. 10.2. Эталоны, образцовые и рабочие меры

На чертеже поверочной схемы указывают: наименования средств изме-

рений; диапазоны значений физических величин; обозначения и оценки погрешностей; наименования методов поверки.



Рис. 10.3. Плакатная форма поверочной схемы

Методы поверки, указываемые на поверочной схеме, должны отражать специфику поверки данного вида средств измерений и соответствовать одному из следующих общих методов:

- непосредственному (т. е. без компаратора) сличению поверяемого средства измерений с образцовым средством измерений того же вида (т. е. меры с мерой или измерительного прибора с измерительным прибором);
- сличению поверяемого средства измерений с образцовым средством измерений того же вида при помощи компаратора;
- прямому измерению поверяемым измерительным прибором величины, воспроизведенной образцовой мерой;
- прямому измерению образцовым измерительным прибором величины, воспроизведенной подвергаемой поверке мерой;

- косвенным измерениям величины, воспроизведенной мерой или измеренной прибором, подвергаемым поверке;
- независимой поверке, т. е. поверке средств измерений относительных (безразмерных) величин, не требующей передачи размеров единиц от эталонов или образцовых средств измерений, проградуированных в единицах размерных величин.

Текстовая часть состоит из вводного раздела и пояснений к звеньям поверочной схемы.

## 11. ГОСУДАРСТВЕННЫЕ ИСПЫТАНИЯ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

Испытания и утверждение типа средств измерений распространяются только на средства измерений, применяемые в сферах государственного метрологического контроля и надзора.

Нормативная база по проведению этих работ включает следующие документы:

ПР 50.2.009–94 «Порядок проведения испытаний и утверждения типа средств измерений»;

ГСИ. ПР 50.2.010–94 «Требования к государственным центрам испытаний средств измерений и порядок их аккредитации»;

### **Порядок ведения Государственного реестра средств измерений.**

Документ ПР 50.2.009–94 разработан для применения в Российской Федерации взамен ГОСТ 8.001, ГОСТ 8.383, ГОСТ 8.326 и устанавливает общие требования к организации и порядку проведения работ в рамках Системы государственных испытаний и утверждения типа средств измерений.

Главное отличие этого документа от основополагающих документов бывшей Системы государственных испытаний средств измерений (ГОСТ 8.001 и ГОСТ 8.383) заключается в том, что он распространяется только на средства измерений, подлежащие применению в сферах государственного метрологического контроля и надзора независимо от объема их производства, т. е. распространяется и на единичное производство.

Система испытаний и утверждения типа средств измерений ([рис. 11.1](#)) включает:

- испытания средств измерений для целей утверждения типа;
- принятие решения об утверждении типа, его государственной регистрации и выдаче сертификата об утверждении типа;
- испытание средств измерений на соответствие утвержденному типу;
- признание утверждения типа или результатов испытаний типа единства измерений, проведенных компетентными организациями зарубежных стран;
- информационное обслуживание потребителей измерительной техники, контрольно-надзорных органов и органов государственного управления.

Испытания средств измерений для целей утверждения типа проводят по программе, которая в отличие от ранее принятого порядка не только устанавливает объем и методику испытаний, а также их продолжительность, номенклатуру и количество документов, представляемых на испытания

Утверждение типа средств измерений проводится в целях обеспечения единства измерений в стране и постановки на производство и выпуска в обращение средств измерений, соответствующих требованиям, установленным в нормативных документах.

Средства измерений, на которые выданы сертификаты об утверждении типа, подлежат государственной регистрации в Государственном реестре средств измерений



Рис. 11.1. Система испытаний СИ

.С сентября 1997 г. отменен ГОСТ 8.326 «Метрологическая аттестация средств измерений». Взамен указанного стандарта введены изменения №1 к ПР 50.009–94 «Порядок проведения испытаний и утверждения типа средств измерений». Изменения устанавливают порядок проведения испытаний единичных экземпляров средств измерений, а также измерительных, измерительно-вычислительных комплексов. Право проведения единичных образцов предоставлено только государственным испытательным центрам средств измерений.

Новые Правила не предусматривают обязательных периодических кон-

трольных испытаний, однако предусмотрены испытания на соответствие утвержденному типу, которые проводят только в следующих случаях:

- при наличии информации от потребителей об ухудшении качества выпускаемых или импортируемых средств измерений;
- при внесении изменений в конструкцию или технологию изготовления средств измерений, влияющих на их нормированные метрологические характеристики:
- при истечении срока действия сертификата об утверждении типа;
- по решению Госстандарта России при постановке на производство средства измерений изготовителем.

Испытания средств измерений на соответствие утвержденному типу проводят также в случае выдачи лицензии на право производства средств измерений предприятию, не являющемуся изготовителем образцов средств измерений, по результатам испытаний которых утвержден их тип.

Правила ПР 50.2.010-94 устанавливают требования к государственным центрам испытаний средств измерений (далее ГЦИ СИ) и порядок их аккредитации в Системе испытаний и утверждения типа средств измерений.

Аккредитация ГЦИ СИ в Системе государственных испытаний является официальным признанием их компетентности в проведении работ, связанных с испытаниями типа средств измерений и его утверждением в соответствии с законодательством Российской Федерации в области обеспечения единства измерений.

Правила ПР 50.2.011–94 устанавливают порядок ведения Государственного реестра средств измерений, предназначенного для регистрации средств измерений, типы которых утверждены Госстандартом России.

Государственный реестр ведется в целях:

- учета средств измерений утвержденных типов и создания централизованных фондов информационных данных о средствах измерения, допущенных к производству, выпуску в обращение и применению в Российской Федерации;
- учета выданных сертификатов об утверждении типа средств измерений и аттестатов аккредитованных государственных центров испытаний средств измерений;
- регистрации аккредитованных государственных центров испытаний средств измерений;
- учета типовых программ испытаний средств измерений для целей утверждения типа;
- организации информационного обслуживания заинтересованных юридических и физических лиц.

Документы ПР 50.2.009–94 «ГСИ. Порядок проведения испытаний и утверждение типа средств измерений», ПР 50.2.010-94 «ГСИ. Требования к государственным центрам испытаний средств измерений и порядок их аккредитации» и ПР 50.2.011–94 «ГСИ. Порядок ведения государственного реестра средств измерений» составляют нормативную базу Системы испыта-

ний и утверждения типа средств измерений, которая гармонизирована с международными документами МОЗМ, в частности с МД 19 «Испытания и утверждение типа средств измерений», и международными документами ИСО/МЭК по аккредитации испытательных лабораторий.

## 12. АККРЕДИТАЦИЯ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ СЛУЖБ НА ПРАВО ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТ В ОБЛАСТИ ИСПЫТАНИЙ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

Проблема качества актуальна для нужд всего народного хозяйства. Производители продукции поняли, что путь их выживания и благополучия в рыночной среде – это создание продукции высокого качества, конкурентоспособной как на внутреннем, так и на внешнем рынках.

**Аккредитация** – официальное признание органом по аккредитации компетенции физического или юридического лица выполнять работы в определенной области оценки соответствия [7].

До недавнего времени аккредитацию испытательных лабораторий проводили, руководствуясь законом Российской Федерации «О сертификации продукции и услуг», но в свете выхода нового закона Российской Федерации «О техническом регулировании» подход к аккредитации изменился.

Закон регулирует отношения, возникающие при разработке, принятии, применении и исполнении обязательных требований к продукции, процессам производства, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации, утилизации; разработке, принятии, применении и исполнении на добровольной основе требований к продукции, процессам производства, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации, утилизации, выполнению работ или оказанию услуг; оценке соответствия.

Настоящий Закон также определяет права и обязанности участников регулируемых этим Законом отношений:

1. Требования к функционированию единой сети связи РФ и продукции, связанные с обеспечением целостности, устойчивости функционирования указанной сети связи и ее безопасности. Отношения, связанные с обеспечением целостности единой сети связи РФ и использованием радиочастотного спектра, соответственно устанавливаются и регулируются законодательством Российской Федерации в области связи.

2. Действие этого Закона не распространяется на государственные образовательные стандарты, положения (стандарты) о бухгалтерском учете и правила (стандарты) аудиторской деятельности, стандарты эмиссии ценных бумаг и проспектов эмиссии ценных бумаг.

Российская система аккредитации (РОСА) представляет собой совокупность организаций, участвующих в деятельности по аккредитации, аккредитованных органов по сертификации, испытательных лабораторий, других субъектов, а также установленных норм, правил, процедур, которые определяют действие этой системы (рис. 12.1).



Рис. 12.1. Российская система аккредитации (РОСА)

Объектами аккредитации являются организации, осуществляющие деятельность в области оценки соответствия: испытательные лаборатории, органы по сертификации, контролирующие организации; метрологические службы юридических лиц; организации, осуществляющие специальную подготовку экспертов.

Система аккредитации устанавливает требования к объектам аккредитации и аккредитующему органу; правилам и процедурам систем, причем аккредитующий орган в каждом конкретном случае имеет право устанавливать дополнительные критерии в соответствии с особенностями объекта аккредитации.

Участниками российской системы аккредитации являются: Совет по аккредитации в РФ (Совет), аккредитующие органы и технические центры по видам деятельности, объекты аккредитации и аккредитованные организации, эксперты по аккредитации. Рассмотрим их функции.

Совет решает вопросы, относящиеся к принципам проведения единой технической политики в области аккредитации; исследованиям по аккредитации; координации деятельности аккредитованных органов, экономическим аспектам аккредитации; международному сотрудничеству в области аккредитации; анализу итогов деятельности по аккредитации; ведению объединенного реестра аккредитованных объектов и экспертов по аккредитации. Рабочие органы Совета – технический секретариат, рабочие группы (из числа членов Совета) и комиссия по апелляциям.

**Аккредитующий орган** проводит аккредитацию организаций, осуществляющих деятельность в законодательно регулируемой (обязательной) сфере. Аккредитацию в добровольной сфере имеет право осуществлять юридическое

лицо, отвечающее требованиям к аккредитующим органам.

Госстандарт, помимо выполнения им функций аккредитующего органа, разрабатывает общие процедуры аккредитации, требования к аккредитующим органам, объектам аккредитации и экспертам, к документам по аккредитации и взаимодействует с международными, региональными и зарубежными организациями по аккредитации.

**Основные функции аккредитующего органа** связаны с реализацией единой политики по аккредитации в России. Важнейшей функцией аккредитующего органа является разработка правил по признанию других систем аккредитации, в том числе зарубежных.

Требования к аккредитующему органу регламентируются ГОСТ Р 51000.2–95.

Технический центр выполняет работу, которую поручает ему аккредитующий орган. Это может быть предварительное рассмотрение заявок на аккредитацию, проведение экспертизы документов, подготовка программ аттестации заявителей и инспекционного контроля аккредитованных организаций, рассмотрение результатов аттестации и инспекционного контроля и подготовка по ним проекта решения и др.

Система аккредитации предусматривает повторную аккредитацию, доаккредитацию, аккредитацию на компетентность и аккредитацию с целью предоставления полномочий на право проведения работ по сертификации.

Повторная аккредитация проводится не реже, чем раз в пять лет. Продление действия аттестата аккредитации возможно и без повторной аккредитации. Решение об этом принимает аккредитующий орган по результатам инспекционного контроля.

**Доаккредитация** – это аккредитация в дополнительной области деятельности. Этой процедуре подвергается аккредитованная организация, которая претендует на расширение своей области деятельности. Программа и процедура доаккредитации определяются аккредитующим органом.

**Аккредитация на компетентность**, или универсальная аккредитация, проводится аккредитующим органом, деятельность которого полностью соответствует международным требованиям, изложенным в Руководстве ИСО/МЭК 61. Предполагается, что аккредитация на компетентность обеспечит доверие к аккредитованному органу (или лаборатории) со стороны заявителей.

Аккредитация с целью предоставления полномочий на право проведения работ по сертификации в системе сертификации проводится организацией, получившей свои полномочия соответствующим законодательным актом. Предоставление полномочий необходимо для создания уверенности в том, что испытания, проводимые данной лабораторией, и решения, принимаемые органом по сертификации, достоверны, будут признаваемы заинтересованными сторонами и не вызовут сомнений по отношению к системе сертификации.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Российская метрологическая энциклопедия. – СПб: Лики России, 2001.
2. РМГ 29-99 «ГСИ. Метрология. Основные термины и определения».
3. Большой юридический словарь – М.: Изд-во «Инфра-М», 1999.
4. Русский толковый словарь. – М.: Изд-во «Русский язык», 1998.
5. Крылова, Г. Д. Основы стандартизации, сертификации и метрологии: учеб. для вузов. – 3-е изд., перераб. и доп. / Г. Д. Крылова. – М.: ЮНИТИ, 2005.
6. Тартаковский, Д. Ф. Метрология, стандартизация и технические средства измерений: учеб. для вузов / Д. Ф. Тартаковский. – М.: Высш. шк., 2001.
7. Лифиц, И. М. Стандартизация, метрология и сертификация: учеб. – 3-е изд., перераб. и доп. / И. М. Лифиц. – М. : Юрайт, 2004.
8. Исаенко, Л. С. Метрология, стандартизация и сертификация. Методики выполнения измерений: учеб. пособие / Л. С. Исаенко, Ю. В. Коловский, Ю. П. Саломатов; Красноярск. гос. техн. ун-т. – Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2005.
9. Зайдель, А. Н. Погрешности измерений физических величин / А. Н. Зайдель; ред. Ж. И. Алферов. – Л.: Наука; Ленингр. отд-ние, 1985.
10. Камке, Д. Физические основы единиц измерения : пер. с нем. / Д. Камке, К. Кремер; ред. А. Н. Матвеев. – М.: Мир, 1980.
11. Сергеев, А. Г. Метрология: учеб. пособие для вузов / А. Г. Сергеев, В. В. Крохин. – М.: Логос, 2000.