

Ю.М. Правиков, Г.Р. Муслина

МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВА

Допущено Учебно-методическим объединением вузов по образованию в области автоматизированного машиностроения (УМО АМ) в качестве **учебного пособия** для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлениям подготовки «Технология, оборудование и автоматизация машиностроительных производств», «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств», «Автоматизированные технологии и производства»



МОСКВА
2009

УДК 006(075.8)
ББК 30.10я73
П68

ОГЛАВЛЕНИЕ

Рецензенты:

А.Н. Лунев, заведующий кафедрой «Технология производства двигателей» Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева, д-р техн. наук, проф.,

А.В. Харламов, отдел главного метролога ОАО «Ульяновский автомобильный завод» (главный метролог ОАО «УАЗ»)

Правиков Ю.М.

П68 Метрологическое обеспечение производства : учебное пособие / Ю.М. Правиков, Г.Р. Муслина. — М. : КНОРУС, 2009. — 240 с.

ISBN 978-5-390-00205-6

Изложены вопросы метрологического обеспечения производства, основанные на практическом использовании современных положений метрологии. Рассмотрены организационные основы метрологического обеспечения в Российской Федерации. Показана роль метрологического обеспечения в достижении требуемого качества выпускаемой продукции.

Для студентов технических вузов, изучающих дисциплины «Метрология, стандартизация и сертификация», «Технические измерения» и «Методы и средства измерений, испытаний и контроля», и будет полезно при решении задач метрологического обеспечения в курсовых и дипломных проектах и выполнении научно-исследовательских работ, а также инженерно-техническим работникам предприятий.

УДК 006(075.8)
ББК 30.10я73

Санитарно-эпидемиологическое заключение
№ 77.99.60.953.Д.000035.01.08 от 09.01.2008 г.

Изд. № 1161. Подписано в печать 30.09.2008. Формат 60×90/16.
Гарнитура «PetersburgC». Печать офсетная. Бумага газетная.
Усл. печ. л. 15,0. Уч.-изд. л. 9,55. Тираж 3000 экз. Заказ №

ЗАО «КноРус». 129110, Москва, ул. Большая Переяславская, 46.
Тел.: (495) 680-7254, 680-0671, 680-1278.
E-mail: office@knorus.ru http://www.knorus.ru

Отпечатано в ГУП «Брянское областное полиграфическое объединение».
241019, г. Брянск, пр-т Ст. Димитрова, 40.

© Правиков Ю.М., Муслина Г.Р., 2009
© ЗАО «МЦФЭР», 2009
© ЗАО «КноРус», 2009

ISBN 978-5-390-00205-6

Предисловие 5

Глава 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О МЕТРОЛОГИИ И МЕТРОЛОГИЧЕСКОМ ОБЕСПЕЧЕНИИ	7
1.1. Историческое развитие, предмет и основные понятия метрологии	7
1.2. Государственная система обеспечения единства измерений	11
1.3. Метрологические службы Российской Федерации	16
1.4. Международные метрологические организации и обеспечение единства измерений в зарубежных странах	24
1.5. Ответственность за нарушение метрологических правил и норм	28
1.6. Государственный метрологический контроль и надзор	29
Контрольные вопросы	33

Глава 2. ЕДИНИЦЫ И СИСТЕМЫ ЕДИНИЦ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН	35
2.1. Физические величины	35
2.2. Международная система единиц физических величин	40
2.3. Соотношения единиц СИ с единицами других систем и внесистемными единицами	46
2.4. Основные правила написания обозначений единиц	47
Контрольные вопросы	49

Глава 3. ВОСПРОИЗВЕДЕНИЕ ЕДИНИЦ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН И ПЕРЕДАЧА ИХ РАЗМЕРОВ	50
3.1. Понятие об эталонах физических величин	50
3.2. Эталоны основных единиц системы СИ	54
3.3. Поверка средств измерений и поверочные схемы	57
3.4. Калибровка средств измерений	61
Контрольные вопросы	64

Глава 4. ИЗМЕРЕНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН	66
4.1. Понятие об измерении и контроле	66
4.2. Погрешности измерений	74
4.3. Исключение систематических погрешностей	81
4.4. Оценивание случайных погрешностей	86
4.5. Выбор характеристик погрешности	98
4.6. Исключение промахов	99
4.7. Правила округления и записи результатов измерений	102
Контрольные вопросы	103

Глава 5. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ	105
5.1. Многократные прямые измерения	105
5.2. Однократные измерения	112

5.3. Косвенные измерения	114
Контрольные вопросы	119
Глава 6. СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ	
6.1. Виды средств измерений	121
6.2. Метрологические характеристики средств измерений	124
6.3. Выбор средств измерений геометрических параметров деталей	130
6.4. Контроль деталей гладких соединений	141
6.5. Метрологическая надежность средств измерений	148
Контрольные вопросы	159
Глава 7. КАЧЕСТВО ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА	
Контрольные вопросы	162
Глава 8. МЕТРОЛОГИЧЕСКАЯ ЭКСПЕРТИЗА ТЕХНИЧЕСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ	
8.1. Общие положения	170
8.2. Метрологическая экспертиза рабочей конструкторской документации	174
8.3. Метрологическая экспертиза технологической документации	188
Контрольные вопросы	189
Приложение 1. Значения интеграла вероятностей $\Phi_0(z)$	190
Приложение 2. Значения критерия Фишера F_q для различных уровней значимости q	192
Приложение 3. Допускаемые погрешности измерения линейных размеров (ГОСТ 8.051–81)	193
Приложение 4. Допускаемые погрешности измерения линейных размеров с неуказанными допусками (ГОСТ 8.549–86)	194
Приложение 5. Допускаемые погрешности измерения отклонений формы и расположения поверхностей, мкм (ГОСТ 28187–89)	195
Приложение 6. Предельные погрешности измерения наружных линейных размеров штангенинструментами	196
Приложение 7. Предельные погрешности измерения наружных линейных размеров микрометрическими инструментами	197
Приложение 8. Предельные погрешности измерения внутренних линейных размеров универсальными измерительными средствами	198
Приложение 9. Предельные погрешности измерения линейных размеров и биений механическими средствами измерений	200
Приложение 10. Темы практических занятий	204
Приложение 11. Состав и содержание расчетно-графических работ	205
Тестовые задания	206
Глоссарий	226
Литература	236

Предисловие

Обеспечение и поддержание необходимого уровня качества изделий машиностроения, а значит и их конкурентоспособности на мировом рынке, невозможно без систематического мониторинга и контроля входных и выходных параметров технологических процессов, что неизбежно связано с выполнением большого числа измерений. Таким образом, перед специалистом в области машиностроения встают задачи должной организации измерительного эксперимента, обработки и представления результатов измерений в соответствии с принципами метрологии (науки об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства и требуемой точности) и действующими нормативными документами. Метрологическое обеспечение производства, основанное на практическом использовании положений метрологии, является составной частью системы управления качеством одной из основных предпосылок достижения требуемого качества выпускаемых изделий.

В пособии рассмотрены вопросы организации метрологического обеспечения и государственного метрологического контроля и надзора в стране, основанные на Законе Российской Федерации от 27 апреля 1993 г. № 4871-1 «Об обеспечении единства измерений» и Федеральном законе от 27 декабря 2002 г. № 184-ФЗ «О техническом регулировании».

Огромную роль в современном производстве изделий машиностроения, во многом определяя уровень его развития, играют измерения геометрических параметров машин и их деталей (точности размеров, расположения, формы и шероховатости поверхности). В связи с этим в учебном пособии особое внимание уделено изучению вопросов рационального выбора и методов использования средств измерений и контроля геометрических параметров изделий, метрологической экспертизе конструкторской и технологической документации.

В настоящее время измерительная информация используется не только для проверки соответствия характеристик качества изделий установленным требованиям, но и для управления технологическими процессами. Следовательно, достоверность принимаемых решений по управлению технологическими процессами зависит от качества выполненных измерений. В учебном пособии анализируются причины изменчивости измерительных процессов и рассматриваются показатели качества измерений, основанные на статистических характеристиках многократных измерений.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О МЕТРОЛОГИИ И МЕТРОЛОГИЧЕСКОМ ОБЕСПЕЧЕНИИ

1.1. Историческое развитие, предмет и основные понятия метрологии

Для изготовления изделий требуемого качества необходимо располагать количественной информацией о том или ином показателе качества этих изделий. Основным способом получения такой информации являются измерения, при выполнении которых получают результат измерения, с большей или меньшей точностью отражающий интересующее свойство изделия.

Измерения — один из самых древних видов человеческой деятельности, имеющий многовековую историю и развивающийся одновременно с человеческим обществом как язык общения и необходимое условие экономических связей в торгово-промышленной практике и быту.

Первые измерения заключались в сопоставлении наблюдаемых человеком предметов с размерами собственного тела и его частей. Основой использования таких мер являлась древняя философия. «Человек есть мера всех вещей», — утверждал древнегреческий философ Протагор. В результате возникли такие единицы измерения, как: дюйм, равный ширине большого пальца (дюйм — большой палец в переводе с голландского); фут, равный длине ступни ноги, аршин (арш — локоть в переводе с персидского) и др. Достоинствами этих мер являлись их наглядность и наличие «под рукой».

Европейские и русские меры имеют своим источником меры известных древних цивилизаций (Индии, Китая, Вавилона, Египта). В Вавилоне во II в. до н.э. время измерялось в минах. Мина (примерно два астрономических часа) равнялась промежутку времени, за который из принятых в Вавилоне водяных часов вытекала мина (около 500 г) воды. Затем мина трансформировалась и пре-

вратилась в минуту. Вавилонские сутки содержали 24 ч, 1 ч — 60 мин, 1 мин — 60 с. Вавилонские меры (мера длины — аршин, мера массы — талант) перешли в Грецию и Рим, а затем в Европу. Мера длины «аршин» на Руси была дополнена древнерусской мерой «пядь», которая равнялась $\frac{1}{4}$ аршина и представляла собой расстояние между концами большого и указательного пальцев взрослого человека.

Для осуществления более тесных контактов с зарубежными странами Петр I провел реформу системы мер, приближая ее к английской. При этом дюйм и фут удачно вписались в русскую систему мер. Аршин (0,71 м) удлинили до 28 дюймов. Сажень (2,13 м) делилась либо на 3 аршина, либо на 7 футов. Поэтому после проведения реформы традиционные меры ничуть не утратили своего значения — в торговле мерили по-прежнему аршинами, а в промышленности и ремеслах — дюймами. К этому времени метрология сформировалась как наука: проводились научные исследования в целях повышения точности измерений и поисков естественных эталонов единиц; появились шкалы; были введены акты законодательной метрологии. По решению Сената в России в 1736 г. была образована Комиссия весов и мер, в состав которой входил Леонард Эйлер. В качестве исходных мер Комиссия изготовила медный аршин и деревянную сажень, за меру веществ было принято ведро московского Каменноостовского Литейного двора.

В дальнейшем для унификации единиц физических величин (ФВ) и исключения случайностей при их определении во Франции была разработана метрическая система мер, которая с 1837 г. была введена во Франции законодательно, а в последующие 30 лет распространилась по всей Европе. Основой этой системы стал метр, равный одной десятиллионной части четверти меридиана, проходящего через Париж.

В 1841 г. в Петропавловской крепости организуется первый центр метрологии — Депо образцовых мер и весов, а после подписания метрической конвенции в 1875 г. Россия получила платиноиридиевые эталоны единицы массы (№ 12 и 26) и эталоны единицы длины — метра (№ 11 и 28). Законодательно метрологическая система в России была введена в 1918 г. Декретом Совета Народных Комиссаров «О введении Международной метрической системы мер и весов».

Значительную роль в развитии метрологии в России сыграла Главная палата мер и весов, созданная Д.И. Менделеевым, — один из первых в мире научно-исследовательских институтов метрологического профиля.

Международную систему единиц физических величин — систему СИ, которая узаконена теперь более чем в 124 странах мира, приняла XI Международная конференция по мерам и весам в 1960 г.

В настоящее время государственные метрологические службы России, имеющие достаточно сложную структуру, проводят работы в области стандартизации и метрологии в стране непосредственно через созданные Госстандартом научно-исследовательские институты, центры метрологии и стандартизации (областные, краевые и республиканские) и территориальные лаборатории государственного надзора за стандартизацией и измерительной техникой (см. подразд. 1.3).

На базе главной палаты мер и весов создано высшее научное учреждение страны — Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д.И. Менделеева (ВНИИМ). В его лабораториях разрабатываются и хранятся государственные эталоны единиц измерений, определяются физические константы и свойства веществ и материалов. Тематика работ института охватывает линейные, угловые, оптические и фотометрические, акустические, электрические и магнитные измерения, измерения массы, плотности, силы, давления, вязкости, твердости, скорости, ускорения и ряда других величин.

Вторым по значимости метрологическим центром страны является Всероссийский научно-исследовательский институт физико-технических и радиотехнических измерений (ВНИИФТРИ). Он разрабатывает эталоны и средства точных измерений в радиоэлектронике, службе времени и частот, акустике, атомной физике, физике низких температур и высоких давлений.

Координация и научно-методическое руководство метрологической службой страны возложено на Всероссийский научно-исследовательский институт метрологической службы (ВНИИМС) — главную организацию в области прикладной и законодательной метрологии.

Система основных понятий метрологии приведена в рекомендациях по межгосударственной стандартизации РМГ 29-99 «ГСИ. Метрология. Основные термины и определения», разработанных ВНИИМ им. Д.И. Менделеева. Согласно этим рекомендациям, *метрология* — наука об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства и способах достижения требуемой точности. Греческое слово метрология образовано от слов «метрон» — мера и «логос» — учение.

Предметом метрологии выступает извлечение количественной информации о свойствах объектов и процессов с заданной точнос-

тью и достоверностью. *Средства метрологии* — это совокупность средств измерений и метрологических стандартов, обеспечивающих их рациональное применение.

Основными задачами метрологии являются:

- обеспечение единства измерений;
- разработка и совершенствование теории измерений, методов и средств воспроизведения единиц ФВ и передачи их размеров;
- установление системы единиц ФВ, государственных эталонов и образцовых средств измерений;
- разработка методов оценки погрешностей, состояния средств измерений и контроля;
- практическое применение теории, методов, а также средств измерений и контроля.

Метрология делится на три самостоятельные и взаимодополняющие части [14]: теоретическая метрология, законодательная и практическая (прикладная). *Теоретическая метрология* занимается разработкой фундаментальных основ метрологии. *Законодательная метрология* предусматривает установление обязательных технических и юридических требований по применению единиц ФВ, эталонов, методов и средств измерений, направленных на обеспечение единства и необходимой точности измерений в интересах общества.

Практическая (прикладная) метрология решает вопросы практического применения разработок теоретической метрологии и положений законодательной метрологии.

Одной из основных задач метрологии является обеспечение единства измерений. *Единство измерений* определяется как состояние измерений, при котором их результаты выражены в узаконенных единицах величин, размеры которых в установленных пределах равны размерам единиц, воспроизводимых первичными эталонами, а погрешности измерений известны и не выходят за установленные пределы с заданной вероятностью.

Результат любого измерения заслуживает внимания лишь при условии, что он сопровождается оценкой погрешности измерения. В то же время важно не только уметь выполнить измерение и оценить погрешность результата, но и так спланировать и осуществить процедуру измерения, чтобы обеспечить требуемую точность или свести погрешность к минимуму.

Точность измерений — это качество измерений, отражающее близость их результатов к истинному значению измеряемой величины. Количественная оценка точности осуществляется с помощью погрешности измерений.

Погрешность измерения — отклонение результата измерения от истинного значения измеряемой величины. Уровень точности, к которому необходимо стремиться при выполнении измерений, должен определяться критериями технической и экономической целесообразности. Известно, что увеличение точности измерения вдвое удорожает само измерение в несколько раз. В то же время снижение точности измерения в производстве ниже необходимой приводит к появлению брака продукции.

С развитием науки, техники и новых технологий измерения охватывают новые ФВ, существенно расширяются диапазоны измерений в сторону измерения как сверхмалых, так и очень больших значений ФВ. Непрерывно повышаются требования к точности измерений. Например, развитие нанотехнологий (бесконтактная притирка, электронная литография и др.) позволяет получить размеры деталей с точностью до нескольких нанометров, что предъявляет соответствующие требования к качеству измерительной информации. Качество измерительной информации определяется уровнем метрологического обеспечения технологических процессов.

Метрологическое обеспечение — установление и применение научных и организационных основ, технических средств, правил и норм, необходимых для достижения единства и требуемой точности измерений. Метрологическое обеспечение осуществляется в соответствии с требованиями, установленными стандартами и другими обязательными к применению нормативно-техническими документами.

1.2. Государственная система обеспечения единства измерений

В России работы по обеспечению единства измерений регулируются Государственной системой обеспечения единства измерений (ГСИ). Назначение ГСИ состоит в обеспечении единства измерений в стране, т.е. управлении субъектами, нормами, средствами и видами деятельности в целях установления и применения научных, правовых, организационных и технических основ, правил, норм и средств, необходимых для достижения требуемого уровня единства измерений.

Основные положения ГСИ представлены в государственном нормативном документе ГОСТ Р 8.000—2000 «Государственная система обеспечения единства измерений. Основные положения». Там же сформулированы цель и задачи ГСИ.

Цель ГСИ заключается в создании общегосударственных правовых, нормативных, организационных, технических и экологических условий для решения задач по обеспечению единства измерений и представлении возможности всем субъектам деятельности оценивать правильность выполненных измерений и уровень их влияния на результаты деятельности, основанной на результатах измерений.

Для достижения поставленной цели ГСИ решает следующие задачи:

- разработка оптимальных принципов управления деятельностью по обеспечению единства измерений;
- организация и проведение фундаментальных научных исследований с целью создания более совершенных и точных методов и средств воспроизведения единиц ФВ и передачи их размеров;
- определение системы единиц ФВ и шкал измерений, допускаемых к применению;
- установление основных понятий метрологии, унификация их терминов и определений;
- введение экономически рациональной системы государственных эталонов;
- создание, утверждение, применение и совершенствование государственных эталонов;
- установление систем (по видам измерений) передачи размеров единиц ФВ от государственных эталонов средств измерений, применяемых в стране;
- создание и совершенствование вторичных и рабочих эталонов, комплектных поверочных установок и лабораторий;
- установление общих метрологических требований к эталонам, средствам измерений, методикам выполнения измерений, методикам поверки (калибровки) средств измерений и других требований, соблюдение которых является необходимым для обеспечения единства измерений;
- разработка и экспертиза разделов метрологического обеспечения федеральных и иных государственных программ, в том числе программ создания и развития производства оборонной техники;
- осуществление государственного метрологического контроля, в том числе поверка средств измерений; испытания с целью утверждения типа средства измерений; лицензирование деятельности юридических и физических лиц по изготовлению, ремонту, продаже и прокату средств измерений;
- осуществление государственного метрологического надзора за выпуском, состоянием и применением средств измерений; этало-

нами единиц ФВ; аттестованным методиками выполнения измерений; соблюдением метрологических правил и норм; количеством товаров, отчуждаемых при совершении торговых операций; количеством фасованных товаров в упаковках любого вида при их расфасовке и продаже;

- разработка принципов оптимизации материально-технической и кадровой базы органов Государственной метрологической службы (ГМС);
 - аттестация методик выполнения измерений;
 - калибровка и сертификация средств измерений, не входящих в сферы государственного метрологического контроля и надзора;
 - аккредитация метрологических служб и иных юридических или физических лиц по различным видам метрологической деятельности;
 - аккредитация поверочных, калибровочных, измерительных, испытательных и аналитических лабораторий, лабораторий неразрушающего и радиационного контроля в составе действующих в Российской Федерации систем аккредитации;
 - участие в работе международных организаций, деятельность которых связана с обеспечением единства измерений и подготовке к вступлению России во Всемирную торговую организацию (ВТО);
 - организация подготовки и подготовка персонала метрологов;
 - информационное обеспечение по вопросам обеспечения единства измерений;
 - совершенствование и развитие ГСИ.
- Государственная система обеспечения единства измерений состоит из трех подсистем: правовой, организационной и технической (рис. 1.1).
- Правовая подсистема ГСИ* — это комплекс взаимосвязанных законодательных и подзаконных актов, объединяемых общей целевой направленностью. Этот комплекс регламентирует:
- совокупность узаконенных единиц и шкал измерений;
 - терминологию в области метрологии;
 - воспроизведение и передачу размеров единиц величин и шкал измерений;
 - способы и формы представления результатов измерений и характеристик их погрешности;
 - методы оценивания погрешности и неопределенности измерений;
 - порядок разработки и аттестации методик выполнения измерений;

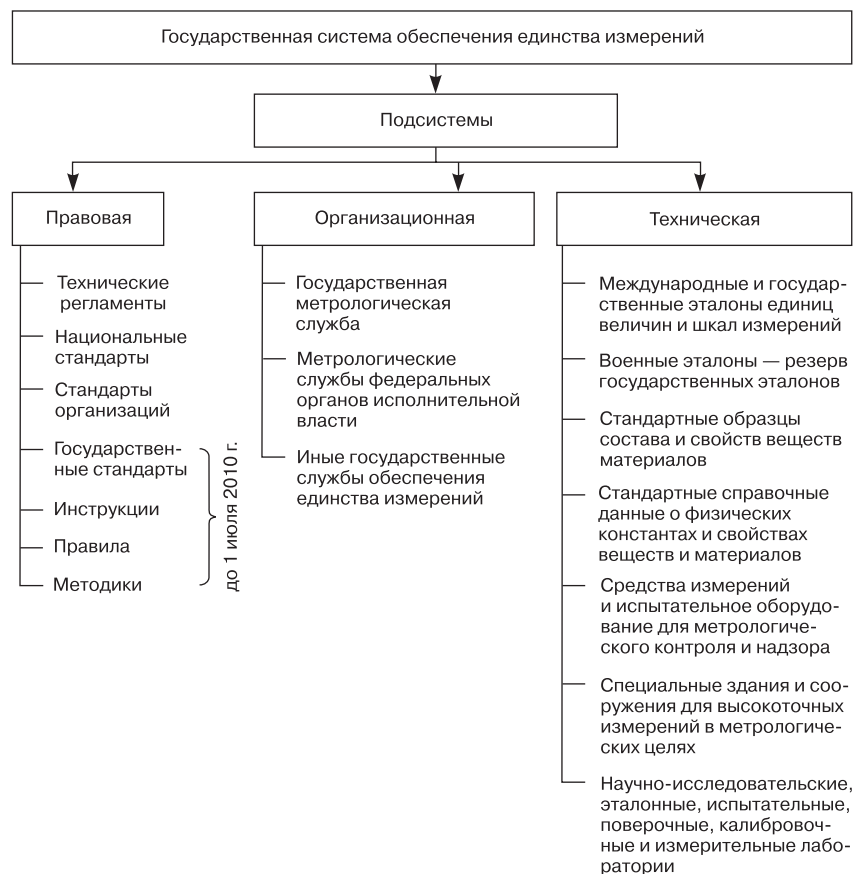


Рис. 1.1. Структура государственной системы обеспечения единства измерений

- комплексы нормируемых метрологических характеристик средств измерений;
- методы установления и корректировки межповерочных (рекомендуемых межкалибровочных) интервалов;
- порядок проведения испытаний в целях утверждения типа и сертификации средств измерений;
- порядок проведения поверки и калибровки средств измерений;
- порядок осуществления метрологического контроля и надзора;

- порядок лицензирования деятельности юридических и физических лиц по изготовлению, ремонту, продаже и прокату средств измерений;

- типовые задачи, права и обязанности метрологических служб федеральных органов исполнительной власти и юридических лиц;

- порядок аккредитации метрологических служб по различным направлениям метрологической деятельности;

- порядок аккредитации поверочных, калибровочных, измерительных, испытательных и аналитических лабораторий и лабораторий неразрушающего и радиационного контроля;

- термины и определения по видам измерений;

- государственные поверочные схемы;

- методики поверки (калибровки) средств измерений;

- методики выполнения измерений.

В соответствии с Федеральным законом от 27 декабря 2002 г. № 184-ФЗ «О техническом регулировании» нормативными документами в области обеспечения единства измерений являются технические регламенты, национальные стандарты и стандарты организаций (предприятий) (см. рис. 1.1).

Технические регламенты устанавливают обязательные требования к продукции, процессам производства и другим, измерительные процедуры которых подлежат государственному метрологическому контролю и надзору.

Национальные стандарты должны содержать рекомендации по обеспечению единства измерений, направленные на получение продукции, соответствующей современному международному уровню.

Стандарты организации — это правила по обеспечению единства измерений, утвержденные самой организацией.

В течение переходного периода (до 1 июля 2010 г.) продолжают действовать государственные стандарты, инструкции, правила, методики и другие нормативные документы, введенные в действие ранее.

Цели, задачи и функции метрологических служб, составляющих *организационную подсистему ГСИ*, представлены в подраздел 1.3.

Техническая подсистема ГСИ представляет собой комплекс средств материально-технического обеспечения ГСИ, включающий в себя эталонную базу страны, совокупности стандартных образцов состава и средств веществ стандартных справочных веществ и материалов, средства измерений и испытательное оборудование, необходимое для осуществления метрологического контроля и надзора и др. (см. рис. 1.1).

1.3. Метрологические службы Российской Федерации

Многие годы управление деятельностью по обеспечению единства измерений в России осуществлял Комитет Российской Федерации по стандартизации и метрологии (Госстандарт). Он был преобразован в Федеральную службу по техническому регулированию и метрологии в 2004 г., а затем — в Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии (Ростехрегулирование). При этом функции Госстандарта по принятию нормативных правовых актов в установленной сфере деятельности были переданы Министерству Российской Федерации по промышленности и энергетике (Минпромэнерго России). В настоящее время оно решает следующие вопросы [2]:

- выработка государственной политики и нормативно-правовое регулирование в сфере технического регулирования и обеспечения единства измерений;
- координация и контроль деятельности находящегося в его ведении Ростехрегулирования;
- представление Правительству РФ проектов федеральных законов, нормативно-правовых актов Президента РФ и Правительства РФ, а также других документов, по которым требуется решение Правительства РФ, по вопросам обеспечения единства измерений;
- принятие нормативных правовых актов, регламентирующих: правила создания, утверждения, хранения и применения эталонов единиц ФВ; метрологические правила и нормы; порядок разработки и аттестации методик выполнения измерений; перечни групп средств измерений, подлежащих поверке; порядок представления средств измерений на поверку и испытания, а также установления интервалов между поверками; порядок аккредитации на право выполнения калибровочных работ и выдачу сертификата о калибровке или нанесения калибровочного знака, требования к выполнению калибровочных работ;
- определение порядка проведения государственного метрологического надзора и другие вопросы в установленной сфере деятельности Минпромэнерго России и Ростехрегулирования.

Минпромэнерго России не вправе осуществлять в закрепленной за ним сфере деятельности функции по контролю и надзору, а также по управлению государственным имуществом, если последние не предоставлены специальным указом Президента РФ или постановлением Правительства РФ.

Ростехрегулирование действует на основании Положения «О Федеральном агентстве по техническому регулированию и мет-

рологии», утвержденного постановлением Правительства РФ от 17 июня 2004 г. № 294. К задачам Ростехрегулирования относятся:

- а) реализация функций национального органа по стандартизации;
- б) обеспечение единства измерений;
- в) выполнение работ по аккредитации органов сертификации и испытательных лабораторий (центров);
- г) осуществление государственного контроля (надзора) за соблюдением требований технических регламентов и обязательных требований стандартов;
- д) создание и ведение федерального информационного фонда технических регламентов и стандартов и единой информационной системы по техническому регулированию;
- е) осуществление организационно-методического руководства по ведению федеральной системы каталогизации продукции для федеральных государственных нужд;
- ж) организация проведения работ по учету случаев причинения вреда вследствие нарушения требований технических регламентов;
- з) организационно-методическое обеспечение проведения конкурса на соискание премий Правительства РФ в области качества и других конкурсов в области качества;
- и) оказание государственных услуг в сфере стандартизации, технического регулирования и метрологии.

Кроме того, Ростехрегулированию предоставлены полномочия, связанные: с лицензированием деятельности по изготовлению и ремонту средств измерений, государственным метрологическим контролем и надзором; контролем и надзором за соблюдением обязательных требований государственных стандартов и технических регламентов.

Ростехрегулирование осуществляет деятельность через свои территориальные органы и подведомственные организации [2], совокупность которых образует ГМС (рис. 1.2).

Территориальными органами ГМС являются межрегиональные территориальные управления (МТУ), осуществляющие контрольно-надзорные функции на закрепленной за ними территории. В соответствии с существующими федеральными округами создано семь МТУ: Центральное (Москва), Северо-Западное (Санкт-Петербург), Южное (Ростов-на-Дону), Приволжское (Нижний Новгород), Уральское (Екатеринбург), Сибирское (Новосибирск) и Дальневосточное (Хабаровск).

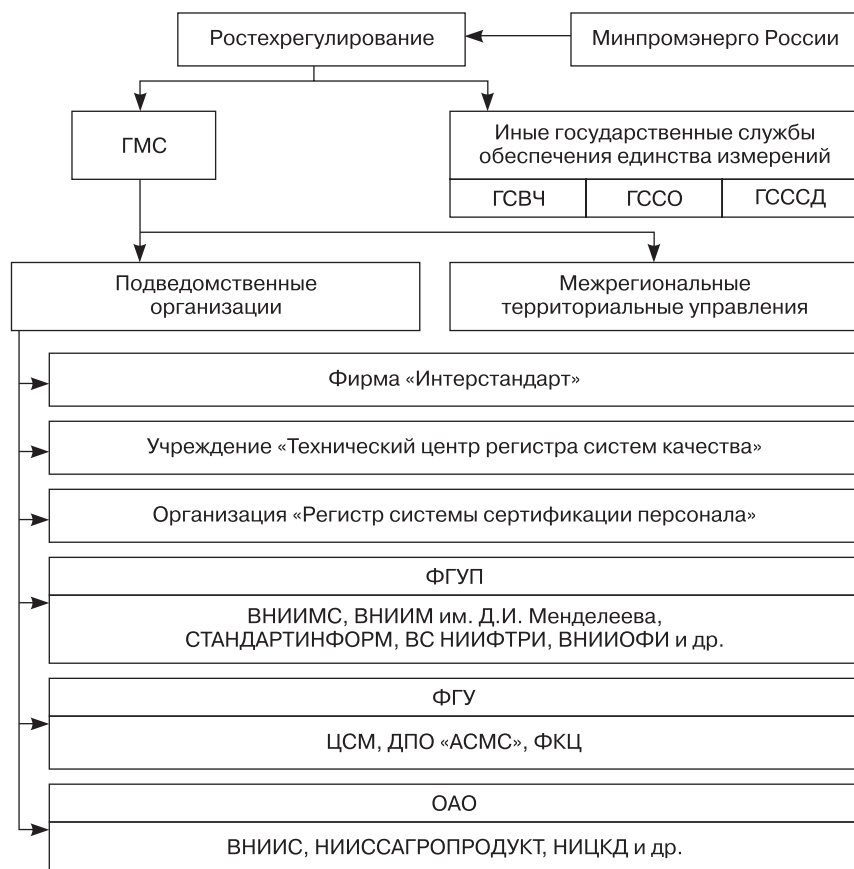


Рис. 1.2. Структура метрологических служб Российской Федерации

Межрегиональные территориальные управления Ростехрегулирования выполняют следующие функции:

- государственный метрологический надзор за выпуском, состоянием и применением средств измерений, аттестованными методиками выполнения измерений, эталонами единиц величин, соблюдением метрологических правил и норм;
- государственный метрологический надзор за количеством товаров, отчуждаемых при совершении торговых операций;
- государственный метрологический надзор за количеством фасованных товаров в упаковках любого вида при их расфасовке и продаже;

– государственный метрологический надзор на территории соответствующего федерального округа;

– контроль за соблюдением соискателями лицензий и лицензиатами лицензионных требований и условий, определенных Положением о лицензировании деятельности по изготовлению и ремонту средств измерений;

– государственный контроль (надзор) за соблюдением требований технических регламентов в пределах компетенции;

– до вступления в силу соответствующих технических регламентов государственный контроль (надзор) за соблюдением юридическими лицами и индивидуальными предпринимателями обязательных требований государственных стандартов в части, соответствующей целям защиты жизни или здоровья граждан, имущества физических или юридических лиц, государственного или муниципального имущества, охраны окружающей среды, жизни или здоровья животных и растений, предупреждения действий, вводящих в заблуждение приобретателей;

– в соответствии с законодательством Российской Федерации производство по делам об административных правонарушениях;

– применение предусмотренных законодательством Российской Федерации мер воздействия к юридическим лицам и индивидуальным предпринимателям за нарушение установленных требований;

– сбор и обработку информации о случаях причинения вреда вследствие нарушения требований технических регламентов, а также информирование приобретателей, изготовителей и продавцов по вопросам государственного контроля (надзора) за соблюдением требований технических регламентов;

– рассмотрение жалоб и обращений юридических лиц и граждан и принятие решений по вопросам, входящим в их компетенцию;

– информирование заинтересованных лиц по вопросам, связанным с осуществлением государственного контроля и надзора в области обеспечения единства измерений и технического регулирования;

– иные функции, предусмотренные законодательством Российской Федерации и относящиеся к их компетенции.

К организациям, подведомственным ГМС, относятся: консультационно-внедренческая группа «Интерстандарт», оказывающая услуги по обеспечению юридических и физических лиц нормативной документацией по стандартизации и сертификации; некоммерческое учреждение «Технический центр регистра систем качества»;

образовательная автономная некоммерческая организация «Регистр системы сертификации персонала»; федеральные государственные унитарные предприятия (ФГУП); федеральные государственные учреждения (ФГУ); открытые акционерные общества (ОАО).

Федеральные государственные унитарные предприятия представлены научно-метрологическими центрами, такими как ВНИИ метрологической службы (ВНИИМС), ВНИИ метрологии им. Д.И. Менделеева (ВНИИМ, Санкт-Петербург), Российским научно-техническим центром информации по стандартизации, метрологии и оценке соответствия (СТАНДАРТИНФОРМ), ВНИИ стандартизации и сертификации в машиностроении (ВНИИНМАШ, Москва), Центральным конструкторским бюро (ЦКБ) и другими (всего 18) научно-исследовательскими институтами, центрами, конструкторскими бюро и заводами. Эти центры занимаются не только фундаментальными и прикладными исследованиями в области измерений, но и являются держателями эталонов. Например, ВНИИМ им. Д.И. Менделеева специализируется на эталонах единиц длины, массы, а также теплофизических, магнитных величин и других величин. Восточно-Сибирский научно-исследовательский институт физико-технических и радиотехнических измерений (ВС НИИФТИ) и Всероссийский научно-исследовательский институт физико-технических и радиотехнических измерений (ВНИИФТРИ) занимаются эталонами единиц радиотехнических, магнитных и акустических величин, единиц времени, частоты, низких температур, твердости и др. Всероссийский научно-исследовательский институт оптико-физических измерений (ВНИИОФИ) специализируется на создании, совершенствовании и хранении единиц величин в области фотометрии, радиометрии, спектрорадио- и спектрофотометрии, колориметрии и т.д.

Федеральные государственные учреждения представлены в первую очередь Центрами стандартизации и метрологии (ЦСМ). Их назначение — выполнение на закрепленной территории (республике в составе Российской Федерации, крае, области) следующих функций:

- проверка средств измерений при выпуске их из производства и ремонта, при ввозе по импорту и эксплуатации;
- испытания средств измерений и игровых автоматов с целью утверждения типа;
- контроль за соответствием выпускаемых и применяемых средств измерений и игровых автоматов утвержденным типам;
- участие в аккредитации метрологических служб юридических лиц на право поверки средств измерений;

— сбор информации о количестве средств измерений, поверенных аккредитованными метрологическими службами юридических лиц на закрепленной территории;

— аттестация поверителей, работающих в аккредитованных на право поверки метрологических службах юридических лиц;

— участие в аккредитации метрологических служб юридических лиц на право проведения калибровочных работ, аттестации методик выполнения измерений и проведения метрологической экспертизы документов;

— оценка состояния измерений в испытательных и измерительных лабораториях на предприятиях закрепленной территории;

— сертификация и калибровка средств измерений, разработка и аттестация методик измерений, метрологическая экспертиза нормативных документов;

— первичная аттестация испытательного оборудования;

— анализ результатов работ по обеспечению единства измерений на закрепленной территории;

— изготовление эталонов и стандартных образцов;

— методическая помощь органам по сертификации и испытательным лабораториям, осуществляющим свою деятельность в системе сертификации ГОСТ Р;

— участие в аккредитации органов по сертификации и испытательных лабораторий и в их инспекционном контроле;

— исследования (испытания) и экспертная оценка продукции (товаров, работ, услуг);

— организация и проведение межлабораторных сравнительных испытаний продукции (товаров);

— формирование и ведение фонда нормативных документов по стандартизации, обеспечению единства измерений, оценке соответствия, аккредитации;

— учетная регистрация каталожных листов на товарную продукцию;

— распространение периодических изданий Ростехрегулирования;

— предоставление в установленном порядке информации полномочному представителю Президента РФ в соответствующем федеральном округе, Ростехрегулированию, соответствующему МТУ Ростехрегулирования, органам законодательной и исполнительной власти соответствующей территории;

— другие работы в соответствии с уставом.

Кроме того, к ФГУ относятся Государственное образовательное учреждение дополнительного профессионального образования

«Академия стандартизации метрологии и сертификации (ДПО «АСМС») и Федеральный центр каталогизации (ФЦК). Федеральное государственное учреждение ДПО «АСМС» занимается повышением квалификации, профессиональной переподготовкой специалистов по программам дополнительного профессионального образования в области технического регулирования, менеджмента качества, обеспечением единства измерений и др.

В состав подведомственных Ростехрегулированию организаций входят и 12 ОАО: Всероссийский научно-исследовательский институт сертификации (ВНИИС), научно-исследовательский институт стандартизации и сертификации агропромышленной продукции (НИИССАГРОПРОДУКТ), Научно-исследовательский центр контроля и диагностики технических систем (НИЦКД) и др.

Наряду с ГМС вопросами обеспечения единства измерений занимаются: Государственная служба времени, частоты и определения параметров вращения земли (ГСВЧ), Государственная служба стандартных образцов состава и свойств веществ и материалов (ГССО) и Государственная служба стандартных справочных данных о физических константах и свойствах веществ и материалов (ГСССД).

Кроме названных метрологических служб в организационную подсистему ГСИ входят метрологические службы федеральных органов исполнительной власти и юридических лиц, созданные и создаваемые в соответствии с ПР 50-732-93 «Правила по метрологии. Типовое положение о метрологической службе государственных органов управления Российской Федерации и юридических лиц», утвержденными постановлением Госстандарта России от 30 декабря 1993 г. № 295. Эти метрологические службы могут создаваться в министерствах, организациях, на предприятиях и в учреждениях, являющихся юридическими лицами.

Метрологическая служба юридического лица (МСЮЛ) представляет собой, как правило, обособленное структурное подразделение, руководимое главным метрологом и действующее на основе положения о нем. В положении должны содержаться информационные данные о юридическом лице, его структуре, задачах, обязанностях и правах. Структура и штаты МСЮЛ определяются руководителем юридического лица с учетом того, что работы по обеспечению единства измерений относятся к основным видам работ.

Основы деятельности МСЮЛ сформулированы в Законе РФ от 27 апреля 1993 г. № 4871-1 «Об обеспечении единства измере-

ний» (далее — Закон об обеспечении единства измерений) и других нормативных правовых актах. Главными задачами МСЮЛ являются:

- обеспечение единства и требуемой точности измерений, повышение уровня и развитие техники измерений;
- определение основных направлений деятельности и выполнение работ по метрологическому обеспечению исследований, разработки, производства, испытаний и эксплуатации продукции;
- внедрение современных методов и средств измерений, автоматизированного контрольно-измерительного оборудования, эталонов, развитие системы калибровки и т.п.;
- проведение постоянного метрологического контроля путем калибровки средств измерений и своевременного представления их на поверку;
- надзор за соблюдением метрологических правил и норм, состоянием и применением средств измерений, аттестованными методиками выполнения измерений, эталонами и т.д.

Для решения указанных задач МСЮЛ должны обладать определенными правами. К важнейшим из них следует отнести права:

- выдавать структурным подразделениям юридического лица обязательные предписания, направленные на предотвращение, прекращение или устранение нарушений метрологических правил и норм;
- вносить предложения руководителю юридического лица об отмене нормативных документов, приказов, распоряжений и указаний в области метрологического обеспечения, противоречащих федеральным метрологическим правилам и нормам;
- вносить предложения руководителю юридического лица по совершенствованию и обеспечению качества работ в области метрологического обеспечения;
- получать от других структурных подразделений юридического лица материалы, необходимые для проведения проверок в рамках метрологического контроля и надзора;
- другие права, соответствующие характеру выполняемых работ.

В обязанности МСЮЛ входит:

- анализ состояния измерений, контроля и испытаний;
- разработка планов совершенствования метрологического обеспечения;
- изучение потребности в средствах и методиках измерений, эталонах и подготовка предложений по их приобретению;
- участие в разработке и изготовлении средств измерений, методик выполнения измерений и т.д.;

- обеспечение соответствия применяемых средств измерений требуемым параметрам измерительного контроля;
- постоянное проведение метрологического контроля и надзора;
- подготовка и аттестация персонала;
- участие в проведении анализа претензий к качеству продукции и услуг с точки зрения метрологического обеспечения;
- взаимодействие с организациями Ростехрегулирования;
- другие обязанности, вытекающие из задач по обеспечению единства и требуемой точности измерений в рамках конкретного юридического лица.

Метрологические службы юридических лиц могут быть аккредитованы на право поверки и (или) калибровки средств измерений и техническую компетентность в осуществлении конкретных видов деятельности в области обеспечения единства и требуемой точности измерений.

1.4. Международные метрологические организации и обеспечение единства измерений в зарубежных странах

Роль и значение единства измерений в международных торгово-экономических и научно-технических связях являлись существенными всегда, а при современном уровне международного сотрудничества становятся еще более важными. История создания и развития международных метрологических организаций насчитывает более двух столетий [2, 17].

Крупнейшая и старейшая международная метрологическая организация — Международная организация мер и весов (МОМВ) — была создана в 1875 г. в связи с принятием Метрической конвенции, которая имела целью всемирное внедрение и совершенствование унифицированной системы единиц на основе метра и килограмма. В настоящее время главная задача МОМВ — обеспечение единства измерений на основе применения системы СИ. Структуру МОМВ образуют Генеральная конференция по мерам и весам (ГКМВ), Международный комитет по мерам и весам (МКМВ) и Международное бюро мер и весов (МБМВ).

Генеральная конференция по мерам и весам является высшим в мире органом по вопросам установления единиц величин и их определений, методов воспроизведения и эталонов. Конференция созывается не реже одного раза в четыре года в целях утверждения

программ научно-практической деятельности МБМВ и выборов МКМВ. Место проведения генеральных конференций — Париж.

Международный комитет по мерам и весам руководит работой МОМВ в промежутках между созывами генеральных конференций. В состав МКМВ избираются 18 членов из числа крупнейших ученых-метрологов. В свое время в состав МКМВ избирался Д.И. Менделеев. Основные задачи МКМВ состоят в реализации решений ГКМВ, проведении текущих исследований в области метрологии и подготовке материалов и решений к предстоящей генеральной конференции. Для этих целей в составе МКМВ действуют 10 консультативных комитетов: по системам единиц; определению метра, секунды, массы и сопутствующих величин; термометрии; электричеству и магнетизму; фотометрии и радиометрии; ионизирующим излучениям; количеству вещества и акустике. Работа в комитетах проводится учеными из крупнейших метрологических организаций различных стран. От России в работе комитетов принимают участие ВНИИМ и ВНИИФТИ. Основное направление деятельности МКМВ — расширение практики сличений национальных эталонов с целью установления их эквивалентности.

Международное бюро мер и весов — одна из старейших международных организаций, созданная в 1879 г. В то время МБМВ представляло собой первую международную метрологическую лабораторию, обеспечивавшую сохранность и эксплуатацию первых международных эталонов — килограмма и метра. Сегодня это многопрофильный научно-исследовательский институт, в котором на постоянной основе работают несколько десятков ученых из различных стран. Международное бюро мер и весов располагается в г. Севр неподалеку от Парижа. Руководит работой Бюро МКМВ. Основными задачами МБМВ являются координация деятельности метрологических организаций более 100 стран в области совершенствования систем единиц и эталонов, обеспечение их унификации и эквивалентности.

В связи с очевидной необходимостью разработки международной нормативно-правовой базы единства измерений 24 государства (включая СССР) в 1955 г. подписали межгосударственную Конвенцию, в соответствии с которой была создана межправительственная организация — Международная организация законодательной метрологии (МОЗМ). В настоящее время к Конвенции присоединились более 100 государств. Цель МОЗМ — унификация национальных метрологических правил и тем самым содействие глобализации экономики за счет устранения технических барьеров при реализации внешнеторговых, промышленных и научно-технических связей.

Международная организация законодательной метрологии имеет статус наблюдателя при Комитете по техническим барьерам в торговле ВТО. Основное направление в деятельности МОЗМ — обеспечение взаимного доверия к результатам измерений при контроле характеристик сырья, полуфабрикатов и готовых изделий путем установления единых требований законодательной метрологии к метрологическим характеристикам средств измерений, методикам выполнения измерений, единицам величин, показателям точности и др.; методам контроля и надзора за состоянием измерений; организации метрологических работ и т.д.

Высшим органом МОЗМ является Международная конференция законодательной метрологии, созываемая один раз в четыре года. В работе Конференции могут принимать участие представители не только стран — участниц Конвенции, но также неприсоединившихся стран и международных организаций, связанных с решением метрологических задач. Решения МОЗМ не являются обязательными, а носят характер рекомендаций. В частности, документ МД1 «Элементы закона по метрологии», принятый в октябре 2004 г., рекомендует основные унифицированные положения для разработки и принятия соответствующих национальных законов, в их числе семь видов государственного метрологического надзора.

Рекомендации МОЗМ принимаются в виде международных документов, предназначенных для рабочих органов МОЗМ, и международных рекомендаций, предназначенных для стран — членов Конвенции. Россию в МОЗМ представляет, в частности, Ростехрегулирование. Между конференциями руководство МОЗМ осуществляет ее исполнительный орган — Международный комитет законодательной метрологии (МКЗМ).

Из других международных метрологических организаций необходимо отметить Международную конференцию по измерительной технике и приборостроению (ИМЕКО) — неправительственную организацию, объединяющую научные и инженерные общества, занимающиеся вопросами измерений, более чем из 30 стран мира. Цель ИМЕКО заключается в содействии международному сотрудничеству и обмену научной и технической информацией. Высшим органом ИМЕКО является Генеральный совет, а исполнительным органом — секретариат (Будапешт). По отдельным направлениям метрологии ИМЕКО проводит работы в 17 технических комитетах.

В Центральной и Восточной Европе до 2000 г. действовала Организация сотрудничества государственных метрологических организаций стран Центральной и Восточной Европы (КООМЕТ).

Эта организация (штаб-квартира — Братислава) была образована в 1991 г. на базе Секции по метрологии СЭВ и в 2000 г. переименована в Евро-Азиатское сотрудничество государственных метрологических учреждений. В настоящее время КООМЕТ насчитывает 14 стран-участниц и осуществляет их сотрудничество по всем вопросам метрологии под эгидой МБМВ. Цель сотрудничества — содействие развитию национальных экономик и устранению технических барьеров в международной торговле путем гармонизации национальных метрологических правил и норм, взаимного признания национальных эталонов и результатов испытаний, поверки и калибровки средств измерений и др. Основные направления работ реализуются в четырех структурных органах: Объединенном комитете по эталонам (руководство — Россия); Техническом комитете по законодательной метрологии (руководство — Германия); Форуме качества (руководство — Словакия) и Техническом комитете по информации и обучению (руководство — Беларусь).

В странах Западной Европы в 1987 г. создана Европейская метрологическая организация (ЕВРОМЕТ), которая объединяет страны — члены Европейского Союза (ЕС). Основная задача ЕВРОМЕТ — организация сотрудничества и объединение усилий стран-участниц по созданию, совершенствованию и обеспечению эквивалентности эталонной базы.

Западно-Европейское объединение по законодательной метрологии (ВЕЛМЕТ) создано с целью координации деятельности национальных метрологических служб в области законодательной метрологии для устранения препятствий в торговле в рамках ЕС в 1989 г. и объединяет 15 стран.

Между странами — членами Содружества Независимых государств (СНГ) действует Межправительственное соглашение о проведении взаимосогласованной политики в области стандартизации, метрологии и сертификации, в соответствии с которым единство измерений обеспечивается на основе эталонной базы бывшего СССР. Соглашение обеспечивает взаимное признание результатов испытаний средств измерений, поверки и калибровки. Координация работ в рамках Соглашения осуществляется Межгосударственной научно-технической комиссией.

Задачи обеспечения единства измерений решают также и некоторые другие международные метрологические организации.

В национальных рамках единство измерений, как правило, регулируется статьями конституций (Германия, США) или специальными законами (Великобритания, Франция). В целом задача

обеспечения единства измерений практически во всех странах рассматривается в качестве государственной функции, для чего создаются государственные научные институты и лаборатории.

1.5. Ответственность за нарушение метрологических правил и норм

Юридические и физические лица, а также органы государственного управления Российской Федерации в соответствии со ст. 25 Закона об обеспечении единства измерений могут быть привлечены к ответственности за нарушение правил и норм этого закона. В зависимости от характера и тяжести нарушений нормативных требований метрологии наступает административная, гражданско-правовая, уголовная или дисциплинарная ответственность. Основанием для применения санкций административного характера является акт проверки соблюдения метрологических правил и норм органами ГМС и государственными инспекторами по надзору МТУ или протокол об административном правонарушении.

Органы ГМС при проведении инспекционных проверок вправе: гасить поверительные клейма или аннулировать свидетельства о поверке; направлять предложения об аннулировании лицензии на право изготовления, ремонта, продажи и проката средств измерений.

Государственные инспекторы по надзору МТУ: выдают все виды предписаний (постановления, представления, решения); составляют протокол об административном нарушении и направляют документы в суд для наложения административных санкций (как правило, штрафов) в соответствии со ст. 19.5 и 19.19, ч. 3 Кодекса Российской Федерации об административных нарушениях (КоАП России).

Статья 19.5 КоАП России «Невыполнение в срок законного предписания органа (должностного лица), осуществляющего государственный надзор (контроль)», предусматривает наложение административного штрафа, размер которого определен для граждан, должностных и юридических лиц.

Часть 3 ст. 19.19 КоАП России предусматривает наложение административного штрафа на должностных и юридических лиц: за нарушение правил поверки средств измерений; требований аттестованных методик выполнения измерений, требований к состоянию эталонов, установленных единиц величин или метрологических правил и норм в торговле; выпуск, продажу, прокат или применение средств измерений, типы которых не утверждены, или применение неуполномоченных средств измерений.

Гражданско-правовая ответственность наступает в ситуациях, когда в результате нарушений метрологических правил и норм юридическим или физическим лицам причинен имущественный или иной ущерб. Причиненный ущерб подлежит возмещению по иску потерпевшего на основании соответствующих актов гражданского законодательства.

К уголовной ответственности нарушители метрологических требований привлекаются в тех случаях, когда имеются признаки состава преступления, предусмотренные Уголовным кодексом Российской Федерации.

Дисциплинарная ответственность за нарушение метрологических правил и норм определяется решением администрации (организации) на основании Трудового кодекса Российской Федерации.

1.6. Государственный метрологический контроль и надзор

Виды и сферы распространения государственного контроля и надзора за состоянием и применением средств измерений (государственного метрологического контроля и надзора) установлены Законом об обеспечении единства измерений. В соответствии с этим Законом государственному контролю и надзору подлежат средства измерений, используемые в жизненно важных для государства сферах деятельности. К таким сферам деятельности относятся:

- здравоохранение, ветеринария, охрана окружающей среды, обеспечение безопасности труда;
- торговые операции и взаимные расчеты между покупателем и продавцом;
- государственные учетные операции;
- оборона государства;
- геодезические и гидрометеорологические работы;
- банковские, налоговые, таможенные и почтовые организации;
- производство продукции, поставляемой по контрактам для государственных нужд в соответствии с законодательством Российской Федерации;
- испытания и контроль качества продукции в целях определения соответствия обязательным требованиям;
- измерения, проводимые по поручению органов суда, государственных органов управления Российской Федерации;
- регистрация национальных и международных спортивных результатов.

В остальных сферах экономики (в основном производственных) предприятиям предоставлена большая самостоятельность: они проводят работы по обеспечению единства измерений самостоятельно, а государство лишь контролирует их организацию и качество.

Государственный метрологический контроль включает в себя: утверждение типа средств измерений; поверку средств измерений, в том числе эталонов; лицензирование деятельности юридических и физических лиц по изготовлению, ремонту, продаже и прокату средств измерений.

Утверждение типа средств измерений проводится в целях обеспечения единства измерений в стране путем производства и выпуска в обращение средств измерений, соответствующих требованиям, установленным в нормативных документах. Порядок проведения испытаний средств измерений и утверждения их типа регламентированы ПР 50.2.009-94.

Утверждение типа средств измерений осуществляется для новых марок (типов) средств измерений, выпускаемых предприятиями или ввозимых по импорту, и включает в себя:

- испытания средств измерений для целей утверждения типа;
- принятие решения об утверждении типа, его государственную регистрацию и выдачу сертификата об утверждении типа;
- испытания средств измерений на соответствие утвержденному типу при контроле их соответствия утвержденному типу;
- признание утверждения типа или результатов испытаний типа средств измерений, проведенных компетентными организациями зарубежных стран;
- информационное обслуживание потребителей средств измерений.

Решение об утверждении типа средств измерений принимает Ростехрегулирование по результатам испытаний и удостоверяет его сертификатом с установленным сроком действия. Утвержденный тип регистрируется в Государственном реестре средств измерений. Информация об утверждении типа и решение об его отмене публикуют в официальных изданиях Ростехрегулирования.

Процедуре утверждения типа подвергают типовые представители средств измерений. Соответствие средства измерений утвержденному типу на территории Российской Федерации контролируют органы ГМС по месту расположения изготовителя или потребителя.

Испытания на соответствие утвержденному типу проводят: при наличии информации от потребителей об ухудшении качества выпускаемых или импортируемых средств измерений; внесении в кон-

струкцию средств измерений или технологию их изготовления изменений, влияющих на нормированные метрологические характеристики; истечении срока действия сертификата об утверждении типа.

Поверку средств измерений, подлежащих государственному контролю, осуществляют органы государственного метрологического контроля при выпуске из производства или ремонта, при ввозе по импорту и при эксплуатации. Поверке подлежит каждый экземпляр средств измерений. Порядок проведения поверки регламентируют ПР 50.2.006-94 «Виды и методы поверки, правила оформления и аннулирования результатов поверки», приведен в подразд. 3.3.

Лицензирование деятельности юридических и физических лиц по изготовлению, ремонту, продаже и прокату средств измерений осуществляется органами ГМС. Лицензия выдается на срок не более пяти лет и действительна на всей территории Российской Федерации. Лицензия на право изготовления средств измерений выдается на срок действия сертификата об утверждении их типа.

Основанием для выдачи юридическому или физическому лицу лицензии являются: заявление указанного лица на осуществление лицензируемой деятельности; положительные результаты проверки органом ГМС условий осуществления лицензируемой деятельности на их соответствие требованиям нормативных документов по обеспечению единства измерений.

Контроль за соблюдением условий осуществления лицензируемой деятельности выполняет орган ГМС, выдавший лицензию.

Государственный метрологический надзор проводится: за выпуском, составлением и применением средств измерений, аттестованными методиками выполнения измерений, эталонами единиц времени, соблюдением метрологических правил и норм на предприятиях; количеством товаров, отчуждаемых при совершении торговых операций; количеством фасованных товаров в упаковках любого вида при их расфасовке и продаже. Государственный метрологический надзор осуществляют органы ГМС в соответствии с указанными далее правилами.

Инспекторы органа ГМС, в функции которого входит первый вид надзора, в соответствии с ПР 50.2.002-94 проверяют:

- наличие и полноту перечня средств измерений, подлежащих государственному либо коммерческому надзору и контролю;
- соответствие состояния средств измерений и условий их эксплуатации установленным техническим требованиям;
- наличие сертификата об утверждении типа средств измерений;

— наличие поверительного клейма или свидетельства о поверке, а также соблюдение межповерочного интервала;

— наличие документов, подтверждающих аттестацию методик выполнения измерений;

— наличие лицензии на изготовление, ремонт, продажу и прокат средств измерений предприятием, занимающимся этими видами деятельности;

— наличие документа, подтверждающего право проведения поверки средств измерений силами метрологической службы юридического лица;

— наличие документов, подтверждающих органами ГМС аттестацию лиц, осуществляющих поверку средств измерений, в качестве поверителей;

— правильность хранения и применения эталонов, используемых для поверки средств измерений в соответствии с нормативными документами.

Порядок осуществления государственного метрологического надзора за количеством товаров, отчуждаемых (переходящих из собственности одного юридического или физического лица — продавца, в собственность другого юридического или физического лица — покупателя) при совершении торговых операций определяют ПР 50.2.002-94. Рассматриваемый вид надзора осуществляется в основном в виде контрольной покупки.

Нарушением метрологических правил и норм считаются: отчуждение меньшего количества товара по сравнению с заявленным для продажи (обмер, обвес); отчуждение меньшего количества товара, чем то, которое соответствует заплаченной денежной сумме (обсчет).

Государственный метрологический надзор за количеством товаров может производиться и с целью проверки состояния средств измерений, контроля за правильностью выполненных измерений. В этом случае нарушениями метрологических правил и норм также считается использование средств измерений, не соответствующих типу, неупакованных, с нарушенным клеймом, дающих неправильные показания.

ПР 50.2.002-94 устанавливают также порядок государственного метрологического надзора за количеством фасованных товаров в упаковках любого вида при их расфасовке и продаже (фасованные товары в упаковках — упакованные товары с указанием на упаковке их количества, которое не может быть изменено без вскрытия или повреждения упаковки).

Объектом надзора являются не только индивидуальные упаковки товара, но и партии фасованных товаров, имеющих одно и то же номинальное количество, один и тот же вид упаковки, расфасованные одним и тем же юридическим лицом.

Контрольные вопросы

1. Что является источником количественной информации о том или ином показателе качества изделия?
2. Какие древние единицы физических величин вы знаете?
3. Когда и где была разработана метрическая система мер?
4. В каком году была принята международная система единиц — система СИ?
5. Что такое измерение, точность измерения, погрешность измерения, метрологическое обеспечение, единство измерений?
6. Каковы назначение, основная цель и задачи ГСИ?
7. Из каких подсистем состоит ГСИ?
8. Какие правовые документы составляют правовую подсистему ГСИ?
9. Приемником какого Комитета Российской Федерации является Ростехрегулирование?
10. Какие вопросы обеспечения единства измерений решает Минпромэнерго России?
11. Каковы задачи Ростехрегулирования?
12. Какие межрегиональные территориальные управления, осуществляющие контрольно-надзорные функции, вы знаете и каковы их функции?
13. Какие организации, подведомственные ГМС, вы знаете?
14. Какие государственные службы находятся в ведении Ростехрегулирования?
15. Что такое МСЮЛ и каковы ее функции?
16. Какие международные метрологические организации вам известны?
17. Какова юридическая ответственность за нарушение нормативных требований по метрологии?
18. Какие сферы деятельности подлежат государственному контролю и надзору?
19. Какую деятельность осуществляет метрологический контроль?

20. С какой целью проводят утверждение типа средств измерений?
21. В каких случаях проводят испытания средств измерений на соответствие утвержденному типу?
22. В каких случаях органы ГМС проводят поверку средств измерений?
23. Каковы объекты государственного метрологического надзора?

ЕДИНИЦЫ И СИСТЕМЫ ЕДИНИЦ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

2.1. Физические величины

Множество окружающих человека физических объектов обладает различными качествами и свойствами. *Свойство* — это философская категория, выражающая такую сторону объекта (тела, процесса, явления), которая обуславливает его различие или общность с другими объектами (явлениями, процессами) и обнаруживается в его отношении к ним. Свойство характеризует объект на качественном уровне. Для количественного описания различных свойств объектов, процессов и физических тел вводится понятие величины. В метрологии в основном имеют дело с ФВ.

Под *физической величиной* понимают одно из свойств физического объекта (физической системы, явления или процесса), общее в качественном отношении для многих физических объектов, но в количественном отношении индивидуальное для каждого из них. Например, все детали обладают такими общими свойствами, как пространственные размеры, масса, твердость, но для каждой из них количественные характеристики этих свойств индивидуальны.

Совокупность ФВ, образованная в соответствии с принятыми принципами, когда одни величины принимают за независимые, а другие определяют как функции независимых величин, называется *системой физических величин*. Физическая величина, входящая в систему величин и условно принятая в качестве независимой от других величин этой системы, называется *основной*. *Производной* является ФВ, входящая в систему величин и определяемая через основные величины этой системы.

Формализованным отражением качественного различия ФВ выступает их *размерность*. В соответствии с международным стандартом ИСО 31/0 размерность ФВ обозначают символом *dim*, про-

исходящим от английского слова *dimension*, которое в зависимости от контекста может переводиться и как размер, и как размерность.

Размерность основных ФВ обозначают соответствующими заглавными буквами. Например, размерность длины l , массы m и времени t , входящих в большинство систем ФВ в качестве основных, следует обозначить $\dim l = L$, $\dim m = M$, $\dim t = T$.

При определении размерности производных величин руководствуются следующими правилами:

а) размерности правой и левой частей уравнения не могут не совпадать, так как сравниваться между собой могут только одинаковые свойства;

б) алгебра размерностей мультипликативна, т.е. состоит из одного единственного действия — умножения;

в) размерность произведения нескольких величин равна произведению их размерностей. Так, если зависимость между значениями величин Q , A , B , C имеет вид $Q = ABC$, то $\dim Q = \dim A \cdot \dim B \cdot \dim C$;

г) размерность частного от деления одной величины на другую равна отношению их размерностей, т.е. если $Q = A / B$, то $\dim Q = \dim A / \dim B$.

Размерность любой величины, возведенной в некоторую степень, равна ее размерности в той же степени. Так, если $Q = A^n$, то

$$\dim Q = \prod_1^n \dim A = \dim^n A.$$

Таким образом, всегда можно выразить размерность производной ФВ через размерности основных ФВ с помощью степенного одночлена:

$$\dim Q = L^\alpha M^\beta T^\gamma \dots, \quad (2.1)$$

где L, M, T, \dots — размерности соответствующих основных ФВ;

$\alpha, \beta, \gamma, \dots$ — показатели размерности.

Каждый из показателей размерности может быть положительным или отрицательным, целым или дробным числом, нулем. Если все показатели размерности равны нулю, то такая величина называется *безразмерной*. Она может быть *относительной*, определяемой как отношение одноименных величин (например, относительная диэлектрическая проницаемость), и *логарифмической*, определяемой как логарифм относительной величины (например, логарифм отношения мощностей или напряжений).

Теория размерности повсеместно применяется для перевода единиц из одной системы в другую, для оперативной проверки пра-

вильности формул и др. Формальное применение алгебры размерностей иногда позволяет определить неизвестную зависимость между ФВ.

В общем виде уравнение связи между числовыми значениями ФВ можно записать в виде

$$Q = K X^\alpha Y^\beta Z^\gamma \dots, \quad (2.2)$$

где K — коэффициент пропорциональности, зависящий от выбранной системы единиц.

Пример 2.1. Определить размерность мощности N по уравнению $N = Fl/t$, где F — действующая сила; l — длина плеча приложения силы; t — время приложения силы. Действующая сила определяется по уравнению $F = ma$, где m — масса; a — ускорение. Ускорение определяется по уравнению $a = \Delta V / \Delta t$, где ΔV — изменение скорости тела за время Δt .

1. Определим размерность ускорения, учитывая, что размерность скорости обозначается L/T , а времени — T :

$$\dim a = L/T^{-1}/T = LT^{-2}.$$

2. Найдем размерность действующей силы, учитывая, что размерность массы обозначается M :

$$\dim F = MLT^{-2}.$$

3. Подставляя в формулу мощности размерность силы, считаем размерность мощности

$$\dim N = MLT^{-2}L/T = ML^2T^{-3}.$$

Количественной характеристикой любого свойства ФВ служит размер, хотя не принято говорить «размер длины», «размер массы», «размер цены», «размер показателя качества». Говорят просто «длина», «масса», «цена», «показатель качества».

Размер физической величины — это количественная определенность ФВ, присущая конкретному материальному объекту, системе, явлению или процессу.

Размер ФВ следует отличать от *значения физической величины* — выражения размера ФВ в виде некоторого числа принятых для нее единиц. Например: 0,001 км; 1 м; 100 см; 1000 мм — четыре значения представления одного и того же размера.

Составная часть значения — *числовое значение физической величины*, т.е. отвлеченное число, входящее в значение величины. Оно показывает, на сколько единиц размер больше нуля или во сколько раз он больше размера, принятого за единицу измерения. Следовательно, значение ФВ выражается через размер единицы измерения $[Q]$ и числовое значение q следующим образом:

$$Q = q [Q]. \quad (2.3)$$

Это уравнение называют *основным уравнением измерения*. Суть простейшего измерения состоит в сравнении Q с размерами многозначной меры (см. подразд. 6.1) $q [Q]$. В результате сравнения получают:

$$q [Q] < Q < (q + 1) [Q].$$

Для количественного или качественного формирования представления о свойствах объекта используют *шкалы измерений* этих свойств. Следует различать два созвучных, но различных по содержанию понятия: «шкала измерений» и «шкала средства измерения», являющейся одной из метрологических характеристик средств измерений. Шкала измерения количественного свойства является шкалой ФВ.

Шкала физической величины — это упорядоченная совокупность значений ФВ, служащая исходной основой для измерений данной величины.

Построение шкал ФВ основано на логических отношениях, существующих между элементами множества различных проявлений свойства в конкретных объектах. Это отношения:

- эквивалентности, в которых свойства X у различных объектов A и B оказываются одинаковыми или неодинаковыми;
- порядка, в которых данные свойства X у различных объектов оказываются больше или меньше;
- аддитивности, когда одинаковые свойства различных объектов могут суммироваться.

Различают пять основных типов шкал [3, 16]: шкала наименований, шкала порядка (ранга), шкала интервалов (разностей), шкала отношений и абсолютная шкала.

Элементы (ступени) *шкалы наименований* характеризуются только соотношениями эквивалентности (совпадения, равенства, сходства) конкретных качественных проявлений свойств. Данные свойства нельзя считать ФВ, поэтому шкалы такого вида не являются шкалами ФВ. Это самый простой тип шкал, основанный на приписывании качественным свойствам объектов чисел, играющих роль имен.

Поскольку данные шкалы характеризуются только отношениями эквивалентности, то в них отсутствуют понятия нуля, «больше» или «меньше» и единицы измерения. Примером шкал наименований являются широко распространенные атласы цветов, предназначенные для идентификации цвета.

Элементы *шкалы порядка (ранга)* допускают логическую взаимосвязь элементов не только в виде отношений эквивалентности

(как у шкал наименований), но и отношений порядка по возрастанию или убыванию количественного проявления измеряемого свойства. Полученный при этом упорядоченный ряд называют *ранжированным*, а саму процедуру — *ранжированием*. Ранжированный ряд может дать ответ на вопросы типа «что больше (меньше)» или «что лучше (хуже)». Более подробную информацию — на сколько больше или меньше, во сколько раз лучше или хуже, шкала порядка дать не может.

Широкое распространение получили шкалы порядка с нанесенными на них реперными (от фр. *repere* — исходная точка) точками. К таким шкалам, например, относится шкала Мооса для определения твердости минералов, которая содержит 10 опорных (реперных) минералов с различными условными числами твердости: тальк — 1, гипс — 2, кальций — 3, флюорит — 4, апатит — 5, ортоклаз — 6, кварц — 7, топаз — 8, корунд — 9, алмаз — 10. Отнесение минерала к той или иной градации твердости осуществляется на основании эксперимента, который состоит в том, что испытуемый материал царапается опорным. Если после царапанья испытуемого минерала кварцем (7) на нем остается след, а после ортоклаза (6) — не остается, то твердость испытуемого материала составляет более 6, но менее 7. Более точного ответа в этом случае дать невозможно.

Шкала интервалов (разностей) допускает дополнительно к соотношениям эквивалентности и порядка суммирование интервалов (разностей) между различными количественными проявлениями свойства. Такая шкала состоит из одинаковых интервалов, имеет единицу измерения и произвольно выбранное начало — нулевую точку. К шкалам этого типа относится летосчисление по различным календарям, в которых за начало отсчета принято либо сотворение мира, либо Рождество Христово и т.д. Температурные шкалы Цельсия, Фаренгейта и Реомюра также являются шкалами интервалов.

На шкале интервалов определены действия сложения и вычитания интервалов. Действительно, по шкале времени интервалы можно суммировать или вычитать и сравнивать, во сколько раз один интервал больше другого, но складывать даты каких-либо событий бессмысленно.

Шкалу интервалов величины Q можно представить в виде уравнения $Q = Q_0 + q[Q]$, где q — числовое значение величины; Q_0 — начало отсчета шкалы; $[Q]$ — единица рассматриваемой величины. Такая шкала полностью определяется заданием начала отсчета Q_0 шкалы и единицы данной величины $[Q]$.

Шкалы отношений — шкалы, к множеству количественных проявлений которых применимы соотношения эквивалентности, порядка и аддитивности, а следовательно, операции вычитания, умножения и суммирования. В шкале отношений существует нулевое значение показателя свойства. С формальной точки зрения шкала отношений является шкалой интервалов с естественным началом отсчета. Примером служит шкала термодинамической температуры, где за начало отсчета принят абсолютный нуль, шкала длин. Любое измерение по шкале отношений заключается в сравнении неизвестного размера с известным и выражение первого через второй в кратном или дольном выражении.

Шкалы отношений — самые совершенные. Они описываются уравнением $Q = q[Q]$, где Q — ФВ, для которой строится шкала; $[Q]$ — ее единица измерения; q — числовое значение ФВ. Переход от одной шкалы отношений к другой происходит в соответствии с уравнением $q_2 = q_1 [Q_1] / [Q_2]$.

Под *абсолютными* понимают шкалы, обладающие всеми признаками шкал отношений, но дополнительно имеющие естественное однозначное определение единицы измерения и не зависящие от принятой системы единиц измерения. Такие шкалы соответствуют относительным величинам: коэффициенту усиления, ослабления и др. Для образования многих производных единиц в системе СИ используются безразмерные и счетные единицы абсолютных шкал.

Шкалы наименований и порядка называют *неметрическими (концептуальными)*, а шкалы интервалов и отношений — *метрическими (материальными)*. Абсолютные и метрические шкалы относятся к разряду *линейных*. Практическая реализация шкал измерений осуществляется путем стандартизации как самих шкал и единиц измерений, так и, в необходимых случаях, способов и условий их однозначного воспроизведения.

2.2. Международная система единиц физических величин

Первой системой единиц считается метрическая система, где, как отмечалось в главе 1, за единицу длины был принят метр, а за единицу веса (в то время не делали различий между понятиями «вес» и «масса») — килограмм. В метрической системе еще не было четкого подразделения единиц величин на основные и производные.

Понятие системы единиц как совокупности основных и производных впервые предложено немецким ученым К. Гауссом в 1832 г.

В качестве основных в этой системе были приняты: единица длины — миллиметр, единица массы — миллиграмм, единица времени — секунда. Эту систему единиц назвали *абсолютной*.

По предложению В. Томсона (Кельвина) в 1881 г. была принята система единиц ФВ СГС, основными единицами которой были: сантиметр — единица длины, грамм — единица массы, секунда — единица времени. Производными единицами системы считались: единица силы — килограмм-сила и единица работы — эрг. Неудобство системы СГС состоит в трудностях пересчета многих единиц в другие системы для определения их соотношения. Система СГС до сих пор используется в точных науках — физике и астрономии.

Итальянский ученый Дж. Джорджи в начале XX в. предложил еще одну систему единиц, получившую название МКСА (в русской транскрипции) и довольно широко распространившуюся в мире. Основные единицы этой системы: метр, килограмм, секунда, ампер (единица силы тока), а производные: единица силы — ньютон, единица энергии — джоуль, единица мощности — ватт.

В технике (механике, теплотехнике) широко использовалась техническая система единиц МКГСС. Основными ее единицами являются: единица длины — метр; единица силы — килограмм-сила и единица времени — секунда. Существенный недостаток технической системы состоит в том, что единица массы в этой системе не имеет простого десятичного соотношения с единицами массы других систем.

Появление большого количества систем единиц, использовавшихся в различных отраслях науки, позволили обобщить опыт их создания и применения и разработать обобщенную систему единиц.

Единая универсальная система единиц — Международная система единиц (System International) в Российской Федерации регламентирована ГОСТ 8.417–2002 «ГСИ. Единицы величин». Стандарт устанавливает основные единицы, дополнительные, производные, внесистемные, допускаемые к применению в специальных областях.

Система единиц СИ состоит из семи основных единиц, двух дополнительных (табл. 2.1) и необходимого комплекса производных единиц (табл. 2.2, 2.3) — по одной для каждой ФВ. Три из основных единиц (метр, килограмм и секунда) позволяют образовать производные единицы, имеющие механическую природу. Так, единицей силы является ньютон: $1 \text{ Н} = 1 \text{ кг} \cdot \text{м} \cdot \text{с}^{-2}$; единицей давления — паскаль: $1 \text{ Па} = 1 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-1} \cdot \text{с}^{-2}$ и т.д. Три других дают возможность образовывать производные единицы для величин, которые не

могут быть сведены к механическим явлениям: ампер — для электрических и магнитных величин, кельвин — для тепловых величин, кандела — для величин в области фотометрии.

Таблица 2.1

Основные и дополнительные единицы физических величин системы СИ

Величина			Единица		
наименование	размерность	рекомендуемое обозначение	наименование	русское обозначение	международное обозначение
<i>Основные</i>					
Длина	L	l	метр	м	m
Масса	M	m	килограмм	кг	kg
Время	T	t	секунда	с	s
Сила электрического тока	I	i	ампер	А	A
Термодинамическая температура	Q	T	кельвин	К	K
Количество вещества	N	n, ν	моль	моль	mol
Сила света	J	j	кандела	кд	cd
<i>Дополнительные</i>					
Плоский угол	—	—	радиан	рад	rad
Телесный угол	—	—	стерадиан	ср	sr

Таблица 2.2

Примеры производных единиц

Величина		Единица	
наименование	размерность	наименование	выражение через единицы СИ
Площадь	L^2	квадратный метр	m^2
Объем	L^3	кубический метр	m^3
Скорость	LT^{-1}	метр в секунду	$m \cdot c^{-1}$
Угловая скорость	T^{-1}	радиан в секунду	$rad \cdot c^{-1}$
Ускорение	$L T^{-2}$	метр на секунду в квадрате	$m \cdot c^{-2}$
Угловое ускорение	T^{-2}	радиан на секунду в квадрате	$rad \cdot c^{-2}$

Производные единицы системы СИ, имеющие специальное название

Величина		Единица		
наименование	размерность	наименование	обозначение	выражение через единицы СИ
Частота	T^{-1}	герц	Гц	c^{-1}
Сила, вес	LMT^{-2}	ньютон	Н	$m \cdot kg \cdot c^{-2}$
Давление, механическое напряжение	$L^{-1}MT^{-2}$	паскаль	Па	$m^{-1} \cdot kg \cdot c^{-2}$
Энергия, работа, количество теплоты	$L^2 M T^{-2}$	джоуль	Дж	$m^2 \cdot kg \cdot c^{-2}$
Мощность	$L^2 M T^{-3}$	ватт	Вт	$m^2 \cdot kg \cdot c^{-3}$
Количество электричества	$T I$	кулон	Кл	$c \cdot A$
Электрическое напряжение, электродвижущая сила	$L^2 M T^{-3} I^{-1}$	вольт	В	$m^2 \cdot kg \cdot c^{-3} \cdot A^{-1}$
Электрическая емкость	$L^{-2} M^{-1} T^4 I^2$	фарад	Ф	$m^{-2} \cdot kg^{-1} \cdot c^4 \cdot A^2$
Электрическое сопротивление	$L^2 M T^{-3} I^{-2}$	ом	Ом	$m^2 \cdot kg \cdot c^{-3} \cdot A^{-2}$
Электрическая проводимость	$L^2 M^1 T^3 I^2$	сименс	См	$m^2 \cdot kg^{-1} \cdot c^3 \cdot A^2$
Поток магнитной индукции	$L^2 M T^{-2} I^{-1}$	вебер	Вб	$m^2 \cdot kg \cdot c^{-2} \cdot A^{-1}$
Магнитная индукция	$M T^{-2} I^{-1}$	тесла	Тл	$kg \cdot c^{-2} \cdot A^{-1}$
Индуктивность	$L^2 M T^{-2} I^{-2}$	генри	Гн	$m^2 \cdot kg \cdot c^{-2} \cdot A^{-2}$
Световой поток	J	люмен	лм	$cd \cdot sr$
Освещенность	$L^{-2} J$	люкс	лк	$m^{-2} \cdot cd \cdot sr$
Активность радионуклида	T^{-1}	беккерель	Бк	c^{-1}
Поглощенная доза ионизирующего излучения	$L^2 T^{-2}$	грей	Гр	$m^2 \cdot c^{-2}$
Эквивалентная доза излучения	$L^2 T^{-2}$	зиверт	Зв	$m^2 \cdot c^{-2}$

Угловые единицы (радиан и стерадиан) введены в качестве дополнительных. Это связано с тем, что эти единицы не могут входить в число основных, так как это затруднило бы трактовку размерностей величин, связанных с вращением (дуги окружности, площади круга и т.д.). Считать дополнительные угловые единицы производными также нельзя, так как они не зависят от выбора ос-

новых единиц. Действительно, при любых единицах длины размеры радиана и стерадиана остаются неизменными.

Производная единица является *когерентной* (от лат. *cohaerentia* – связь, сцепление), если она связана с другими единицами системы уравнением, в котором числовой коэффициент принят равным 1 [см. уравнение 2.2]. Например, единица силы 1 Н образована по уравнению связи между единицами $F = ma$, где $m = 1$ кг, $a = 1$ м/с², и поэтому ньютон (1 Н = 1 кг · м/с²) – когерентная единица.

Система единиц, в которой все производные единицы когерентны, называется *когерентной системой единиц* ФВ [3, например системы единиц механических величин МКСА, СГС и СИ.

Система МКГСС является некогерентной с единицами электрических и магнитных величин.

Единицы ФВ делятся на системные и внесистемные. *Системная единица* – единица ФВ, входящая в одну из принятых систем. *Внесистемная единица* – это единица ФВ, не входящая ни в одну из принятых систем единиц. Внесистемные единицы по отношению к единицам СИ разделяются на четыре вида:

1) допускаемые наравне с единицами СИ (табл. 2.4), например единица массы – тонна; плоского угла – градус, минута, секунда; объема – литр и др.;

2) допускаемые к применению в специальных областях, например электрон-вольт – единица энергии в физике;

3) временно допускаемые к применению наравне с единицами СИ, например карат – единица массы в ювелирном деле и др.;

4) изъятые из употребления, например миллиметр ртутного столба – единица давления; лошадиная сила – единица мощности и др.

Таблица 2.4

Внесистемные единицы, допускаемые к применению наравне с единицами СИ

Наименование величины	Единица		
	наименование	обозначение	соотношение с единицей СИ
Масса	тонна	т	10 ³ кг
	атомная единица массы	а.е.м.	1,66057·10 ⁻²⁷ кг (приблизительно)
	минута	мин	60 с
Время	час	ч	3600 с
	сутки	сут	86400 с
	Плоский угол	градус	...°
минута		...′	($\pi/10\ 800$) = 2,908882...·10 ⁻⁴ рад

Наименование величины	Единица		
	наименование	обозначение	соотношение с единицей СИ
	секунда	...''	($\pi/648\ 000$) = 4,848137...·10 ⁻⁶ рад
	град	град	($\pi/200$) рад
Объем	литр	л	10 ⁻³ м ³
Длина	астрономическая единица	а.е.	1,45598·10 ¹¹ м (приблизительно)
	световой год	св. год	9,4605·10 ¹⁵ м (приблизительно)
	парсек	пк	3,0857·10 ¹⁶ м (приблизительно)
Оптическая сила	диоптрия	дптр	1 м ⁻¹
Площадь	гектар	га	10 ⁴ м ²
Энергия	электрон-вольт	эВ	1,45598·10 ¹¹ м (приблизительно)
Полная мощность	вольт-ампер	В А	–
Реактивная мощность	вар	вар	–

Различают кратные и дольные единицы ФВ (табл. 2.5). *Кратная единица* – это единица ФВ, в целое число раз превышающая системную или внесистемную единицу. Например, единица длины километр равна 10³ м, т.е. кратна метру. *Дольная единица* – единица ФВ, значение которой в целое число раз меньше системной или внесистемной единицы. Например, единица длины миллиметр равна 10⁻³ м, т.е. является дольной.

Таблица 2.5

Множители и приставки для образования десятичных кратных и дольных единиц и их наименований

Множитель	Приставка	Обозначение приставки		Множитель	Приставка	Обозначение приставки	
		международное	русское			международное	русское
10 ¹⁸	экса	<i>E</i>	Э	10 ⁻¹	деци	<i>d</i>	д
10 ¹⁵	пета	<i>P</i>	П	10 ⁻²	санتي	<i>c</i>	с
10 ¹²	тера	<i>T</i>	Т	10 ⁻³	милли	<i>m</i>	м
10 ⁹	гига	<i>G</i>	Г	10 ⁻⁶	микро	<i>μ</i>	мк
10 ⁶	мега	<i>M</i>	М	10 ⁻⁹	нано	<i>n</i>	н

Множитель	Приставка	Обозначение приставки		Множитель	Приставка	Обозначение приставки	
		международное	русское			международное	русское
10^3	кило	<i>k</i>	к	10^{-12}	пико	<i>p</i>	п
10^2	гекто	<i>h</i>	г	10^{-15}	фемто	<i>f</i>	ф
10^1	дека	<i>da</i>	да	10^{-18}	атто	<i>a</i>	а

2.3. Соотношения единиц СИ с единицами других систем и внесистемными единицами

Чтобы выразить производную единицу ФВ одной системы (*A*) в единицах другой системы (*B*), необходимо выполнить следующие действия [24]:

- выразить производную единицу системы *A* через ее основные единицы;
- входящие в данную производную единицу основные единицы системы *A* выразить в соответствующих единицах системы *B* (предполагается, что соотношение основных единиц системы *A* с однородными единицами системы *B* известно;
- в полученном выражении произвести алгебраические действия как с числами, так и наименованиями основных единиц системы *B*;
- если переводимая производная единица системы *A* выражается через другие производные единицы той же системы, соотношение которых с соответствующими единицами системы *B* известно, то выразить переводимую единицу через производные единицы этой же системы, а затем последние — через соответствующие единицы системы *B* и выполнить алгебраические действия.

Пример 2.2. Выразить единицу силы в системе МКГСС — килограмм-силу в ньютонах.

Известны опытные факты: а) тело массой 1 кг под действием силы 1 Н приобретает ускорение 1 м/с^2 ; б) то же тело под действием силы тяжести, равной 1 кгс, получает при свободном падении ускорение, равное $9,81 \text{ м/с}^2$.

Таким образом, ускорение, сообщаемое телу силой 1 кгс, в 9,81 раза больше ускорения, сообщаемого тому же телу силой 1 Н. Следовательно, сила 1 кгс в 9,81 раза больше силы 1 Н, т.е. $1 \text{ кгс} = 9,81 \text{ Н}$.

Пример 2.3. Выразить внесистемную единицу давления — техническую атмосферу (1 ат) в паскалях.

По определению $1 \text{ ат} = 1 \text{ кгс/см}^2$.

Выразив в правой части равенства килограмм-силу в ньютонах и сантиметр в метрах, получим: $1 \text{ ат} = 9,81 \text{ Н}/(10^{-2} \text{ м})^2 = 9,81 \text{ Н}/10^{-4} \text{ м}^2 = 9,81 \cdot 10^4 \text{ Н/м}^2$.

Однако $1 \text{ Па} = 1 \text{ Н/м}^2$, следовательно $1 \text{ ат} = 9,81 \cdot 10^4 \text{ Па}$.

Пример 2.4. Выразить внесистемную единицу мощности — лошадиную силу (л.с.) в ваттах.

По определению $1 \text{ л.с.} = 75 \text{ кгс} \cdot \text{м/с}$.

Выразив в правой части равенства килограмм-силу в ньютонах, получим:

$1 \text{ л.с.} = 75 \cdot 9,81 \text{ Н} \cdot \text{м/с} = 736 \text{ Н} \cdot \text{м/с} = 736 \text{ Дж/с}$.

Так как $1 \text{ Дж/с} = 1 \text{ Вт}$, то $1 \text{ л.с.} = 736 \text{ Вт}$.

2.4. Основные правила написания обозначений единиц

В соответствии с ГОСТ 8.417–2002 обозначение единиц ФВ осуществляют по следующим правилам.

1. При написании значений величин применяют обозначения единиц буквами или специальными знаками (... , ...', ..."), причем устанавливают два вида буквенных обозначений: международное (с использованием букв латинского или греческого алфавита) и русское (с использованием букв русского алфавита).

2. Обозначения единиц применяют только после числовых значений величин и помещают в строку с ними (без перевода на следующую строку). Буквенное обозначение единиц печатают прямым шрифтом и в обозначении единиц точку как знак сокращения не ставят, за исключением слов, которые входят в наименования единиц, но сами не являются наименованиями единиц. Например, а.е.м. (атомная единица массы). Между последней цифрой числового значения и обозначением единицы оставляют пробел. Например, следует писать 100 кВт ; $9,81 \text{ Н}$; 20°С . Исключение составляют надстрочные символы: правильно 90° и неправильно 90 ° .

3. В обозначениях сложных производных единиц буквенные обозначения единиц, входящих в произведение, отделяют точками на средней линии как знаками умножения. Не допускается использовать для этой цели символ « \times ». Например, правильная запись: $N \cdot m$, $\text{Н} \cdot \text{м}$; $A \cdot m^2$, $\text{А} \cdot \text{м}^2$; $Pa \cdot s$, $\text{Па} \cdot \text{с}$; неправильная: Nm , Нм ; Am^2 ; $\text{А} \times \text{м}^2$; Ам^2 ; Пас , Пас . Допускаются буквенные обозначения единиц, входящих в произведение, отделять пробелами, если это не вызывает

недоразумения. В буквенных обозначениях отношений единиц в качестве знака деления используют только одну косую или горизонтальную черту. При применении косой черты обозначения единиц в числителе и знаменателе помещают в строку, произведение обозначений единиц в знаменателе заключают в скобки, например Вт/(м · К).

4. При наличии десятичной дроби в числовом значении величины обозначение единицы помещают за всеми цифрами. Например, правильно: 423,06 *m*, 423,06 м, 5,758° или 5°45,48', 5°45'28,8", неправильно: 423 *m* 06, 423 м, 06, 5°758 или 5°45',48; 5°45'28",8.

5. При указании значений величин с предельными отклонениями числовые значения с предельными отклонениями заключают в скобки, а обозначения единиц помещают за скобками или проставляют обозначение единицы за числовым значением величины и ее предельным отклонением. Например, правильно: (100,0 ± 0,1) *kg*; (100,0 ± 0,1) кг; 50 *g* ± 1 *g*; 50 г ± 1 г; неправильно: 100,0 ± 0,1 *kg*; 100,0 ± 0,1 кг; 50 + 1 *g*; 50 + 1 г.

6. Допускается применять обозначения единиц в заголовках граф и наименованиях строк (боковиках) таблиц и выводов, а также в пояснениях обозначения единиц к формулам. Помещать обозначения единиц в одной строке с формулами, выражающими зависимости между величинами или между их числовыми значениями, представленными в буквенной форме, не допускается.

Например, правильная запись формулы плотности однородного тела:

$$\rho = m / V,$$

где ρ — плотность тела, кг/м³;
 m — масса тела, кг;
 V — объем тела, м³.

Неправильная запись

$$\rho = m / V \text{ кг/м}^3,$$

где m — масса тела, кг;
 V — объем тела, м³.

7. При указании производной единицы, состоящей из двух и более единиц, не допускается комбинирование буквенных обозначений и наименований единиц, т.е. для одних единиц указывать обозначения, а для других — наименования. Например, правильная запись результата измерения скорости — 80 км/ч или 80 километров в час, неправильная — 80 км/час или 80 км в час.

Контрольные вопросы

1. Что представляет собой физическая величина?
2. Как обозначается размерность ФВ?
3. Что такое размер ФВ?
4. Каково основное уравнение измерения?
5. Что такое шкала ФВ?
6. Какие основные типы шкал вы знаете? Приведите примеры использования шкал.
7. Что понимают под системой единиц ФВ?
8. Каковы основные единицы международной системы единиц ФВ?
9. Приведите примеры производных единиц международной системы единиц.
10. Что такое когерентная производная единица ФВ?
11. Какие внесистемные единицы допустимы к применению наравне с единицами системы СИ?

ВОСПРОИЗВЕДЕНИЕ ЕДИНИЦ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН И ПЕРЕДАЧА ИХ РАЗМЕРОВ

3.1. Понятие об эталонах физических величин

Для обеспечения единства измерений необходима тождественность единиц, в которых проградуированы все существующие средства измерений одной и той же величины. Это достигается путем точного воспроизведения и хранения в специализированных учреждениях установленных единиц ФВ и передачи их размеров применяемым средствам измерений.

Воспроизведение единицы физической величины — это совокупность операций по материализации единицы ФВ с наивысшей в стране точностью с помощью государственного первичного эталона.

Передача размера единицы — приведение размера единицы ФВ, хранимой поверяемым средством измерений, к размеру единицы, воспроизводимой или хранимой эталоном, осуществляемое при их поверке (калибровке). Размер единицы передается «сверху вниз» в соответствии с числом ступеней передачи, установленным поверяющей схемой.

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

Согласно ГОСТ 8.057–80 «ГСИ. Эталон единицы физических величин. Основные понятия», *эталон единицы физической величины* — 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.

Конструкция эталона, его свойства и способ воспроизведения единицы определяются природой данной ФВ и уровнем развития

измерительной техники в данной области измерений. Эталон должен обладать, по крайней мере, тремя тесно связанными друг с другом существенными признаками [17]: неизменностью, воспроизводимостью и сличаемостью.

Неизменность — свойство эталона удерживать неизменным размер воспроизводимой им единицы в течение длительного интервала времени.

Воспроизводимость — возможность воспроизведения единицы ФВ (на основе ее теоретического определения) с наименьшей погрешностью для существующего уровня развития измерительной техники. Это достигается путем постоянного исследования эталона в целях определения систематических погрешностей и их исключения путем введения соответствующих поправок.

Сличаемость — возможность сличения с эталоном других средств измерений, нижестоящих по поверочной схеме (см. подраздел 3.3), в первую очередь вторичных эталонов, с наивысшей точностью для существующей техники измерения.

Эталонную базу Российской Федерации составляет совокупность государственных первичных и вторичных эталонов (рис. 3.1), являющихся основой обеспечения единства измерения в стране.



Рис. 3.1. Классификация эталонов, составляющих эталонную базу страны

Первичный эталон обеспечивает воспроизведение единицы с наивысшей в стране (по сравнению с другими эталонами этой же единицы) точностью. Первичный эталон, признанный решением уполномоченного на то государственного органа в качестве исходного на территории государства, называется *государственным первичным эталоном*. В состав государственных эталонов включаются средства измерений, с помощью которых воспроизводят и (или) хранят единицу ФВ, контролируют условия измерений и неизменность воспроизводимого или хранимого размера единицы. С понятием государственный эталон совпадает понятие *национального эталона*. 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. Международные эталоны хранятся в Международном бюро мер и весов.

Первичные эталоны являются очень дорогим инструментом, нагрузка на которые не должна быть большой. Поэтому для проверки сохранности первичных эталонов и обеспечения передачи размеров единиц всем применяемым в стране средствам измерений используются вторичные эталоны.

Вторичный эталон получает размер единицы непосредственно от первичного эталона данной единицы. По метрологическому назначению вторичные эталоны делятся на эталоны-свидетели, эталоны сравнения, эталоны-копии и рабочие эталоны.

Эталон-свидетель предназначен для проверки сохранности и неизменности государственного первичного эталона и замены его в случае порчи или утраты. В настоящее время только эталон килограмма имеет эталон-свидетель. Его основное назначение — обеспечить возможность контроля постоянства основного эталона.

Эталон сравнения — вторичный эталон, применяемый для сличения эталонов, которые по тем или иным причинам не могут быть непосредственно сличаемы друг с другом. Примером эталона сравнения может служить нормальный элемент, используемый для сличения государственного эталона вольта с эталоном вольта Международного бюро мер и весов.

Эталон-копия — вторичный эталон, предназначенный для передачи размеров единиц рабочим эталонам. Эталон-копия представляет собой копию государственного эталона только по метрологическому назначению и не всегда является его физической копией.

Рабочий эталон позволяет передавать размер единицы рабочим средством измерений.

Это самые распространенные эталоны. С целью повышения точности измерений ФВ рабочие эталоны применяются во многих территориальных метрологических органах и лабораториях министерств и ведомств.

Рабочие эталоны при необходимости подразделяются на разряды 1, 2 и т.д., определяющие порядок их соподчинения в соответствии с поверочной схемой. Например, для воспроизведения длины в промышленности используются плоскопараллельные концевые меры длины, которые по результатам аттестации подразделяются на пять разрядов (см. подраздел 6.1).

Вторичные эталоны могут осуществляться в виде: комплекса средств измерений, одиночных эталонов, эталонных наборов и групповых эталонов.

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.

Эталонный набор состоит из совокупности средств измерений, позволяющих воспроизводить и (или) хранить единицу в диапазоне, представляющем объединение диапазонов указанных средств. Эталонные наборы создаются в тех случаях, когда необходимо охватить определенную область значений ФВ. Примером эталонного набора служат концевые меры длины.

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

Число эталонов не является постоянным, изменяется в зависимости от потребностей экономики страны. Обычно их число увеличивается во времени, что обусловлено постоянным развитием рабочих средств измерений.

3.2. Эталоны основных единиц системы СИ

Эталонная база России имеет в своем составе 114 государственных первичных и более 250 вторичных эталонов единиц ФВ [16]. Из них 52 находятся во ВНИИМ им. Д.И. Менделеева, в том числе эталоны метра, килограмма, ампера, кельвина и радиана; 25 — во ВНИИФТРИ, в том числе эталоны единиц времени и частоты.

Единица длины — метр. Как отмечалось ранее, при введении метрической системы за единицу длины — метр была принята одна десятимиллионная часть четверти Парижского меридиана. На основе произведенных измерений в 1799 г. был изготовлен эталон метра в виде платиновой концевой меры, переданный на хранение в Национальный архив Франции и получивший название «метр архива». Принятый эталон неоднократно уточнялся и в 1889 г. был принят эталон в виде штриховой меры из сплава платины и иридия. Он представлял собой брусок длиной 102 см, имеющий в поперечном сечении форму буквы X.

В настоящее время за государственный первичный эталон Российской Федерации для воспроизведения метра принято расстояние, проходимое светом в вакууме за $1/299\,792\,458$ долю секунды. Данное определение метра было законодательно закреплено в декабре 1985 г. после утверждения единых эталонов времени, частоты и длины.

Единица массы — килограмм. При становлении метрической системы в качестве единицы массы была принята масса 1 дм^3 дистиллированной воды при температуре около 4°C (при этой температуре вода имеет наибольшую плотность). На основе взвешивания массы воды с заданными параметрами был изготовлен первый прототип килограмма, представляющий собой платиново-иридиевую цилиндрическую гирю высотой и диаметром примерно 39 мм. Данное определение килограмма действует до сих пор.

Единица времени — секунда. Ранее секунда равнялась $1/86\,400$ части солнечных средних суток. Существующие в настоящее время эталоны времени основаны на способности атомов излучать и поглощать энергию во время перехода между двумя энергетическими состояниями в области радиочастот. На XIII ГКМВ в 1967 г. было принято новое определение секунды, позволяющее воспроизвести ее значение с более высокой точностью. Секунда равна интервалу времени, в течение которого совершается 9 192 631 770 колебаний, соответствующих резонансной частоте энергетического перехода между уровнями сверхтонкой структуры основного состояния атома цезия-133 при отсутствии возмущения внешними полями.

Диапазон значений интервалов времени, воспроизводимых эталоном, составляет $1\cdot 10^{-10} \dots 1\cdot 10^8$ с.

Единица силы электрического тока — ампер. Современный эталон ампера состоит из двух комплексов. В первом из них заложен принцип установления размера ампера через вольт и Ом с использованием квантовых эффектов Джозефсона и Холла, а в другом — через фараду, вольт и секунду с использованием методов электрометрии. Современный государственный эталон ампера имеет следующие воспроизводимые значения силы тока: $1\cdot 10^{-3}$ — посредством квантовых эффектов и $1\cdot 10^{-9}$ — при использовании методов электрометрии.

Единица температуры — кельвин. В настоящее время единицей термодинамической температуры служит кельвин, определяемый как $1/273,16$ часть тройной точки воды. Тройная точка воды, являющаяся точкой равновесия воды в твердой, жидкой и газообразной фазах, может быть воспроизведена в специальных сосудах с погрешностью не более $0,0002^\circ\text{C}$.

Размер единицы термодинамической температуры с 1990 г. определяется при помощи термодинамической практической шкалы МТШ-90.

Эталонным прибором, используемым в области температур от $13,81$ до $630,74^\circ\text{C}$, является платиновый термометр сопротивления. Для температур $630,75 \dots 1064,43^\circ\text{C}$ эталонным прибором выступает термомпара с электродами из платинородия — платины.

Единица количества вещества — моль. Количество вещества системы, содержащей столько же структурных элементов частиц, сколько атомов содержится в 12 г углерода-12, называется моль (1 моль углерода имеет массу 12 г, 1 моль кислорода — 32 г, а 1 моль воды — 18 г). Эталонов моля нет, так как моль — счетная единица и его масса для различных веществ различна. Численно моль равен числу Авогадро: $6,02214199(47)\cdot 10^{23}$ частиц. Средства измерения, отградуированные в молях, не выпускаются, однако моль в настоящее время широко применяется в химии для расчета количества вещества, участвующего в реакциях, в молекулярной физике для определения газовых параметров различных процессов и др.

Единица силы света — кандела. Первоначально эталоны единицы света представляли собой свечи, изготавливаемые из определенных материалов. На XVI ГКМВ в 1979 г. было принято определение: *кандела* — это сила света в заданном направлении источника, испускающего монохроматическое излучение частотой $540\cdot 10^{12}$ Гц,

энергетическая сила света которого в этом направлении составляет 1/683 Вт/ср.

Современный государственный эталон кандеры имеет диапазон номинальных значений от 30 до 110 кд. В качестве источника света с 1967 г. рассматривается излучение полного излучателя, представляющего собой модель абсолютно черного тела. В настоящее время модель абсолютно черного тела — это две коаксиальные трубки из карбида ниобия, нагреваемые в вакууме постоянным электрическим током до температуры 300 К.

Единица плоского угла — радиан. Радиан равен углу между двумя радиусами окружности, длина дуги между которыми равна радиусу. Эталон плоского угла основан на том, что сумма всех центральных смежных углов многогранной призмы составляет 2π радиан (360°). Государственный первичный эталон состоит из 36-гранной кварцевой призмы, эталонной угломерной установки и установки для поворота многогранной призмы.

Единица телесного угла — стерadian. Стерadian равен телесному углу с вершиной в центре сферы, вырезающему на поверхности сферы площадь, равную площади квадрата со стороной, равной по длине радиусу сферы.

Выбор радиана и стерadiana в качестве единиц международной системы нельзя признать удачным [15]. Радиан и стерadian применяются в основном для теоретических построений и расчетов, например стерadian используют в светотехнике, а с помощью радиана образованы единицы угловой скорости, углового ускорения и некоторых других величин. Для практических прямых измерений радиан и стерadian неудобны, так как большинство важных для практики значений углов выражаются иррациональными числами (полный угол — 2π , прямой $\pi/2$ и т.д.). В связи с этим на практике для измерения плоских углов пользуются **внесистемной единицей — градусом** и десятичными дольными от него единицами — минутой и секундой. В градусах, минутах и секундах градуировано большинство угловых приборов. Первичный государственный эталон единицы плоского угла — градуса состоит из комплекса следующих средств измерений: интерференционного экзаменатора для воспроизведения единицы градуса и передачи ее размера в области малых углов; угломерной автоколлимационной установки для передачи размера единицы градуса; 12-гранной кварцевой призмы для контроля стабильности эталона.

3.3. Поверка средств измерений и поверочные схемы

Поверке подвергаются средства измерений, используемые в сферах деятельности (см. подразд. 1.6), где государственный метрологический контроль и надзор являются обязательными.

Поверка средств измерений — это установление органом государственной метрологической службы (или другим официально уполномоченным органом, организацией) пригодности средств измерений к применению на основании экспериментально определяемых метрологических характеристик и подтверждения их соответствия установленным обязательным требованиям.

Поверка производится по установленным правилам, изложенным в ПР 50.2.006—99 «ГСИ. Порядок проведения поверки средств измерений». В правилах установлено, что поверку средств измерений осуществляют органы государственной метрологической службы, государственные научные метрологические центры, а также аккредитованные метрологические службы юридических лиц.

Аккредитованная метрологическая служба имеет право:

- проводить поверку средств измерений в рамках, определенных аттестатом аккредитации, выдавать свидетельство о поверке, ставить клеймо на поверенные средства измерений или гасить поверительные клейма;
- разрабатывать предложения по корректировке межповерочных интервалов;
- участвовать в разработке и корректировке нормативной документации, регламентирующей вопросы аккредитации.

В зависимости от целей и назначения результатов поверки средств измерений различают первичную, периодическую, внеочередную, инспекционную и экспертную поверку.

Первичная поверка выполняется при выпуске средств измерений из производства или после ремонта, а также при ввозе средств измерений из-за границы партиями, при продаже.

Периодическая поверка — поверка средств измерений, находящихся в эксплуатации или на хранении, выполняемая через установленные межповерочные интервалы времени. Межповерочные интервалы для периодической поверки устанавливаются нормативными документами по поверке в зависимости от стабильности того или иного средства измерений и продолжительностью от нескольких месяцев до нескольких лет. Необходимость поверки обусловлена возможностью утраты средством измерений метрологических показателей при эксплуатации или хранении.

Внеочередная поверка проводится до наступления срока очередной периодической поверки средства измерений. Необходимость внеочередной поверки может возникнуть вследствие разных причин: ухудшение метрологических свойств средств измерений или подозрение в этом, нарушение условий эксплуатации, нарушение поверительного клейма и др.

Инспекционная поверка осуществляется органом государственной метрологической службы при проведении государственного надзора за состоянием и применением средств измерений.

Экспертная поверка — поверка средств измерений, проводимая при возникновении спорных вопросов по метрологическим характеристикам, исправности средств измерений и пригодности их к использованию.

Результаты поверки средств измерений, признанных годными к применению, оформляют выдачей свидетельства о поверке, нанесением поверительного клейма или иными способами, установленными нормативными документами по поверке.

Если средство измерений признано непригодным к использованию, то свидетельство о поверке и поверительные клейма аннулируются и выписывается свидетельство о непригодности. Аннулированные клейма должны содержать рисунок крестообразной формы, указывающий на прекращение действия поверительного клейма, нанесенного на средство измерений или техническую документацию.

Погрешность определяется на основании сравнения показаний поверяемого средства измерений и более точного рабочего эталона.

Меры (см. подразд. 6.1) могут быть поверены путем:

— сличения с более точной мерой посредством компарирующего прибора (компаратора). Сличение мер с помощью компаратора осуществляется, как правило, методом замещения (см. подразд. 4.1);

— измерения воспроизводимой мерой величины измерительными приборами соответствующего класса точности. В этом случае поверка часто называется градуировкой мер, например градуировка мер твердости. Градуировка — нанесение отметок на шкалу, соответствующих показаниям образцового прибора или же определение по его показаниям уточненных значений величины, соответствующих нанесенным отметкам на шкале рабочего средства измерений.

— калибровки, когда с более точной мерой сличается лишь одна мера набора или одна из отметок шкалы многозначной меры, а действительные размеры других мер или значения воспроизводимых ими величин на других отметках шкалы определяются путем

их взаимного сравнения в различных сочетаниях на приборах сравнения и при дальнейшей обработке результатов измерений.

Поверка измерительных приборов осуществляется двумя методами:

1) методом измерения величин, воспроизводимых образцовыми мерами соответствующего разряда или класса точности, значения которых выбирают равными соответствующим (чаще всего всем оцифрованным) отметкам шкалы прибора. Наибольшая разность между результатами измерения и соответствующими им размерами мер является в этом случае основной погрешностью прибора;

2) методом сличения поверяемого и некоторого образцового прибора при измерении одной и той же величины. Разность их показаний при измерении различных значений измеряемой величины определяет погрешность поверяемого прибора.

Важным при поверке является выбор оптимального соотношения между допускаемыми погрешностями рабочего эталона (образцового средства измерений) и поверяемого средства измерений. Если при поверке вводят поправки для исключения систематической погрешности (см. подразд. 4.3) рабочего эталона, то это соотношение принимается равным 1:3 (исходя из критерия ничтожно малой погрешности). Если поправки не вводят, то рабочий эталон выбирают из соотношения 1:5.

Поверку средств измерений осуществляют в соответствии с поверочной схемой, устанавливающей систему передачи ФВ от государственного эталона рабочим средствам измерений.

Поверочная схема — это нормативный документ, устанавливающий соподчинение средств измерений, участвующих в передаче размера единицы от эталона рабочим средствам измерений с указанием методов и погрешностей при передаче.

Различают государственные и локальные поверочные схемы.

Государственная поверочная схема распространяется на все средства измерений данной ФВ, имеющиеся в стране. Она разрабатывается в виде государственного стандарта, состоящего из чертежа поверочной схемы и текстовой части, которая содержит пояснения к чертежу. Государственная поверочная схема служит основой для составления локальных поверочных схем и разработки государственных стандартов и методических указаний на методы и средства поверки образцовых и рабочих средств измерений.

Локальная поверочная схема распространяется на средства измерений данной ФВ, применяемые в регионе, отрасли, ведомстве или на отдельном предприятии (в организации). Такая схема утверж-

дается руководителем предприятия или организации, в которых используется данная поверочная схема. При этом она должна быть согласована с органами государственной метрологической службы, которые осуществляют для них поверку исходных эталонов, включенных в поверочную схему.

Структура государственной поверочной схемы приведена на рис. 3.2.

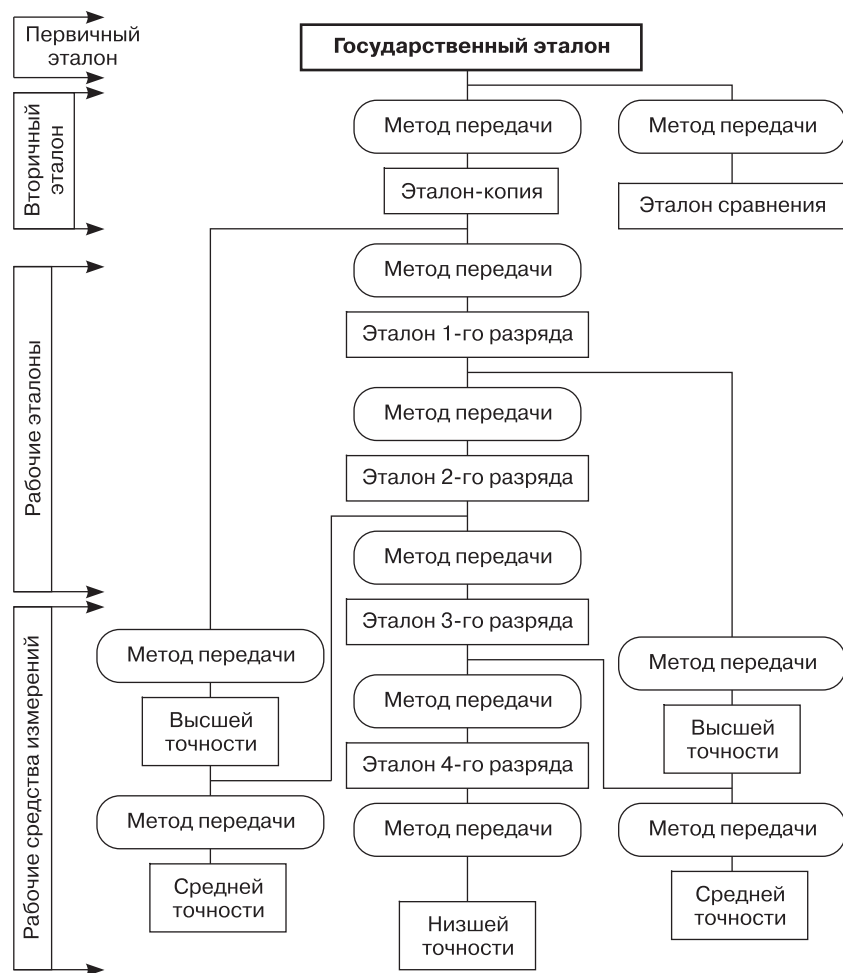


Рис. 3.2. Общий вид государственной поверочной схемы

Наименование эталонов и рабочих средств измерений расположены в прямоугольниках (для государственного эталона прямоугольник двухконтурный). Здесь же указаны метрологические характеристики для данной ступени схемы. В нижней части схемы расположены рабочие средства измерений, которые в зависимости от их точности (погрешности измерений) подразделяют на пять категорий: наивысшей, высшей, высокой, средней и низшей точности. Наивысшая точность обычно соизмерима с точностью государственного эталона. В каждой ступени поверочной схемы регламентируется метод передачи размера единицы. Наименования методов поверки расположены в овалах, в которых также указывается допустимая погрешность метода поверки.

Правила построения поверочных схем и оформления чертежей поверочных схем утверждены ГОСТ 8.061–80 «ГСИ. Поверочные схемы. Содержание и построение».

На рисунке 3.3 приведен пример локальной поверочной схемы для средств измерения длины микрометрическими инструментами и штангенинструментами.

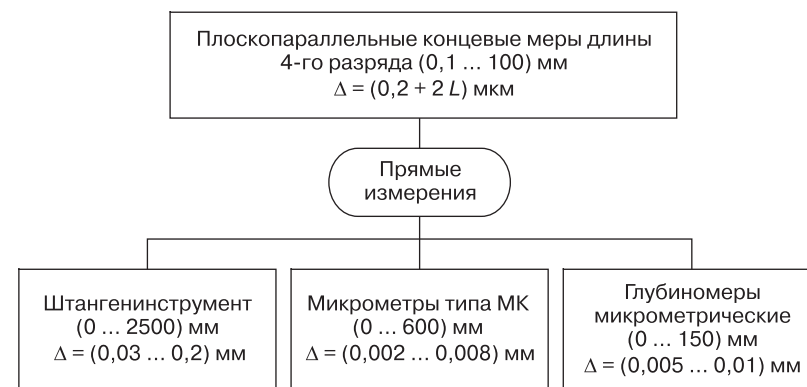


Рис. 3.3. Локальная поверочная схема для средств измерения длины: Δ — погрешность средства измерений; L — числовое значение длины, м

3.4. Калибровка средств измерений

В сферах деятельности, где государственный метрологический надзор и контроль не является обязательным, для обеспечения метрологической исправности средств измерений применяется калибровка.

Калибровка средств измерений — это совокупность операций, устанавливающих соотношение между значением величины, полученным с помощью данного средства измерений, и соответствующим значением величины, определенным с помощью эталона с целью оценки действительных метрологических характеристик этого средства измерений.

Результаты калибровки позволяют найти действительные значения измеряемой величины, показываемые средством измерений, или поправки к его показаниям, или оценить погрешность этих средств [2]. При калибровке могут быть определены и другие метрологические характеристики. Результаты калибровки средств измерений удостоверяются калибровочным знаком, наносимым на средство измерений, или свидетельством о калибровке, а также записью в эксплуатационных документах. *Свидетельство о калибровке* представляет собой документ, удостоверяющий факт и результаты калибровки средства измерений, который выдается организацией, осуществляющей калибровку.

Первое отличие калибровки от поверки — неустановленность ее исполнителя. Второе отличие состоит в том, что поверка должна дать однозначный ответ о соответствии или несоответствии средства измерений установленным требованиям, а калибровка предусматривает определение действительных значений метрологических характеристик и (или) пригодности средства измерений к применению. На основе результатов калибровки средство измерений может быть признано пригодным к применению в данном конкретном технологическом процессе, даже если его реальные метрологические характеристики вышли за допусковые значения, установленные при испытаниях.

Для проведения калибровочных работ создана *российская система калибровки (РСК)* — 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. Деятельность РСК регулируется правилами ПР 50.2.016—94 и ПР 50.2.017—95.

Основными направлениями деятельности РСК являются:

- регистрация органов, осуществляющих аккредитацию метрологических служб юридических лиц на право проведения калибровочных работ;

- аккредитация метрологических служб юридических лиц на право проведения калибровочных работ;
- калибровка средств измерений;
- установление основных принципов и правил РСК, организационное, методическое и информационное обеспечение его деятельности;
- инспекционный контроль за соблюдением аккредитованными метрологическими службами требований к проведению калибровочных работ.

Организационная структура РСК приведена на рис. 3.4.

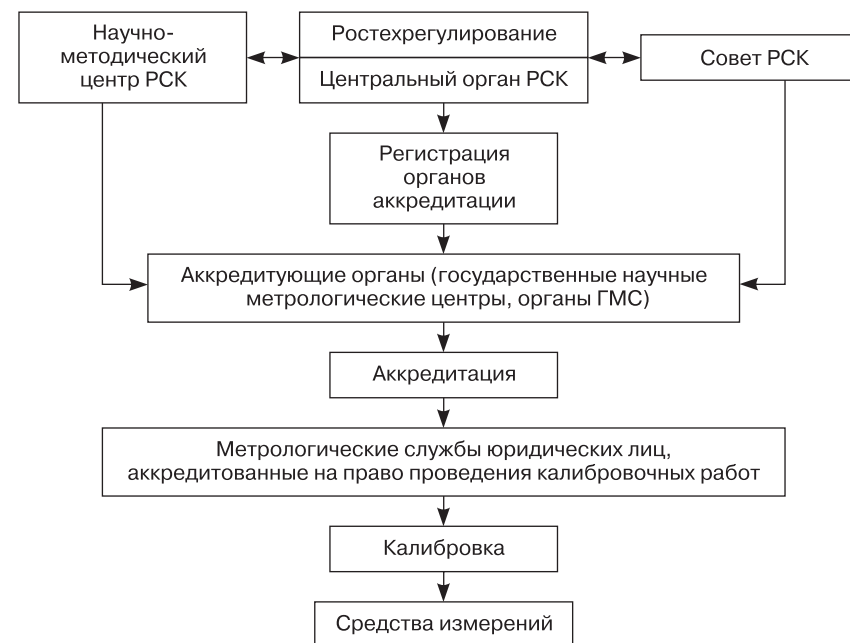


Рис. 3.4. Структура российской системы калибровки [8]

В состав РСК входят:

- метрологические службы юридических лиц, аккредитованные на право калибровки средств измерений с использованием эталонов, подчиненных государственному эталону единиц величин;
- государственные научные метрологические центры (метрологические институты Ростехрегулирования) и органы ГМС, зарегистрированные в РСК как аккредитующие органы, имеющие право

аккредитовывать метрологические службы юридических лиц на право калибровки средств измерений;

– Ростехрегулирование, которое является центральным органом РСК и координирует деятельность субъектов РСК;

– ВНИИ метрологической службы, осуществляющий функции по организационному, методическому и информационному обеспечению деятельности РСК;

– совещательный орган РСК – совет РСК, образованный Ростехрегулированием для формирования и обсуждения проектов решений центрального органа РСК по вопросам технической политики деятельности РСК.

Членами совета РСК могут быть руководители аккредитующих органов, руководители аккредитованных метрологических служб, представители отраслей народного хозяйства и предприятий, научно-исследовательских институтов и объединений, а также других заинтересованных в РСК обществ и объединений. Вся деятельность субъектов РСК осуществляется на договорной основе. Контроль выполнения требований, предъявляемых к аккредитованным метрологическим службам, осуществляет орган ГМС по месту расположения данной метрологической службы. Орган аккредитации также осуществляет внутренний аудит и периодические ревизии для проверки своего соответствия предъявляемым требованиям.

Организация, выполняющая калибровочные работы, должна иметь: поверенные и идентифицированные средства калибровки – эталоны, установки и другие средства измерений, применяемые при калибровке в соответствии с установленными правилами. Они призваны обеспечить передачу размера единиц от государственных эталонов калибруемым средствам измерений; актуализированные документы, регламентирующие организацию и проведение калибровочных работ. К ним относятся документ на область аккредитации, документация на средства измерений и калибровки, нормативные документы ГСИ на калибровку, процедуры калибровки и использования ее данных; профессионально подготовленный и квалифицированный персонал; помещения, удовлетворяющие нормативным требованиям.

Контрольные вопросы

1. В чем заключается воспроизведение единицы ФВ?
2. Что такое эталон единицы ФВ?
3. Какими признаками должен обладать эталон?

4. Какие основные виды эталонов вам известны?

5. Опишите государственные эталоны длины и массы.

6. Для чего предназначена поверочная схема?

7. Какие поверочные схемы различают?

8. Что такое поверка средств измерений?

9. Каковы основные способы и методы поверки?

10. Какие соотношения используют между допускаемыми погрешностями образцового (эталона) и поверяемого средства измерений?

11. Какие виды поверок вы знаете?

12. Что такое калибровка средств измерений?

13. В чем состоит отличие между поверкой и калибровкой средств измерений?

14. Каковы назначение, цель и задачи российской системы калибровки?

ИЗМЕРЕНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

4.1. Понятие об измерении и контроле

Количественная оценка состояния свойств различных технических систем и технологических процессов осуществляется путем измерения ФВ, характеризующих это состояние. На основании полученной измерительной информации делается заключение о качестве систем или процессов и принимается решение о дальнейшем их использовании.

Измерения основываются на ряде аксиом метрологии.

Первая аксиома метрологии: без априорной (от лат. *a priori* — независимо от опыта) информации измерение невозможно. Эта аксиома относится к ситуации перед измерением и свидетельствует о том, что если об интересующем нас свойстве мы ничего не знаем, то ничего и не узнаем. С другой стороны, если о нем известно все, то измерение не нужно. Таким образом, измерение обусловлено дефицитом количественной информации о том или ином свойстве объекта или явления и направлено на его уменьшение.

Вторая аксиома метрологии: измерение есть не что иное, как сравнение. Данная аксиома касается процедуры измерения и говорит о том, что нет иного экспериментального способа получения информации о каких бы то ни было свойствах, кроме как путем сравнения их между собой, о чем свидетельствует народная мудрость «все познается в сравнении».

Третья аксиома метрологии: результат измерения без округления является случайным. Эта аксиома относится к ситуации после измерения и отражает тот факт, что на результат реальной измерительной процедуры всегда оказывает влияние множество разнообразных, в том числе случайных факторов, точный учет которых в принципе невозможен, а окончательный итог непредсказуем. Вслед-

ствие этого, как показывает практика, при повторных измерениях одного и того же постоянного размера либо при одновременном измерении его разными лицами, разными методами и средствами получаются неодинаковые результаты, если только не производить их округления.

Измерение физической величины — это совокупность операций по применению технического средства, хранящего единицу ФВ, обеспечивающих нахождение соотношения (в явном или неявном виде) измеряемой величины с ее единицей и получение значения этой величины.

В простейшем случае, прикладывая масштабную линейку с делениями к какой-либо детали, по сути, сравнивают ее размер с единицей, хранимой этой линейкой, и, произведя отсчет, получают значение величины (длины, высоты, толщины и других параметров детали). С помощью измерительного прибора сравнивают размер величины, преобразованной в перемещение указателя, с единицей, хранимой шкалой этого прибора, и проводят отсчет.

Измерения как экспериментальные процедуры, весьма разнообразны и классифицируются по разным признакам (рис. 4.1). Целесообразность классификации измерений обусловлена удобством при разработке методик выполнения измерений и обработки результатов.

В зависимости от метрологического назначения измерения подразделяют на технические и метрологические. *Технические измерения* проводятся рабочими средствами измерений, как правило, в производственных условиях. *Метрологические измерения* выполняются при помощи эталонов с целью воспроизведения единиц ФВ для передачи их размера рабочим средствам измерений, например измерения при поверке.

По характеру зависимости измеряемой величины от времени измерения делятся на статические и динамические. Целью данной классификации является возможность принятия решения о том, нужно ли при конкретных измерениях учитывать скорость изменения измеряемой величины.

К *статическим измерениям* относятся измерения ФВ, принимаемой в соответствии с конкретной измерительной задачей за неизменную на протяжении времени измерения.

Динамические измерения — это измерения изменяющейся по размеру ФВ. Примером динамических измерений является измерение термпарой температуры печи при закалке детали с фиксацией результатов по шкале самописца.

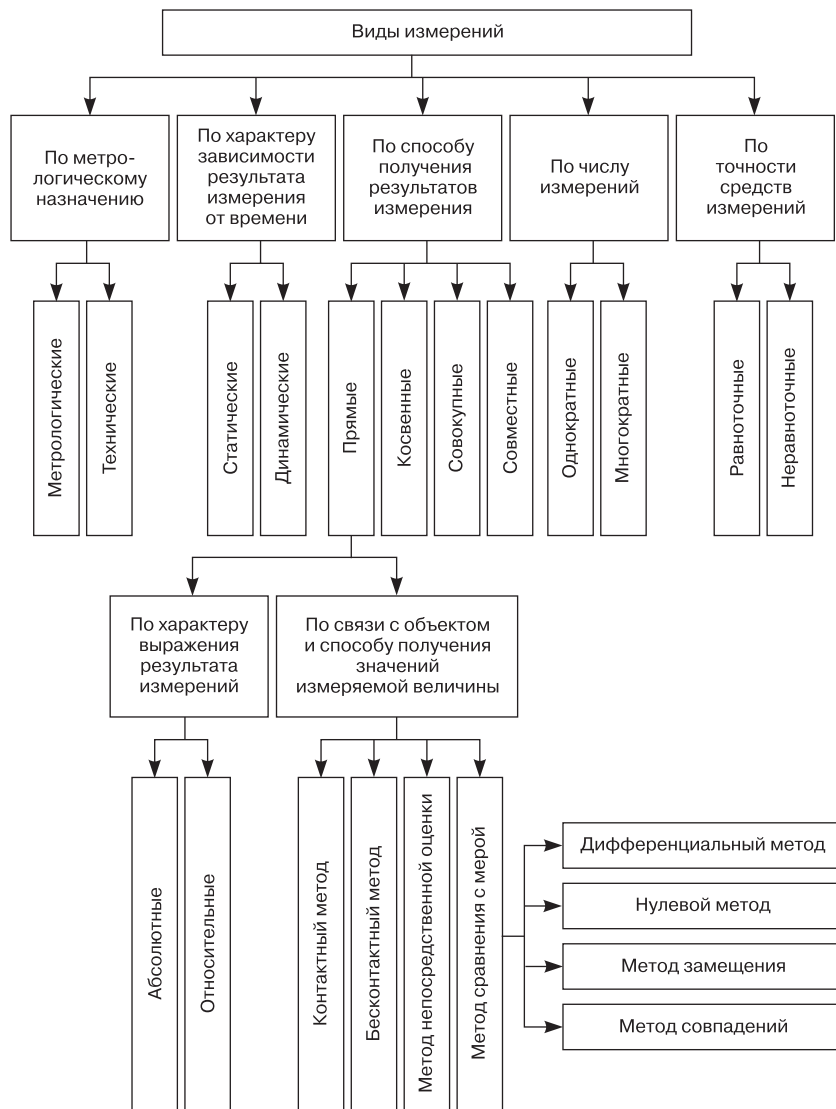


Рис. 4.1. Классификация измерений по видам

По способу получения результатов измерений выделяют прямые и косвенные, совокупные и совместные измерения.

В практике наиболее часто используют прямые измерения.

Прямое измерение — измерение, при котором искомое значение ФВ находят непосредственно по показаниям средства измерений. Уравнение измерения имеет следующий вид:

$$y = c x, \quad (4.1)$$

где y — искомое значение измеряемой величины;
 x — значение, непосредственно получаемое из опытных данных;
 c — коэффициент (переменный или постоянный).

Примерами простых измерений служат измерения длины масштабной линейкой, давления манометром, напряжения вольтметром.

Косвенное измерение — измерение, при котором искомое значение ФВ определяют на основании результатов прямых измерений других ФВ, функционально связанных с искомой величиной. Другими словами, искомое значение ФВ рассчитывают по формуле, а значения величин, входящих в формулу, получают прямыми измерениями. Примерами косвенных измерений могут служить определение объема тела по прямым измерениям его геометрических размеров, определение угла конуса по прямым измерениям большого и малого основания и расстояния между ними и т.п.

Совокупные измерения — измерения одновременно нескольких одноименных величин, при которых искомые значения величин находят решением системы уравнений, полученных при измерении этих величин в различных сочетаниях. Примером совокупных измерений может служить нахождение значений массы отдельных гирь набора по известному значению массы одной из гирь (сравнивая массы различных сочетаний гирь, получают систему уравнений, из решения которой находят массу каждой из гирь, входящих в набор).

Совместные измерения — одновременные измерения двух или нескольких разнородных величин для установления зависимости между ними. Примером совместных измерений может служить ряд одновременных прямых измерений длины тела и его температуры для установления зависимости размера от температуры.

В зависимости от характера выражения результата измерений выделяют абсолютные и относительные измерения.

Абсолютное измерение основано на прямых измерениях одной или нескольких основных величин и (или) использовании значений физических констант. Понятие «абсолютное измерение» применяется как противоположное понятию «относительное измерение» и рассматривается в качестве определения величины в ее единицах. Примером абсолютных измерений может служить нахождение штангенциркулем длины или диаметра детали в миллиметрах, давления манометра в паскалях и т.п.

Относительное измерение — это измерение отношения величины к одноименной величине, играющей роль единицы, или измерение величины по отношению к одноименной величине, принимаемой за исходную. Примером относительного измерения является измерение линейного размера детали с помощью оптиметра, настроенного по концевым мерам длины.

Часто используют понятия «поэлементное измерение» и «комплексное измерение (комплексный контроль)». В первом случае параметры детали измеряются последовательно, каждый — независимо от других. При комплексном измерении все (или несколько) параметров измеряют (чаще — контролируют) одновременно. Так, например, параметры наружной резьбы: наружный и внутренний диаметры, шаг и угол профиля, можно измерить поэлементно с помощью инструментального микроскопа, а можно дать заключение о годности резьбы по всем параметрам, проконтролировав ее резьбовыми калибрами.

Прямые измерения являются основой более сложных измерений и могут быть выполнены различными методами.

Метод измерения — это прием или совокупность приемов сравнения измеряемой ФВ с ее единицей в соответствии с реализованным принципом измерения. В понятие метода измерения входят теоретическое обоснование принципов измерения и разработка приемов применения средств измерений. Метод измерения определяется устройством средства измерения.

По связи с объектом различают контактный и бесконтактный метод измерений. *Контактный метод измерений* основан на том, что чувствительный элемент прибора приводится в контакт с объектом измерений. Например, измерение диаметра отверстия нутромером. *Бесконтактный метод измерений* состоит в том, что чувствительный элемент прибора не приводится в контакт с объектом измерений. Например, измерение параметров шероховатости поверхности с помощью микроинтерферометра.

Для оптимального решения измерительной задачи важна классификация методов измерений по совокупности приемов и принципов использования средств измерений. **В зависимости от способа получения значений измеряемой величины** различают два основных метода измерений: метод непосредственной оценки и метод сравнения с мерой.

При измерении по *методу непосредственной оценки* искомое значение величины определяют непосредственно по отсчетному устройству средства измерений, которое проградуировано в соответствующих единицах. Измерения этим методом проводятся быстро

и просто и не требуют высокой квалификации оператора. Примером могут служить измерения длины масштабной линейкой, давления пружинным манометром, силы электрического тока амперметром.

Метод сравнения с мерой — метод измерений, при котором измеряемую величину сравнивают с величиной, воспроизводимой мерой (например, при использовании в качестве меры гири определенной массы). Отличительной чертой методов сравнения является непосредственное участие меры в процедуре измерения, в то время как в методе непосредственной оценки мера в явном виде при измерении не присутствует, а ее размеры перенесены на отсчетное устройство (шкалу) средства измерений заранее, при его градуировке. Обязательным в методе сравнения является наличие сравнивающего устройства.

При использовании метода сравнения с мерой результат измерения либо вычисляют как сумму значения используемой для сравнения меры и показания измерительного прибора, либо принимают равным значению меры. Метод сравнения с мерой имеет ряд разновидностей.

При *дифференциальном методе* измеряемую величину x сравнивают с однородной величиной x_m , имеющей известное значение, значительно отличающееся от значения измеряемой величины, при котором измеряют разность между этими двумя величинами. Примером дифференциального метода является определение линейного размера измеряемой детали 2 на оптиметре или с помощью измерительной головки 3, закрепленной на штативе 4, который установлен на поверочной плите 5, настройку прибора на нуль осуществляют по блоку концевых мер длины 1 (рис. 4.2).

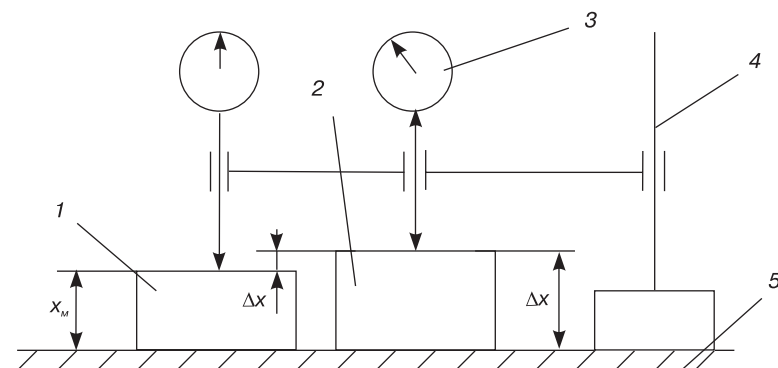


Рис. 4.2. Схема измерения линейного размера детали дифференциальным методом (сравнением с мерой): 1 — блок концевых мер длины; 2 — измеряемая деталь; 3 — измерительная головка; 4 — штатив; 5 — поверочная плита

О значении величины x судят по измеряемой прибором разности $\Delta x = x - x_m$, $x = x_m + \Delta x$. Этот метод может дать весьма точный результат измерения, если измеряемая величина и величина, воспроизводимая мерой, мало отличаются друг от друга. Разновидностью дифференциального метода является нулевой метод.

Нулевой метод (или метод полного уравновешивания) — метод сравнения с мерой, в котором результирующий эффект воздействия меры на сравнивающее устройство сводят к нулю. В этом случае значение измеряемой величины принимается равным значению меры.

Пример нулевого метода — взвешивание на весах, когда на одном плече находится взвешиваемый груз массой m_x , а на другом — набор эталонных грузов массой m_0 (рис. 4.3, а).

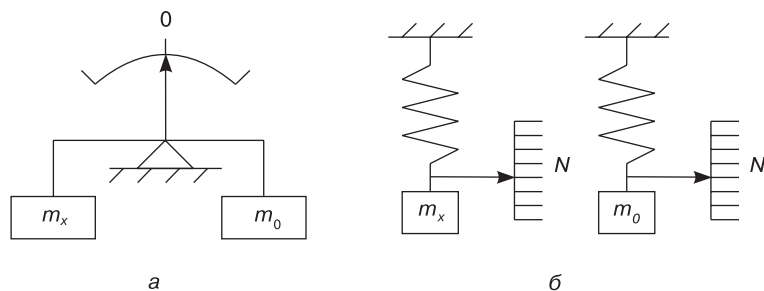


Рис. 4.3. Схемы взвешивания:
а — по нулевому методу; б — по методу замещения

Метод замещения заключается в том, что измеряемую величину замещают в измерительной установке некой известной величиной, воспроизводимой мерой. Преимущество метода замещения состоит в том, что измеряемую величину и величину, воспроизводимую мерой, включают последовательно одну за другой в одну и ту же часть измерительного прибора, благодаря чему искомое значение величины определяется по отношению показаний прибора, что способствует значительному снижению погрешности измерений. Пример метода замещения — взвешивание на пружинных весах в два приема (рис. 4.3, б). Вначале на чашу весов помещают взвешиваемую массу и отмечают положение указателя весов; затем массу m_x замещают массой гирь m_0 , подбирая ее так, чтобы указатель весов устанавливался точно в том же положении, что и в первом случае. При этом $m_x = m_0$.

В *методе совпадений* разность между измеряемой величиной и величиной, воспроизводимой мерой, измеряют, используя совпа-

дение отметок шкал или периодических сигналов. По принципу метода совпадений построен нониус, входящий в состав ряда измерительных приборов, например штангенинструментов.

При выборе метода измерения необходимо добиваться, чтобы погрешность метода измерения, обусловленная несовершенством принятых модели и метода измерения, заметно не сказывалось на результирующей погрешности измерения. Как правило, методическая погрешность не должна превышать 30% суммарной погрешности измерения [17]. При выборе метода измерения необходимо учитывать и экономические соображения: чрезмерное завышение точности метода измерения, как правило, приводит к необоснованным затратам.

В зависимости от числа измерений могут проводиться однократные и многократные измерения. *Однократное измерение* выполняется один раз. Например, измерение конкретного момента времени по часам. *Многократное измерение* предусматривает измерение ФВ одного и того же размера, результат которого получен из нескольких следующих друг за другом измерений, т.е. состоит из ряда однократных измерений.

По точности средств измерений выделяют равноточные и неравноточные измерения.

Равноточные измерения — это ряд измерений какой-либо величины, выполненных одинаковыми по точности средствами измерений в одних и тех же условиях с одинаковой тщательностью.

Неравноточные измерения — ряд измерений какой-либо величины, выполненных различающимися по точности СИ и в различных условиях.

Следует различать понятия «измерение» и «контроль».

Контроль — это процесс определения соответствия значения параметра изделия установленным требованиям или нормам.

Измерение и контроль тесно связаны друг с другом, близки по своей информационной сущности и содержат ряд общих операций. Однако их процедуры во многом различаются [17]:

- результатом измерения является количественная характеристика, а контроля — качественная;
- измерение осуществляется в широком диапазоне значений измеряемой величины, а контроль — обычно в пределах небольшого числа возможных состояний;
- основной характеристикой качества процедуры измерения является точность, а процедуры контроля — достоверность.

Примером контроля является контроль линейных размеров детали предельными калибрами.

4.2. Погрешности измерений

Любое измерение производится с некоторой погрешностью, которая искажает результат измерения и позволяет определить лишь приближенное значение измеряемой величины. Введение понятия «погрешность» требует определения и четкого разграничения понятий истинного и действительного значений измеряемой ФВ и результата измерения.

Истинное значение физической величины идеальным образом характеризует в качественном и количественном отношении соответствующую ФВ. Оно не зависит от средств человеческого познания и является той абсолютной истиной, к которой стремятся, пытаясь выразить ее в виде числового значения. Поскольку «истинное значение» получить невозможно, то на практике его заменяют «действительным значением».

Действительное значение физической величины получают экспериментальным путем. Оно настолько близко к истинному значению, что в поставленной измерительной задаче может быть использовано вместо него.

Результатом измерения ФВ является ее значение, полученное путем измерения.

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

На практике при определении погрешности измерения $\Delta x_{\text{изм}}$ используют действительное значение, в результате чего погрешность измерения определяется по формуле

$$\Delta x_{\text{изм}} = x - x_{\text{д}}, \quad (4.2)$$

где x — результат измерения;
 $x_{\text{д}}$ — действительное значение измеряемой величины.

Классификация погрешностей измерения по основным признакам приведена на рис. 4.4. Различные погрешности измерений в зависимости от условий измерительного процесса проявляются в различных классификационных группах. Вследствие этого любая классификация погрешностей измерения, в том числе и приведенная в данном пособии, является достаточно условной.

В метрологии используют понятия «погрешность измерения» и «погрешность средств измерений», причем погрешность средств измерений является одной из составляющих (часто наибольшей) погрешности измерения. Погрешности измерения и погрешности средств измерений по характеру проявления и способу выражения классифицируются одинаково (см. рис. 4.4).

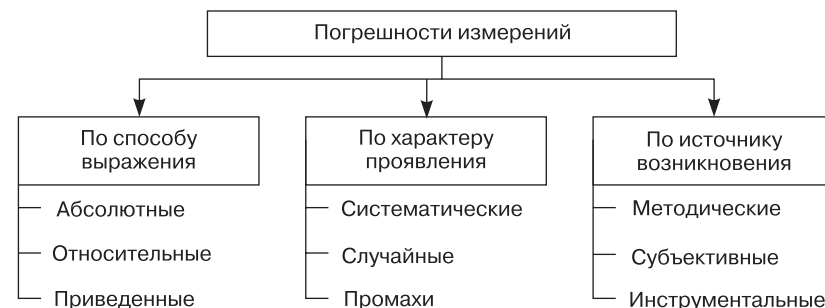


Рис. 4.4. Классификация погрешностей измерения

По способу выражения погрешности делят на абсолютные, относительные и приведенные.

Абсолютную погрешность определяют как разность результата измерения и действительного значения измеряемой величины:

$$\Delta = x - x_{\text{д}},$$

т.е. это погрешность измерения, выраженная в единицах измеряемой величины.

Абсолютная погрешность независима от измеряемой величины, поэтому она не может в полной мере служить показателем точности измерений ФВ, в частности различных размеров. Например, погрешность измерения $\Delta = 0,001$ мм при измерении длины $L = 100$ мм соответствует достаточно высокой точности измерений, а при $L = 1$ мм — низкой.

Относительная погрешность выражается отношением абсолютной погрешности измерения к действительному или истинному значению измеряемой величины. Относительную погрешность в долях или процентах находят из отношений:

$$\delta_x = \Delta / x, \text{ или } \delta_x = (\Delta / x) \cdot 100\%. \quad (4.3)$$

Тогда из предыдущего примера при измерении длины $L = 100$ мм, $\delta_x = (0,01/100) \cdot 100\% = 0,01\%$, а при $L = 1$ мм — $\delta_x = (0,01/1) \cdot 100\% = 1\%$.

Относительная погрешность является наиболее информативной, так как дает возможность объективно сопоставлять результаты и оценивать качество измерений, выполненных в разное время, различными средствами или операторами, а также ранжировать погрешности измеряемой величины с различными размерностями и числовыми значениями.

Однако относительная погрешность измерения не может быть использована для нормирования погрешности некоторых средств измерений (например, электроизмерительных приборов), поскольку при приближении измеряемой величины к нулю незначительные ее изменения приводят к громадным изменениям δ_x .

Исключение указанного недостатка возможно при нормировании приведенной погрешности измерения.

Приведенной называется относительная погрешность γ , выраженная в процентах от некоторого нормирующего значения x_N :

$$\gamma = \pm (\Delta / x_N) \cdot 100\%. \quad (4.4)$$

Часто за нормирующее значение принимают верхний предел измерений средств измерений, т.е. $x_N = x_{\max}$.

По характеру проявления погрешности делятся на систематические Δ_c , случайные Δ и промахи.

Систематическая погрешность измерения — это составляющая погрешности результата измерения, остающаяся постоянной или закономерно изменяющаяся при повторных измерениях одной и той же ФВ.

Отличительной особенностью систематических погрешностей является предсказуемость их поведения. Они могут быть почти полностью устранены путем введения соответствующих поправок. К систематическим постоянным погрешностям (остающимся постоянными при повторных измерениях) можно отнести погрешности от несоответствия действительного значения меры, с помощью которой выполняют измерения, ее номинальному значению, а также погрешности, вызванные температурной деформацией измеряемой детали или средства измерений при отклонении температуры от нормальной области значений. Примером систематической переменной погрешности, закономерно изменяющейся при повторных измерениях одной и той же ФВ (рис. 4.5), является погрешность, вызванная, например, износом измерительного наконечника средства измерений при контактных измерениях.

Случайная погрешность измерения — это составляющая погрешности результата измерения, изменяющаяся случайным образом при повторных измерениях, проведенных с одинаковой тщательностью, одной и той же ФВ.

В проявлении этих погрешностей не наблюдается какой-либо закономерности, они обнаруживаются при повторных измерениях одной и той же величины в виде некоторого разброса получаемых результатов. Случайные погрешности неизбежны, неустранимы и всегда присутствуют в результате измерения. В отличие от систе-

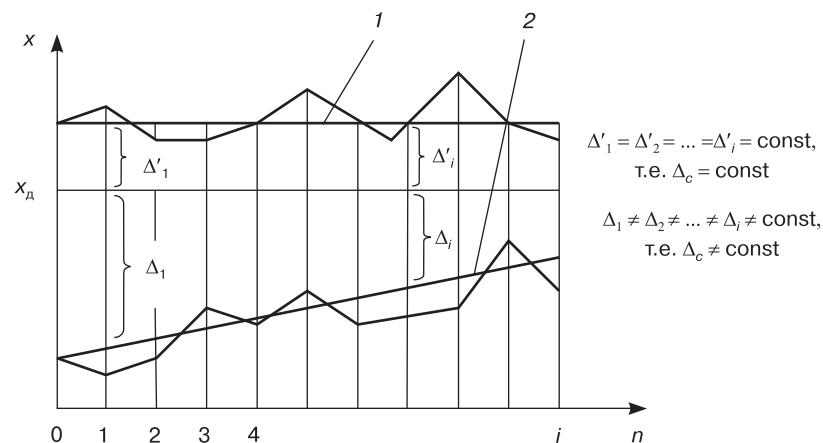


Рис. 4.5. Систематические погрешности Δ :

1 — постоянная; 2 — переменная; n — номер повторяемого измерения; Δ_i и Δ'_i — систематические погрешности i -го измерения

матических случайные погрешности нельзя исключить из результата измерения путем введения поправок, однако их можно существенно уменьшить путем увеличения числа единичных измерений. Причин, вызывающих случайные погрешности, множество, например перекосы элементов прибора, нерегулярные изменения моментов трения в опорах, колебания температуры окружающей среды, округления показаний прибора, изменение внимания оператора и др.

К случайной погрешности результата измерения относится также промах или грубая погрешность.

Промах (грубая погрешность) — это погрешность результата отдельного измерения, входящего в ряд измерений, которая для данных условий резко отличается от остальных результатов этого ряда.

Промахи, как правило, возникают из-за ошибок или неправильного действия оператора, кратковременных резких изменений условий проведения измерений и др. Если промахи обнаруживаются в процессе измерений, то результаты, их содержащие, отбрасывают как недостоверные. Как правило, выявление промахов производится на основании анализа результатов измерений с помощью различных вероятностных критериев.

Обязательными компонентами любого измерения являются средства измерений, метод измерения и оператор, проводящий из-

мерения. В связи с этим **по источнику возникновения** различают инструментальные, методические и субъективные погрешности.

Инструментальная погрешность измерения — это составляющая погрешности измерений, обусловленная погрешностью применяемого средства измерений.

Методическая погрешность измерения (погрешность метода измерения) — это составляющая систематической погрешности измерений, обусловленная несовершенством принятого метода измерений. Такая погрешность возникает вследствие: ограниченной точности расчетных формул, положенных в основу измерений; влияния приема использования средства измерений; экстраполяции значения свойства, измеренного на ограниченной части объекта, на весь объект и др. В большинстве случаев методические погрешности носят систематический характер, однако возможно и случайное их проявление. Например, если уравнения метода измерений включают в себя коэффициенты, зависящие от условий измерений, которые меняются случайным образом.

Субъективная погрешность измерения — это часть погрешности измерения, зависящая от оператора. Она обусловлена погрешностью отсчитывания оператором показаний, влиянием теплоизлучения оператора на средство измерений и погрешностями, связанными с квалификацией оператора.

При изготовлении изделий машиностроения значительная часть проводимых измерений приходится на долю измерений геометрических параметров деталей: линейных и угловых размеров, отклонений формы и расположения поверхностей, шероховатости, параметров точности резьб, зубчатых колес и др. В связи с этим рассмотрим более подробно формирование погрешностей измерения геометрических параметров деталей.

Погрешность измерения геометрических параметров деталей с учетом условий и метода измерений можно рассчитать по формуле [7]

$$\Delta = \sqrt{\Delta_1^2 + \Delta_2^2 + \Delta_3^2 + \Delta_4^2 + \Delta_5^2 + \Delta_6^2}, \quad (4.5)$$

где Δ_1 — погрешность средства измерений;
 Δ_2 — погрешность метода измерений;
 Δ_3 — погрешность от температурных деформаций;
 Δ_4 — погрешность от измерительного усилия;
 Δ_5 — субъективные погрешности оператора;
 Δ_6 — прочие составляющие погрешности измерений, не охваченные составляющими $\Delta_1 \dots \Delta_5$.

Под погрешностями $\Delta_1 \dots \Delta_4$ понимают предельную погрешность, включающую в себя неисключенную систематическую и случайную составляющие. Погрешность средства измерений:

$$\Delta_1 = \sqrt{\Delta_{11}^2 + \Delta_{12}^2 + \dots + \Delta_{1n}^2}, \quad (4.6)$$

где $\Delta_{11}, \Delta_{12} \dots \Delta_{1n}$ — основные погрешности средств измерений (инструментальная погрешность, погрешность установочных мер и др.), используемых в рассматриваемой измерительной установке.

Методическую погрешность измерения Δ_2 можно определить по следующей формуле:

$$\Delta_2 = \sqrt{\Delta_{21}^2 + \Delta_{22}^2 + \Delta_{23}^2}, \quad (4.7)$$

где Δ_{21} — погрешность базирования объекта измерения;
 Δ_{22} — погрешность, зависящая от процедуры измерений;
 Δ_{23} — прочие составляющие погрешности метода измерений, в частности погрешности, зависящие от свойств и состояния объекта измерения.

Например, при измерении диаметра детали микрометром вследствие несовершенства процедуры измерений может появиться погрешность из-за отклонений от перпендикулярности общей оси микрометрического винта и измерительной пятки относительно оси детали. К методическим погрешностям, зависящим от процедуры измерений, относится погрешность от неполноты ощупывания измеряемой поверхности, т.е. от того, что измеряемая деталь измерена не во всех точках или сечениях.

Часто методическая погрешность определяется состоянием и свойствами объекта измерения. Например, к методическим погрешностям относятся погрешности, вызванные отклонениями формы и шероховатостью измеряемых деталей.

Погрешность Δ_3 , вызванную температурными деформациями, определяют по формуле

$$\Delta_3 = \Delta_t = \sqrt{\Delta_{t_1}^2 + \Delta_{t_2}^2}, \quad (4.8)$$

где $\Delta_{t_1}, \Delta_{t_2}$ — соответственно систематическая и случайная погрешность от температурных деформаций:

$$\Delta_{t_1} = \ell \Delta t_1 (\alpha_n - \alpha_d)_{\max}; \quad (4.9)$$

$$\Delta_{t_2} = \ell \Delta t_2 \alpha_{\max}, \quad (4.10)$$

где l — измеряемый размер;
 Δt_1 — допускаемое при измерении отклонение температуры среды от нормальной области значений (20°C);
 Δt_2 — допускаемое при измерении колебание температуры среды;

$(\alpha_n - \alpha_d)_{\max}$ — максимально возможная разность коэффициентов линейного расширения элементов средств измерений (прибора) и объекта измерения (измеряемой детали);

α_{\max} — максимальный по величине коэффициент линейного расширения (материала элемента средства измерений или объекта измерения).

Погрешность от чрезмерного измерительного усилия Δ_4 вызвана упругими деформациями установочных узлов средства измерений и деформациями в зоне контакта измерительного наконечника и измеряемой детали. Эту погрешность учитывают при высокоточных измерениях, когда допускаемые погрешности измерения соизмеримы с величиной контактных деформаций. Средства измерений с малым измерительным усилием отличаются обычно большей случайной погрешностью измерения из-за чувствительности их к воздействию влияющих величин, например вибраций, так как малое измерительное усилие не обеспечивает надежного силового замыкания измерительной цепи «прибор—деталь».

Погрешности, зависящие от оператора (субъективные погрешности) Δ_5 , разделяют на четыре вида: погрешности отсчитывания, присутствия, действия и профессиональные погрешности. Из субъективных погрешностей поддается учету, как правило, лишь погрешность отсчитывания. Субъективная погрешность присутствия проявляется в виде влияния теплоизлучения оператора на температуру окружающей среды. К субъективным погрешностям действия относят погрешности, вносимые оператором при настройке средств измерений, подготовке объекта измерения и др. Профессиональные погрешности связаны с квалификацией оператора, отношением его к процессу измерения.

Пример 4.1. В соответствии с операционной картой технического

контроля для измерений $\varnothing 80\ h6 \begin{pmatrix} +0,039 \\ +0,020 \end{pmatrix}$ вкладыша из антифрикционного алюминиевого сплава предусмотрена скоба рычажная CP100 с ценой деления 0,002 мм при настройке на нуль по концевым мерам длины 2-го класса точности. Измерения выполняют в помещении, температура которого находится в пределах $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$, колебание температуры рабочего пространства в течение 30 мин не превышает $0,5^\circ\text{C}$. Температуру детали, скобы рычажной и меры выравнивают с температурой окружающей среды, выдерживая их длительное время на поверочной плите.

Определить погрешность измерения диаметра детали скобой рычажной и установить соответствие этой погрешности допускаемой, учитывая, что погрешности метода измерения от измерительного усилия и субъективные погрешности пренебрежительно малы.

Допускаемая погрешность измерения $\varnothing 80\ h6$ в соответствии с ГОСТ 8.051—81 составляет 5 мкм (см. прил. 3).

1. Согласно РД 50-98-86 [4] предельная погрешность измерения 80 скобой рычажной при настройке на нуль по концевым мерам длины и использовании отсчета на ± 10 делениях шкалы $\Delta_1 = 3$ мкм.

2. Погрешность $\Delta_3 = \Delta_t$, вызванную температурными деформациями при измерении, определим по формулам (4.8—4.10). Из исходных данных отклонение температуры среды от нормальной $\Delta t = 5^\circ\text{C}$, колебание температуры $\Delta t_2 = 0,5^\circ\text{C}$. Коэффициент линейного расширения материала детали (алюминиевого сплава) $\alpha_d = 0,024$ мкм/град · мм, коэффициент линейного расширения корпуса скобы рычажной (корпус выполнен из незакаленной стали) $\alpha_n = 0,011$ мкм/град · м [10].

Тогда погрешности измерений составят, мкм: $\Delta_{t_1} = 80 \cdot 5 (0,011 - 0,024) = 5,2$;

$$\Delta_{t_2} = 80 \cdot 0,5 \cdot 0,024 = 0,96;$$

$$\Delta_t = \sqrt{5,2^2 + 0,96^2} = 5,3.$$

Погрешностью, вызванной температурными деформациями при настройке скобы рычажной по концевым мерам длины, пренебрегаем (составляет менее 10% от Δ_t), так как коэффициенты линейного расширения материалов скобы и меры отличаются незначительно (на 0,001 мкм/град · м).

3. Погрешность измерения определим по формуле (4.5), мкм:

$$\Delta = \sqrt{3^2 + 5,3^2} = 5,4.$$

Таким образом, погрешность измерения $\varnothing 80\ h6$ скобой рычажной $\Delta = 5,4$ мкм больше допускаемой погрешности измерения $\delta = 5,0$ мкм, что недопустимо. Расчеты показали, что доминирующей является температурная погрешность.

Уменьшить погрешность измерения можно за счет исключения систематической погрешности, вызванной температурными деформациями, например путем введения поправки.

4.3. Исключение систематических погрешностей

Известные систематические погрешности можно исключить [3, 16] либо за счет устранения источников погрешностей до начала измерений (профилактика погрешностей), либо путем введения известных поправок в результат измерения в процессе измерения. Профилактика погрешностей является наиболее рациональным способом их снижения. Профилактику погрешностей измерения производят путем регулировки, ремонта и поверки средств измерений. Снизить погрешность измерения можно, устранив влияние колебания температуры (например, термоизоляцией), вибраций и т.п.

Поправка — это значение величины, вводимое в неисправленный результат измерения с целью исключения составляющих систематической погрешности. Путем введения поправки исключают, как правило, систематическую постоянную погрешность средств измерений.

При введении поправки уравнение измерения будет иметь вид

$$y = x + \Delta_c + \Delta_n, \quad (4.11)$$

где x — значение измеряемой величины;
 Δ_c — систематическая погрешность измерения;
 Δ_n — поправка.

Поправка численно равна значению систематической погрешности и противоположна ей по знаку $\Delta_n = -\Delta_c$.

Полученное при измерении значение величины и уточненное путем введения в него необходимых поправок на действие систематических погрешностей называют *исправленным результатом измерения*. *Неисправленный результат измерения* — значение величины, полученное при измерении до введения в него поправок.

Одним из наиболее распространенных методов исключения систематических погрешностей в процессе измерения является *метод замещения*.

Для реализации этого метода сначала измеряют неизвестную величину (объект измерения размером x), в результате чего получают

$$x_{\text{си}} = x + \Delta_c, \quad (4.12)$$

где $x_{\text{си}}$ — показания средства измерений.

Ничего не меняя в измерительной системе, устанавливают вместо объекта измерения размером x регулируемую меру (либо меру из набора) с размером x_M , подбирая такое ее значение, при котором достигается прежнее показание средства измерений, тогда

$$x_{\text{си}} = x_M + \Delta_c. \quad (4.13)$$

Сопоставляя равенства (4.12) и (4.13), получают значение неизвестной величины $x = x_M$ и определяют значение систематической погрешности

$$\Delta_c = x_{\text{си}} - x_M. \quad (4.14)$$

Пример 4.2. При измерении диаметра цилиндрической детали штангенциркулем ШЦ-II-0,05 получен результат $x_{\text{си}} = 25,75$ мм.

Определить поправку, которую необходимо внести в показания прибора, используя набор плоскопараллельных концевых мер длины.

Такой же результат (25,75 мм) получают при измерении штангенциркулем блока концевых мер размером $x_M = 25,65$ мм. Тогда $x =$

$= 25,65$ мм, а систематическая погрешность штангенциркуля составит, мм:

$$\Delta_c = 25,75 - 25,65 = 0,1.$$

Таким образом, поправка, которую необходимо ввести в показания штангенциркуля, мм:

$$\Delta_n = -\Delta_c = -0,1.$$

Универсальным методом исключения неизвестных постоянных систематических погрешностей является *метод рандомизации*. Суть этого метода заключается в том, что одна и та же величина измеряется различными методами (приборами). Систематические погрешности каждого из них для всей совокупности являются различными случайными величинами. Вследствие этого при увеличении числа используемых методов (приборов) систематические погрешности взаимно компенсируются.

Одним из наиболее простых способов обнаружения и устранения переменных систематических погрешностей является *графический метод*, который заключается в построении графика последовательности неисправленных значений результатов единичных измерений. Расположение полученных точек позволяет обнаружить наличие закономерного изменения результатов измерений и сделать вывод о присутствии в них систематической погрешности.

На рисунке 4.6 представлено несколько однократных измерений постоянной величины x_0 , выполненных через равные промежутки времени. Если закон изменения систематической погрешности близок к линейному, то графический метод обеспечивает практически полное ее исключение.

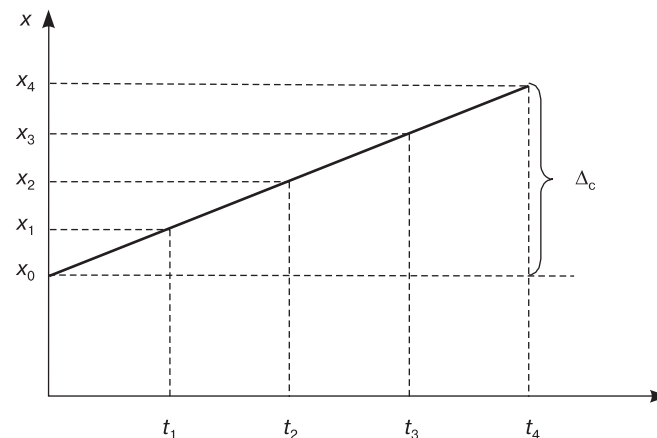


Рис. 4.6. Линейное изменение систематической погрешности

Для обнаружения изменяющейся во времени систематической погрешности используют способ последовательных разностей (критерий Аббе) [15].

Способ последовательных разностей предусматривает определение дисперсии результатов измерений двумя способами: обычным и путем вычисления суммы квадратов последовательных разностей.

При обычном способе дисперсия результатов измерений:

$$S_x^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2, \quad (4.15)$$

где n — количество единичных измерений;
 x_i — результат i -го измерения;
 \bar{x} — среднее арифметическое значение измеряемой величины;

В случае вычисления суммы квадратов последовательных (в порядке последовательности измерений) разностей $d_i = (x_{i+1} - x_i)^2$ дисперсия

$$Q^2 = \frac{1}{2(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_{i+1} - x_i)^2. \quad (4.16)$$

Если в процессе измерения происходило смещение центра группирования \bar{x} результатов измерений, т.е. имела место временная систематическая погрешность, то S_x^2 дает завышенную оценку дисперсии результатов измерений. Это объясняется тем, что на S_x^2 влияют вариации \bar{x} . В то же время смещение центра группирования \bar{x} весьма мало влияет на значения последовательных разностей $d_i = (x_{i+1} - x_i)$, а значит и на значение Q^2 .

Отношение

$$V = Q^2 / S_x^2 \quad (4.17)$$

является критерием для обнаружения систематических смещений центра группирования результатов единичных измерений.

Критическая область для этого критерия (критерия Аббе) определяется как вероятность $P(V < V_q) = q$, где $q = (1 - P)$ — уровень значимости, P — доверительная вероятность. Значения V_q для различных уровней значимости q и чисел единичных измерений n приведены в табл. 4.1.

Значения критерия Аббе V_q

n	V_q при q , равном			n	V_q при q , равном		
	0,001	0,01	0,05		0,001	0,01	0,05
4	0,30	0,31	0,39	13	0,30	0,43	0,58
5	0,21	0,27	0,41	14	0,31	0,45	0,59
6	0,18	0,28	0,44	15	0,33	0,46	0,60
7	0,19	0,31	0,47	16	0,34	0,48	0,61
8	0,20	0,33	0,49	17	0,36	0,49	0,62
9	0,22	0,35	0,51	18	0,37	0,50	0,63
10	0,24	0,38	0,53	19	0,38	0,51	0,64
11	0,26	0,40	0,55	20	0,39	0,52	0,65
12	0,28	0,41	0,56				

Если полученное значение критерия Аббе V меньше V_q (при заданных q и n), то гипотеза о постоянстве центра группирования результатов измерений \bar{x} отвергается, т.е. обнаруживается систематическая погрешность результатов измерений, в противном случае эта гипотеза подтверждается и делается вывод об отсутствии систематической погрешности.

Пример 4.3. В таблице 4.2 приведены результаты измерений через равные промежутки времени диаметра отверстия нутромером индикаторным. Используя способ последовательных разностей, определить присутствие в ряду измерений систематической погрешности.

1. Среднее арифметическое значение измеряемой величины, мм: $\bar{x} = 352,44 : 11 = 32,04$.

2. Оценку дисперсии определили по формуле (4.15), мм: $S_x^2 = 0,0032 : 10 = 0,0003$.

Таблица 4.2

Результаты измерений и расчетов

n	x_i	$d_i = x_{i+1} - x_i$	d_i^2	$v_i = x_i - \bar{x}$	v_i^2
1	2	3	4	5	6
1	32,03	—	—	-0,01	0,0001
2	32,05	0,02	0,0004	0,01	0,0001
3	32,06	0,03	0,0009	0,02	0,0004

Окончание

n	x_i	$d_i = (x_{i+1} - x_i)$	d_i^2	$v_i = x_i - \bar{x}$	v_i^2
4	32,02	-0,01	0,0001	-0,02	0,0004
5	32,04	0,01	0,0001	0	0
6	32,06	0,03	0,0009	0,02	0,0004
7	32,02	-0,01	0,0001	-0,02	0,0004
8	32,01	-0,02	0,0004	-0,03	0,0009
9	32,04	0,01	0,0001	0	0
10	32,05	0,02	0,0004	0,01	0,0001
11	32,06	0,03	0,0009	0,02	0,0004
Σ	352,44	0,11	0,0043	0	0,0032

3. Значение Q^2 найдем по формуле (4.16), мм:
 $Q^2 = 0,0043 : 20 = 0,0002$.

4. Критерий Аббе рассчитаем по формуле (4.17):
 $V = 0,0002 : 0,0003 = 0,67$.

5. Так как для всех уровней значимости $V > V_q$ (для $n = 11$ в соответствии с табл. 4.1 $V_{0,001} = 0,26$; $V_{0,01} = 0,40$; $V_{0,05} = 0,55$), гипотеза о постоянстве центра группирования подтверждается. Следовательно, условия измерений для приведенного ряда остались неизменными и систематических расхождений между результатами измерений нет.

4.4. Оценивание случайных погрешностей

Результат измерения какой-либо ФВ из-за наличия случайных погрешностей представляет собой случайную величину. Поскольку закономерности в появлении значений случайной величины нет, анализ таких величин может производиться только методами теории вероятности и математической статистики. Математическое описание результатов и погрешностей измерения на основании теории случайных величин позволяет определить количественные характеристики результата измерения.

Из теории вероятностей известно, что наиболее универсальным способом описания свойств случайной величины является отыскание их интегральной или дифференциальной функций распределения. В метрологии преимущественно используется *дифференциальная функция распределения* [23], иначе называемая *плотностью распределения вероятностей случайной величины*.

Рассмотрим формирование дифференциальной функции распределения на примере многократных измерений [21]. Выполнено n последовательных единичных измерений одной и той же величины x (например, относительные измерения линейного размера) и получен ряд результатов этих измерений x_1, x_2, \dots, x_n . Каждое из значений этого ряда x_i содержит ту или иную случайную погрешность. Расположим результаты единичных измерений в порядке их возрастания, от x_{\min} до x_{\max} и найдем размах ряда $R_n = x_{\max} - x_{\min}$. Разделив размах ряда на k равных интервалов ($\Delta x = R_n/k$) подсчитаем количество единичных измерений n_k , попадающих в каждый интервал (табл. 4.3). Изобразим полученные результаты графически, нанеся на ось абсцисс значения ФВ и обозначив границы интервалов, а на ось ординат – относительную частоту попадания единичных измерений в интервал n_k/n . Построив на диаграмме прямоугольники, основанием которых является ширина интервалов, а высота равна частоте n_k/n , получим гистограмму, дающую представление о плотности распределения результатов единичных измерений в данном опыте (рис. 4.7). Соединив середины вершин, прямоугольников между собой, получим практическую кривую распределения результатов измерений величины x .

Таблица 4.3

Исходные данные для построения практической кривой распределения

Номер интервала	Границы интервалов результатов измерений, x , мкм	Значения середины интервала, x_k , мкм	Количество единичных измерений в интервале, n_k	Частность n_k/n
1	50 ... 60	55	2	0,027
2	60 ... 70	65	10	0,133
3	70 ... 80	75	17	0,227
4	80 ... 90	85	21	0,280
5	90 ... 100	95	15	0,200
6	100 ... 110	105	7	0,093
7	110 ... 120	115	3	0,040
Итого:			75	1,0

Если распределение случайной величины x статистически устойчиво, то можно ожидать, что при повторных сериях измерений той же величины, в тех же условиях, относительные частоты попаданий в каждый интервал будут близки к первоначальным. Это оз-

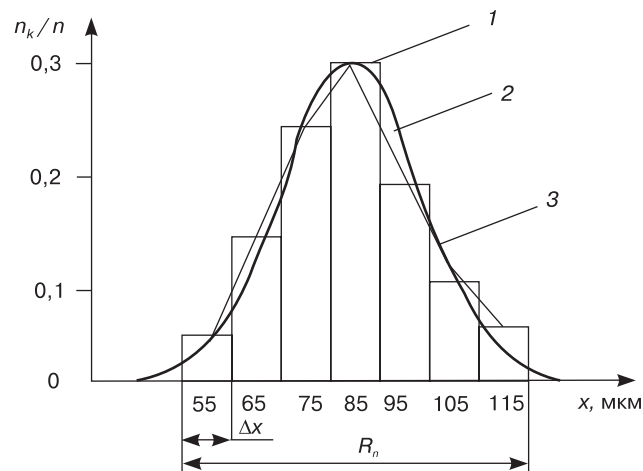


Рис. 4.7. Графическое изображение распределения результатов измерений:
1 — гистограмма; 2 — практическая кривая распределения;
3 — теоретическая кривая распределения

начает, что, единожды построив гистограмму, при последующих сериях измерений можно с определенной долей уверенности заранее предсказать распределения результатов измерений по интервалам.

При бесконечном увеличении числа единичных измерений $n \rightarrow \infty$ и бесконечном уменьшении ширины интервалов $\Delta x \rightarrow 0$ практическая кривая 2 перейдет в плавную кривую 3 (см. рис. 4.7), называемую кривой плотности распределения вероятностей случайной величины $f(x)$, а уравнение, описывающее ее — дифференциальным законом распределения (в рассматриваемом случае дифференциальным законом распределения измеряемой величины). Кривая плотности распределения подчинена условию нормирования в виде:

$$\int_{-\infty}^{+\infty} f(x) dx = 1. \quad (4.18)$$

Закон распределения дает полную информацию о свойствах случайной величины и позволяет ответить на поставленный вопрос о результате измерения и его случайной погрешности. Если известен дифференциальный закон распределения случайной величины $f(x)$, то вероятность P ее попадания в интервал от x_1 до x_2

$$P\{x_1 \leq x \leq x_2\} = \int_{x_1}^{x_2} f(x) dx. \quad (4.19)$$

Графически эта вероятность характеризуется отношением площади, лежащей под кривой $f(x)$ в интервале от x_1 до x_2 к общей площади, ограниченной кривой распределения.

Важнейшими числовыми характеристиками случайных величин являются *математическое ожидание* m_x и *дисперсия* D_x , определяемые из следующих выражений

$$m_x = \int_{-\infty}^{+\infty} x f(x) dx, \quad (4.20)$$

$$D_x = \int_{-\infty}^{+\infty} (x - m_x)^2 f(x) dx. \quad (4.21)$$

Значение m_x характеризует положение центра группирования случайных величин, около которого располагаются, например, результаты единичных измерений. В случае отсутствия систематических погрешностей при многократных измерениях одной и той же величины в одних и тех же условиях математическое ожидание можно рассматривать как наибольшее приближение к истинному значению измеряемой величины. Дисперсия характеризует величину рассеяния случайной величины, например результатов единичных измерений относительно центра группирования m_x . Дисперсия имеет размерность квадрата случайной величины, поэтому для облегчения сравнения рассеяния случайной величины с ее значением используют *среднее квадратическое отклонение* (СКО) $\sigma = \sqrt{D_x}$, имеющее размерность самой случайной величины. Так как рассеяние результатов измерений возникает вследствие действия случайных погрешностей, то дисперсия и СКО являются характеристиками случайной погрешности измерения.

Использование вероятностного подхода для оценки погрешностей результатов измерений предполагает знание закона распределения измеряемой величины [16, 23]. В практике измерений встречаются различные законы распределения случайных величин, однако чаще всего это нормальный закон распределения (закон Гаусса), закон равной вероятности, закон равнобедренного треугольника (закон Симпсона) и распределение Стьюдента.

Наиболее широкое распространение получил *нормальный закон распределения* (рис. 4.8, а). Ему подчиняются случайные величины, на которые оказывает влияние большое число факторов (как правило, более четырех), каждый из которых не является доминирующим и играет относительно малую роль в общей совокупности.

Этому закону подчиняется распределение результатов и погрешностей измерения линейных и угловых размеров, шероховатости поверхностей, твердости деталей и др.

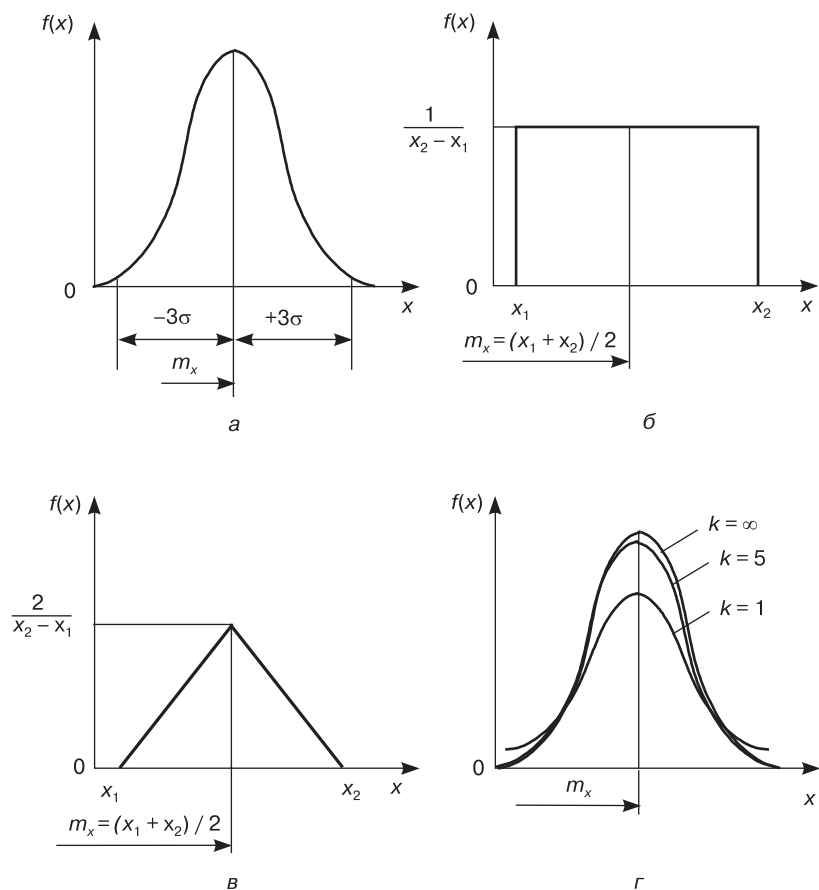


Рис 4.8. Распределения случайной величины: *а* – нормальное (Гаусса); *б* – равномерное; *в* – равнобедренного треугольника (Симпсона); *г* – Стьюдента при числе степеней свободы $k = n - 1$, равных 1,5 и ∞

Аналитически нормальный закон распределения описывается формулой

$$f(x) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{(x - m_x)^2}{2\sigma^2} \right]. \quad (4.22)$$

Нормальный закон распределения погрешностей измерений обладает следующими свойствами:

- погрешности, одинаковые по величине, но противоположные по знаку, имеют одинаковую плотность вероятностей, т.е. при большом числе измерений встречаются одинаково часто;

- вероятность появления малых отклонений погрешности относительно среднего значения больше вероятности появления больших отклонений.

На практике пользуются нормированным нормальным распределением, получаемым при введении новой переменной $Z = (x - m_x)/\sigma$. Определенный интеграл с переменным верхним пределом этого распределения называют *функцией Лапласа* или интегралом вероятностей:

$$\Phi_0(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^z e^{-0.5z^2} dz. \quad (4.23)$$

Для нее справедливы следующие равенства:

$$\Phi_0(0) = 0; \quad \Phi_0(-z) = -\Phi_0(z);$$

$$\Phi_0(-\infty) = -0,5; \quad \Phi_0(+\infty) = 0,5.$$

Значения функции Лапласа $\Phi_0(z)$ приведены в прил. 1. Используя эти значения, можно определить вероятность того, что случайная величина x находится в пределах интервала $m_x \pm zs$. Если принять $z = 3$, то при нормальном распределении трехсигмовые границы охватывают 99,73% всех результатов измерений. Отсюда следует правило «трех сигм», согласно которому практически все возможные значения нормально распределенной случайной величины расположены в интервале $m_x \pm 3\sigma$ (см. рис. 4.8, *а*).

При нормальном законе распределения и достаточно большом числе измерений ФВ функция Лапласа используется при определении доверительного интервала результата измерения. Нельзя пользоваться этой функцией при малом числе измерений, если нет возможности теоретически на основе большого числа предварительных измерений определить СКО.

Закону равной вероятности (равномерное распределение) (рис. 4.8, *б*) подчиняются случайные величины, на которые оказывает влияние резко доминирующий фактор, равномерно изменяющийся со временем. Равномерное распределение используют для описания погрешностей квантования¹ в цифровых приборах, округления при расчетах, показаний стрелочных средств измерений.

¹ Дискретное (скачкообразное) изменение измеряемой величины на выходе прибора при плавном изменении входной величины.

Плотность равномерного распределения описывается уравнением

$$\begin{cases} \frac{1}{x_2 - x_1}, & \text{при } x_1 \leq x \leq x_2; \\ 0, & \text{при } x < x_1, x > x_2. \end{cases} \quad (4.24)$$

Математическое ожидание величины x :

$$m_x = \frac{x_1 + x_2}{2}. \quad (4.25)$$

Соответственно СКО:

$$\sigma = \frac{x_2 - x_1}{2\sqrt{3}}. \quad (4.26)$$

Равномерное распределение обладает наибольшей неопределенностью для всех случайных величин в выбранном интервале и может рассматриваться как худший случай.

Закону равнобедренного треугольника (Симпсона) (рис. 4.8, в) подчиняются случайные величины, на которые оказывают влияние два независимых резко доминирующих фактора, распределенных по закону равной вероятности.

Для закона равнобедренного треугольника плотность равномерного распределения:

$$\begin{cases} 0, & \text{при } x < x_1, x > x_2; \\ \frac{4}{(x_2 - x_1)^2} (x - x_1), & \text{при } x_1 < x \leq \frac{x_1 + x_2}{2}; \\ \frac{4}{(x_2 - x_1)^2} (x_2 - x), & \text{при } \frac{x_1 + x_2}{2} \leq x < x_2. \end{cases} \quad (4.27)$$

Математическое ожидание:

$$m_x = \frac{x_1 + x_2}{2}. \quad (4.28)$$

Среднее квадратическое отклонение:

$$\sigma = \frac{x_2 - x_1}{\sqrt{6}}. \quad (4.29)$$

В практике технических измерений в силу объективных причин объем единичных измерений n ограничен. В связи с этим в качестве оценок дисперсии $D_x (\sigma^2)$ и математического ожидания m_x генеральной совокупности результатов измерений используют соответственно выборочную дисперсию S_x^2 и выборочное среднее арифметическое значение \bar{x} .

Для оценки вероятности отклонения выборочного среднего значения от математического ожидания генеральной совокупности используют *распределение Стьюдента* (или t -распределение), в котором

$$t = \frac{(\bar{x} - m_x) \sqrt{n}}{S_x}. \quad (4.30)$$

Вид распределения Стьюдента (рис. 4.8, г) зависит от числа степеней свободы $k = n - 1$ (т.е. от количества единичных измерений n), по которым находится среднее арифметическое значение. При $k \rightarrow \infty$ $S_x^2 \rightarrow \sigma^2$, поэтому форма кривой распределения Стьюдента с увеличением k приближается к нормальному (при $k > 20$ кривые практически совпадают).

В центрированном виде функция распределения Стьюдента имеет вид

$$f(t) = \frac{\Gamma\left(\frac{k+2}{2}\right)}{\sqrt{k} \pi \Gamma\left(\frac{k}{2}\right)} \cdot \left(1 + \frac{t^2}{k}\right)^{-\frac{k+1}{2}}, \quad (4.31)$$

где $\Gamma(x)$ – гамма-функция (интеграл Эйлера 2-го рода).

Для нормированного распределения Стьюдента при $k > 4$

$$\sigma = \sqrt{\frac{n-1}{n-3}} = \sqrt{\frac{k}{k-2}}. \quad (4.32)$$

При $k > 2$ СКО становится равным бесконечности, т.е. дисперсионная оценка ширины разброса перестает существовать.

Распределения Стьюдента нашли широкое применение при статистической обработке результатов многократных измерений.

Знание закона распределения результатов измерений позволяет рассчитать интервальные показатели точности измерений, т.е. интервалы, в которых с заданной вероятностью находятся значения

погрешности измерения. При принятии ошибочной гипотезы относительно закона распределения могут возникнуть значительные методические погрешности результата измерений.

Рассмотренные числовые характеристики m_x , D_x и σ оценивают непрерывно изменяющиеся случайные величины. В реальных условиях все результаты измерений и случайные погрешности являются дискретными величинами, полученными путем обработки ограниченного числа измерений. Если известно, что генеральная совокупность результатов измерений подчиняется определенному закону распределения, то для практического применения, например определения погрешности измерения или доверительных интервалов, достаточно ограничиться нахождением статистических характеристик, т.е. точечных оценок характеристик m_x , D_x , σ [16]. Точечные оценки являются случайными величинами, значения которых зависят от объема выборок экспериментальных данных, а закон их распределения определяется законом распределения генеральной совокупности результатов измерений.

Точечной оценкой математического ожидания результатов измерений является *среднее арифметическое значение* измеряемой величины

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad (4.33)$$

где n — число единичных измерений;
 x_i — результат i -го единичного измерения;

Точечная оценка *дисперсии* определяется по формуле

$$\tilde{D}[x] = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2. \quad (4.34)$$

Среднее квадратическое отклонение результатов измерений, характеризующих рассеивание единичных результатов измерений около их среднего значения, вычисляется по следующей формуле

$$S_x = \sqrt{\tilde{D}[x]} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}. \quad (4.35)$$

В метрологии это отклонение называется *средней квадратической погрешностью результатов единичных измерений в ряде измерений* или *средней квадратической погрешностью* (СКП).

Поскольку число n единичных измерений x_i в ряду измерений x_1, x_2, \dots, x_n , как правило, ограничено, то при повторении серии

единичных измерений этой же величины получилось бы новое значение среднего арифметического \bar{x} . Повторив многократно серии измерений и вычисляя каждый раз их среднее арифметическое значение, принимаемое за результат измерений, можно убедиться в рассеивании средних арифметических значений. Характеристикой этого рассеивания является *средняя квадратическая погрешность (отклонение) результата измерений среднего арифметического*:

$$S_{\bar{x}} = \frac{S_x}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}. \quad (4.36)$$

Из формулы (4.36) видно, что погрешность среднего арифметического значения из ряда измерений $S_{\bar{x}}$ всегда меньше, чем погрешность единичных измерений S . Формула (4.36) определяет фундаментальный закон теории погрешностей, согласно которому если необходимо повысить точность результата (при исключенной систематической погрешности) в 2 раза, то число измерений нужно увеличить в 4 раза; если требуется увеличить точность в 3 раза, то число измерений увеличить в 9 раз и т.д. Теоретически при $n \rightarrow \infty$ случайную погрешность результата измерений можно было бы свести к нулю. Однако стремиться беспредельно уменьшать случайную погрешность результата измерений не имеет смысла, так как рано или поздно определяющим становится не рассеивание среднего арифметического, а недостоверность поправок на систематическую погрешность (неисключенная систематическая погрешность).

Средняя квадратическая погрешность результата измерений среднего арифметического $S_{\bar{x}}$ используется для определения погрешности результата измерений с многократными измерениями.

При обработке результатов измерений возникает необходимость суммирования погрешностей.

Исходя из положений теории вероятностей [23], дисперсия суммы независимых случайных величин x_1, x_2, \dots, x_n равна арифметической сумме дисперсий этих величин

$$\tilde{D}[x]_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n D[x_i]$$

или

$$S_{x_{\Sigma}}^2 = \sum_{i=1}^n S_{x_i}^2. \quad (4.37)$$

Средние квадратические отклонения независимых случайных величин суммируются геометрически:

$$S_{x_{\Sigma}} = \sqrt{\sum_{i=1}^n S_{x_i}^2}. \quad (4.38)$$

Если взаимосвязь между i -ми составляющими имеется, то такие погрешности называют *коррелированными* и вводят коэффициент корреляции. Коррелированными считают такие погрешности, которые вызваны одной общей причиной, например, изменением температуры или вибрациями. Обычно принимают коэффициент корреляции равным $\pm 1,0$ и СКО суммируют арифметически

$$S_{x_{\Sigma}} = \sum_{i=1}^n S_{x_i}. \quad (4.39)$$

Для практики важно не только получить точечную оценку характеристик измеряемой величины, но и определить интервал, в котором с доверительной вероятностью будет находиться истинное значение параметра.

Рассмотрим определение доверительного интервала результата измерений при отсутствии систематической погрешности.

Вероятность того, что истинное значение x измеряемой величины находится в пределах от x_n до x_b

$$P \{x_n < x < x_b\} = 1 - q,$$

где q — уровень значимости.

Тогда P называют *доверительной вероятностью*, а интервал от x_n до x_b — *доверительным интервалом результата измерений*.

Если значение случайной величины x подчиняется нормальному закону распределения, то доверительный интервал симметричен относительно точечной оценки \bar{x} и определяется из таблиц значений интегральной функции Лапласа $\Phi_0(z)$:

$$x_n = \bar{x} - z_p \cdot S_{\bar{x}}, \quad x_b = \bar{x} + z_p \cdot S_{\bar{x}},$$

где z_p — аргумент функции Лапласа $\Phi_0(z)$, отвечающий вероятности $P/2$.

$\pm z_p \cdot S_{\bar{x}}$ — доверительные границы погрешности результата измерений.

Полученный доверительный интервал определяется по формуле

$$P \{ \bar{x} - z_p \cdot S_{\bar{x}} < x < \bar{x} + z_p \cdot S_{\bar{x}} \} = 2 \Phi_0(z). \quad (4.40)$$

Вычисление доверительных границ производится, как правило, с доверительной вероятностью $P = 0,90; 0,95$ или $0,99$.

Пример 4.4. Выполнено 45 единичных измерений линейного размера детали с помощью индикатора часового типа, установленного на стойке. Получены следующие исправленные результаты измерений:

$\bar{x} = 19,95$ мм, $S_{\bar{x}} = 0,13$ мм. Определить доверительный интервал результата измерений, если закон распределения — нормальный, а доверительная вероятность $P = 0,95$.

1. По формуле (4.36) найдем СКП результата измерений среднего арифметического, мм:

$$S_{\bar{x}} = \frac{0,13}{\sqrt{45}} = 0,02.$$

2. По таблице, приведенной в прил. 1, определим для $P/2 = \Phi_0(z_p) = 0,475$ аргумент функции Лапласа $z_p = 1,96$.

Следовательно, доверительный интервал результата измерений, мм: $(19,95 - 0,02 \cdot 1,96) < x < (19,95 + 0,02 \cdot 1,96)$ или $19,91 < x < 19,99$.

При нахождении случайной погрешности с использованием функции Лапласа доверительная вероятность по формуле (4.40) характеризует вероятность того, что отдельные единичные измерения x_i не будут отклоняться от истинного значения более чем $\pm z_p S_{\bar{x}}$ при большом числе измерений. Однако при определении доверительного интервала при многократных измерениях важнее знать отклонение от истинного значения среднего арифметического значения ряда измерений. Из математической статистики известно, что если результат единичных измерений при небольшом числе измерений подчиняется нормальному закону, то распределение средних арифметических значений ряда измерений подчиняется закону Стьюдента с тем же средним арифметическим значением \bar{x} . Особенностью распределения Стьюдента является то, что доверительный интервал с уменьшением числа измерений расширяется по сравнению с нормальным законом распределения при той же доверительной вероятности. В связи с этим при ограниченном числе измерений, определяя доверительный интервал, рекомендуется использовать распределение Стьюдента.

Вероятность того, что величина t распределения Стьюдента, определяемая по формуле (4.30), в результате выполнения измерений примет некоторое значение в интервале от $-t_p$ до t_p вычисляется по формуле

$$P \{ -t_p < t < t_p \} = \int_{-t_p}^{+t_p} f(t) dt = 2 \int_0^{t_p} f(t) dt, \quad (4.41)$$

где $f(t)$ — функция распределения Стьюдента (см. формулу 4.31); t_p — коэффициент Стьюдента.

Величины t_p , рассчитанные для различных значений доверительной вероятности и числа измерений, табулированы и используются для определения доверительных интервалов при ограниченном числе измерений (см. подразд. 5.1).

4.5. Выбор характеристик погрешности

Характеристики погрешности измерений, используемые в метрологии и технических измерениях, по области применения можно разбить на две группы [15].

К первой группе относятся характеристики, задаваемые в виде требуемых или допускаемых значений (норм), а также установленные для методик выполнения измерений на основании их предварительной аттестации. Характеристики погрешности измерений этой группы являются вероятностными, отражающими вероятностные свойства генеральной совокупности случайной величины. Значения этих характеристик (пределы допускаемых значений или максимально возможные значения) приписываются всей возможной совокупности результатов измерений, выполняемых по аттестованным методикам выполнения измерений, которые фиксируются в технической документации. Основной областью применения характеристик погрешности этой группы являются массовые технические измерения, выполняемые при технологической подготовке производства, в процессе производства или при эксплуатации продукции.

Ко второй группе относятся характеристики, оцениваемые непосредственно в процессе выполнения измерений и обработки их результатов. Эти характеристики являются статистическими (выборочными) оценками погрешности генеральной совокупности и отражают близость единичного результата измерений к истинному значению измеряемой величины. Основной областью их применения являются метрологические измерения и измерения, выполняемые при проведении научных исследований. Наряду с точностью оценки одним из основных требований, предъявляемых к характеристикам этой группы, является их информативность. Указанным требованиям удовлетворяют рассмотренные ранее интервальные и точечные характеристики погрешности измерений.

В инженерной практике, когда результаты измерений являются окончательными и их дальнейшая обработка не предусмотрена, нашли широкое применение интервальные характеристики погрешности: суммарная погрешность измерения задается, как правило, интервалом с границами $\pm\Delta$ при доверительной вероятности P . В этом

случае результат измерения записывается в виде $A = \bar{x} \pm \Delta P$. Этот способ выражения погрешности измерений используется при производственном контроле геометрических параметров деталей и узлов в машиностроении [22].

Недостатком оценивания погрешностей доверительными интервалами при правильно выбранных доверительных вероятностях является невозможность суммирования нескольких погрешностей, так как доверительный интервал суммы не равен сумме доверительных интервалов. Однако необходимость в суммировании погрешностей существует, например, при оценке результирующей погрешности по известным оценкам ее составляющих. Поэтому в тех случаях, когда результаты измерений используются совместно с другими результатами измерений, а также когда характеристики погрешности измерений необходимо использовать для расчета функционально связанных с ними величин, рекомендуется применять точечные характеристики погрешности.

4.6. Исключение промахов

Если заранее известно, что какой-либо результат измерения получен из-за грубой ошибки при проведении измерений (неверный отсчет или запись показаний, сбой показаний прибора и т.п.), этот результат считается *промахом* и его следует исключить из рассматриваемой совокупности результатов измерений, не подвергая никаким проверкам. Если же имеется сомнение, то каждый из промахов подлежит статистической проверке. Существует несколько критериев для оценки промахов [3, 14, 16].

Если число измерений $n \geq 20$ и распределение результатов измерений подчиняется нормальному закону, используют *критерий «трех сигм»*. По этому критерию считается, что результат x_i возникший с вероятностью $P \leq 0,003$ (0,3%), маловероятен и его логично считать промахом при

$$|\bar{x} - x_i| > 3\sigma. \quad (4.42)$$

При числе измерений $n < 20$ целесообразно применять *критерий Романовского*. При этом вычисляют отношение

$$|\bar{x} - x_i| / S_x = \beta, \quad (4.43)$$

где x_i — результат, вызывающий сомнение;
 β — коэффициент, предельное значение которого β_r (табличное) определяют по табл. 4.4.

Таблица 4.4

Значения $\beta_r = f(n, q)$ [14]

Уровень значимости q	Число измерений						
	$n = 4$	$n = 6$	$n = 8$	$n = 10$	$n = 12$	$n = 15$	$n = 20$
0,01	1,73	2,16	2,43	2,62	2,75	2,90	3,08
0,02	1,72	2,13	2,37	2,54	2,66	2,80	2,96
0,05	1,71	2,10	2,27	2,41	2,52	2,69	2,78
0,10	1,69	2,00	2,17	2,29	2,39	2,49	2,62

При $\beta \geq \beta_r$ результат измерения x_i исключают («отбрасывают»), так как этот результат является промахом.

Если число измерений невелико ($n \leq 10$), то можно использовать критерий Шовине. В этом случае считают, что результат x_i является промахом, если $|\bar{x} - x_i|$ превышает значения, приведенные далее:

$$|\bar{x} - x_i| > \begin{cases} 1,6S \text{ при } n = 3 \\ 1,7S \text{ при } n = 6 \\ 1,9S \text{ при } n = 8 \\ 2,0S \text{ при } n = 10. \end{cases} \quad (4.44)$$

Одним из наиболее удобных критериев для оценки промахов с достаточно высокой точностью, не требующим знания СКО, является вариационный критерий Диксона. Критерий Диксона основан на предположении, что результаты измерений подчиняются нормальному закону распределения. При его использовании полученные результаты единичных измерений записывают в вариационный возрастающий ряд x_1, x_2, \dots, x_n ($x_1 < x_2 < \dots < x_n$).

Критерий Диксона определяется как

$$K_d = \frac{x_n - x_{n-1}}{x_n - x_1}. \quad (4.45)$$

Если K_d больше критического значения Z'_q (табл. 4.5) при данном уровне значимости q ($q = 1 - P$), то результат x_i считают промахом.

Таблица 4.5

Критические значения критерия Диксона [15]

n	Z'_q при уровне значимости q , равном			
	0,10	0,05	0,02	0,01
4	0,68	0,76	0,85	0,89
5	0,56	0,64	0,73	0,78
6	0,48	0,56	0,64	0,70
7	0,43	0,51	0,60	0,64
8	0,40	0,47	0,54	0,59
9	0,37	0,44	0,51	0,56
10	0,35	0,41	0,48	0,53
12	0,32	0,38	0,44	0,48
14	0,29	0,35	0,41	0,45
16	0,28	0,33	0,39	0,43
18	0,26	0,31	0,37	0,41
20	0,26	0,30	0,36	0,39
25	0,23	0,28	0,33	0,36
30	0,22	0,26	0,31	0,34

Пример 4.5. При измерении диаметра вала микрометром были получены значения 12,24; 12,26; 12,28; 12,28; 12,31; 12,34; 12,40; 12,41; 12,42; 12,42; 12,45; 12,80 мм. Число измерений $n = 12$. Определить, является ли последний результат $x_{12} = 12,80$ мм промахом при $P = 0,95$ ($q = 1 - P = 0,05$).

Выполнив расчеты, получим значения: $\bar{x} = 12,38$ мм; $S_{\bar{x}} = 0,15$ мм. Так как $n < 20$, для определения промахов используем критерий Романовского, рассчитав его по формуле (4.43)

$$\beta = \frac{|\bar{x} - x_{12}|}{S} = \frac{|12,38 - 12,80|}{0,15} = 0,28.$$

Для $n = 12$ и $q = 0,05$ $\beta_r = 2,52$ (см. табл. 4.4), т.е. $\beta < \beta_r$ и результат $x_i = x_{12} = 12,80$ мм необходимо отбросить, так как он является промахом.

Пример 4.6. При измерении диаметра вала микрометром были получены значения: 30,12; 30,27; 30,28; 30,29; 30,32; 30,38 мм. Число измерений $n = 6$. Определить, является ли первый результат $x_1 = 30,12$ мм промахом.

Выполнив расчеты, получим значения: $\bar{x} = 30,28$ мм; $S_{\bar{x}} = 0,086$ мм. Так как $n < 10$, для определения промахов используем критерий Шовине:

$$|\bar{x} - x_1| = |30,28 - 30,12| = 0,16,$$

что больше, чем $1,7S = 0,146$ мм. Следовательно, причиной появления результата $x_i = x_1 = 30,12$ мм является промах и этот результат необходимо исключить из полученного ряда результатов измерений.

Пример 4.7. При измерении радиального биения шейки вала были получены значения 10, 11, 12, 12, 15 мкм. Определить, является ли результат $x_5 = 15$ мкм промахом.

Для крайнего члена этого ряда (15 мкм) критерий Диксона $K_d = (15 - 12) : (15 - 10) = 0,6$.

Следовательно, $K_d > Z'_q$ и результат 15 мкм может быть отброшен как промах лишь при уровне значимости $q = 0,10$.

После исключения результатов, содержащих промахи, определяют новые значения \bar{x} и $S_{\bar{x}}$ и, если есть сомнения, процедуру проверки наличия промахов повторяют.

4.7. Правила округления и записи результатов измерений

Основные правила округлений и записи результатов измерений приведены далее.

1. Числовое значение результата измерения округляют в соответствии с числовым разрядом значащей цифры погрешности измерений.

Лишние цифры в целых числах заменяют нулями, в десятичных дробях — отбрасывают. Если десятичная дробь оканчивается нулями, их отбрасывают только до того разряда, который соответствует разряду погрешности.

Пример 4.8. Результат 1,072000, погрешность $\pm 0,0001$. Результат округляют до 1,0720.

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

Если первая из этих цифр равна 5, а за ней не следует никаких цифр, или идут нули, то, если последняя цифра в округляемом числе четная или нуль, она остается без изменения, если нечетная — увеличивается на единицу.

Пример 4.9. Число 1234,50 округляют до 1234; 8765,50 — до 8766.

Если первая из заменяемых нулями или отбрасываемых цифр больше 5 или равна 5, но за ней следует значащая цифра, то последняя остающаяся цифра увеличивается на единицу.

Пример 4.10. Число 6783,6 округляют до 6784; 12,34501 до 12,35.

2. Погрешность, возникающая в результате вычислений, не должна превышать 10% суммарной погрешности измерений. В связи с этим, если над результатами измерений предстоит произвести некоторые математические операции, то при округлении результатов в соответствии с правилом 1 добавляют один разряд справа, т.е. в первом примере результат 1,072000 нужно округлить не до 1,0720, а до 1,07200.

3. Если в процессе вычисления встречается операция деления, бессмысленно продолжать ее по правилам арифметики, после того, как получается результат, соответствующий правилу 1.

4. Для определения числа знаков при вычислении погрешностей измерений следует учитывать, что погрешность определения значения погрешности достаточно велика, порядка 30% при $n = 10$ и порядка 15% при $n = (20...25)$, поэтому при $n < 10$ следует оставлять одну значащую цифру, если она больше 3, и две, если первая из них меньше 4.

Пример 4.11. Если $n = 10$, $S_{\bar{x}} = 0,523$, то оставляем значение $\bar{x} = 0,5$;

если при $n = 10$ $S_{\bar{x}} = 0,253$, то оставляем значение $S_{\bar{x}} = 0,25$.

При $n \geq 10$, достаточно надежно оставлять во всех случаях две значащие цифры.

Контрольные вопросы

1. Сформулируйте основные аксиомы метрологии.
2. Что такое измерение ФВ?
3. Каковы основные виды измерений?
4. Какие основные методы измерений вы знаете?
5. Дайте определения основным видам измерений.
6. Дайте определения основным методам измерений.
7. Что такое контроль и чем он отличается от измерения?
8. По каким признакам классифицируют погрешности измерений?

9. Дайте определения и приведите примеры систематических и случайных погрешностей измерений, промахов.
10. Приведите формулы для определения абсолютной, относительной и приведенной погрешности измерения.
11. Назовите составляющие погрешности измерения геометрических параметров деталей.
12. Приведите основные методы исключения систематических погрешностей.
13. Приведите количественные оценки случайных погрешностей измерений.
14. Что такое доверительный интервал результата измерений?
15. Каковы критерии для исключения промахов?
16. Дайте определение исправленного результата измерения.
17. Приведите формулы для суммирования коррелированных и некоррелированных погрешностей.
18. В каких случаях для расчета доверительного интервала результата измерения используют распределение Стьюдента?
19. Назовите основные характеристики погрешностей измерения и область их применения.
20. Сформулируйте правила округления результатов измерений.

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

5.1. Многократные прямые измерения

Обработка результатов многократных измерений, согласно ГОСТ 8.207 «ГСИ. Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдений. Основные положения», заключается в нахождении результата измерения ФВ и доверительного интервала, в котором находится ее истинное значение.

Исходной информацией для обработки является ряд из n ($n > 4$) результатов единичных измерений x_1, x_2, \dots, x_n , из которых исключены известные систематические погрешности. Число измерений зависит от требований к точности получаемого результата и от реальной возможности выполнения повторных измерений.

Последовательность обработки результатов многократных измерений включает в себя 10 этапов:

- 1) исключение из результатов измерений известных систематических погрешностей;
- 2) вычисление среднего арифметического значения \bar{x} измеряемой величины из n единичных результатов;
- 3) вычисление средней квадратической погрешности единичных измерений в ряду измерений S_x ;
- 4) исключение промахов (грубых погрешностей измерений);
- 5) вычисление средней квадратической погрешности результата измерений среднего арифметического $S_{\bar{x}}$;
- 6) проверку гипотезы о принадлежности результатов измерений нормальному закону;
- 7) вычисление доверительных границ случайной погрешности результата измерений $\pm\epsilon$;

8) вычисление доверительных границ неисклоченной систематической погрешности результата измерений $\pm\theta$;

9) вычисление доверительных границ погрешности результата измерений $\pm\Delta$;

10) представление результата измерения в виде $A = \bar{x} \pm \Delta, P$, где P — доверительная вероятность.

Известные систематические погрешности исключают введением в результат измерений соответствующих поправок, численно равных систематическим погрешностям, но противоположным им по знаку (см. подраздел 4.3). Поправку вводят в результаты единичных измерений, а если известно, что результаты всех единичных измерений имеют одинаковые систематические погрешности, ее исключают из среднего арифметического значения измеряемой величины.

Среднее арифметическое значение измеряемой величины из n единичных результатов \bar{x} рассчитывают по формуле (4.33).

Для определения средней квадратической погрешности единичных измерений в ряду измерений S_x используют формулу (4.35).

Промахи (грубые погрешности) могут сильно исказить результат измерений, поэтому их исключение из ряда измерений обязательно. Методика исключения промахов приведена в подразд. 4.6.

Среднюю квадратическую погрешность результата измерений среднего арифметического значения $S_{\bar{x}}$ вычисляют по формуле (4.36).

Гипотезу о принадлежности результатов измерений нормальному закону проверяют с помощью критериев ω^2 или χ^2 , если число измерений $n > 50$; составной критерий используют, если $15 < n < 50$ [3]. При $n \leq 15$ гипотезу о нормальном законе распределения результатов измерений не проверяют, предполагая, что вид закона распределения известен заранее. Это, как правило, нормальный закон [14–17].

При заданном значении доверительной вероятности P и числе единичных измерений n по таблицам (например, по табл. 5.1) определяют коэффициент Стьюдента t_p .

Таблица 5.1

Значения коэффициента Стьюдента t_p (ГОСТ 8.207–76)

P	n									
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15
0,95	12,706	4,303	3,182	2,776	2,571	2,447	2,365	2,306	2,262	2,145
0,99	63,657	9,925	5,841	4,604	4,032	3,707	3,499	3,355	3,250	2,977

Доверительные границы случайной погрешности результата измерений определяют по следующей формуле:

$$\varepsilon = \pm t_p \cdot S_{\bar{x}}. \quad (5.1)$$

Доверительные границы неисклоченной систематической погрешности измерения, если можно выделить ее составляющие θ_i , устанавливают по формуле

$$\theta = k \cdot \sqrt{\sum_{j=1}^m \theta_j^2}, \quad (5.2)$$

где k — коэффициент (табл. 5.2), определяемый принятой доверительной вероятностью P и числом m составляющих неисклоченной систематической погрешности;
 θ_j — границы j -й составляющей этой погрешности.

Таблица 5.2

Значения коэффициента k (ГОСТ 8.207–76)

P	m			
	5 и более	4	3	2
0,95	1,1			
0,99	1,45	1,40	1,30	1,20

Доверительную вероятность для вычисления границ неисклоченной систематической погрешности принимают той же, что и при вычислении доверительных границ случайной погрешности результата измерения.

В соответствии с ГОСТ 8.207–76 суммирование неисклоченной систематической и случайной погрешностей измерения осуществляют по следующим правилам.

1. Если отношение $\frac{\theta}{S_{\bar{x}}} < 0,8$, то неучтенной систематической

погрешностью по сравнению со случайной погрешностью пренебрегают¹ и принимают, что доверительные границы погрешности результата измерения $\Delta = \varepsilon$.

2. Если отношение $\frac{\theta}{S_{\bar{x}}} > 0,8$, то случайной погрешностью по

сравнению с неучтенной систематической пренебрегают и принимают

¹ Погрешность, возникающая из-за пренебрежения одной из составляющих погрешности, не превышает 15%.

ют, что доверительные границы погрешности результата измерения $\Delta = \theta$.

3. Если $0,8 \leq \frac{\theta}{S_{\bar{x}}} \leq 8,0$, то доверительные границы погрешности

результата измерений вычисляют по формуле

$$\Delta = K \cdot S_{\Sigma}, \quad (5.3)$$

где K — коэффициент, зависящий от соотношения случайной и неисключенной систематической погрешности;
 S_{Σ} — суммарная средняя квадратическая погрешность результата измерений:

$$K = \frac{\varepsilon + \theta}{S_{\bar{x}} + \sqrt{\sum_{j=1}^m \frac{\theta_j^2}{3}}}; \quad (5.4)$$

$$S_{\Sigma} = \sqrt{\frac{x}{2} + \sum_{j=1}^m \frac{\theta_j^2}{3}}. \quad (5.5)$$

Если составляющие неисключенной систематической погрешности не установлены, а величина ε соизмерима с абсолютным значением погрешности средства измерений $\Delta_{\text{СИ}}$, то величину $\Delta_{\text{СИ}}$ считают неисключенной систематической погрешностью и в качестве доверительных границ погрешности результата измерений принимают величину [3]

$$\Delta = \sqrt{\varepsilon^2 + \left[\frac{t(\infty)}{3} \cdot \Delta_{\text{СИ}} \right]^2} = \sqrt{\varepsilon^2 + \left[\frac{1,96}{3} \cdot \Delta_{\text{СИ}} \right]^2}. \quad (5.6)$$

Окончательный результат записывают в виде $A = \bar{x} \pm \Delta$, P , выполняя округление результатов расчета по правилам, изложенным в главе 4.

При отсутствии данных о законах распределения погрешностей измерения результат измерения представляют в виде $X = \bar{x}; S_{\bar{x}}, n; \theta, P$.

Пример 5.1. При многократном измерении диаметра вала $\varnothing 30 \text{ h9}_{(-0,052)}$ микрометром МК25-1 получены следующие результаты: 29,94; 29,95; 29,96; 29,97; 29,97; 29,98; 29,98 мм. Неучтенная систематическая погрешность, вызванная отклонением температуры вала от нормальной, $\theta = 2$ мкм.

Определить, является ли результат $x_1 = 29,94$ мм промахом, найти и записать в стандартной форме результат измерений (доверительная вероятность $P = 0,95$).

1. Определим среднее арифметическое значение измеряемой величины, мм:

$$\bar{x} = \frac{29,94 + 29,95 + 29,96 + 29,97 + 29,97 + 29,98 + 29,98}{7} = 29,964.$$

2. Рассчитаем СКП единичных измерений, мм:

$$S_x = \sqrt{\frac{1}{7-1} (0,024^2 + 0,014^2 + 0,004^2 + 0,006^2 + 0,006^2 + 0,016^2 + 0,016^2)} = 0,15.$$

3. Так как число измерений $n < 10$, а закон распределения результатов единичных измерений неизвестен, промах вычислим с использованием критерия Романовского (см. подразд. 4.6):

$$\beta = \frac{|29,964 - 29,94|}{0,035} = 1,6.$$

Для ближайшего меньшего $n = 6$ и $q = 0,05$ (при $P = 0,95$) по табл. 4.4 найдем $\beta_T = 2,10$, т.е. $\beta < \beta_T$ и результат $x_1 = 29,94$ промахом не является.

4. Определим СКП результата измерений среднего арифметического значения, мм:

$$S_{\bar{x}} = \frac{0,015}{\sqrt{7}} = 0,0057.$$

5. Для заданной вероятности $P = 0,95$ и числа измерений $n = 7$ по табл. 5.1 установим значение коэффициента Стьюдента $t = 2,447$. Тогда доверительные границы случайной погрешности результата измерений, мм:

$$\varepsilon = \pm 2,447 \cdot 0,0057 = \pm 0,014.$$

6. Так как отношение $\frac{\theta}{S_{\bar{x}}} = \frac{0,002}{0,0057} = 0,35 < 0,8$, то неучтенной систематической погрешностью по сравнению со случайной погрешностью измерения пренебрежем и примем доверительные границы погрешности результата измерений, мм:

$$\Delta = \varepsilon = \pm 0,014.$$

7. Результат измерений запишем в виде

$$A = 29,964 \pm 0,014, 0,95.$$

При обработке *многократных прямых неравноточных измерений* (измерений одной и той же величины, выполненные с различной точностью, различными приборами, различными операторами и т.д.) нельзя просто вычислять среднее арифметическое, поскольку

это привело бы к увеличению погрешности за счет измерений, выполненных недостаточно тщательно или с недостаточной точностью.

При вычислении среднего арифметического неравнозначных измерений предпочтение следует отдавать измерениям, выполненным с наибольшей точностью. Для этого каждому результату приписывают определенный «вес», т.е. число, характеризующее степень доверия к тому или иному отдельному результату измерений, входящему в ряд неравнозначных измерений.

Тогда при неравнозначных измерениях с весами результатов равнозначных измерений g_i в качестве результата принимают *среднее взвешенное значение* величины. Его определяют по следующей формуле:

$$\bar{x}_в = \frac{1}{\sum_{i=1}^m g_i} \sum_{i=1}^m g_i \bar{x}_i, \quad (5.7)$$

где \bar{x}_i — среднее арифметическое ряда равнозначных измерений:

$$\bar{x}_1 = \frac{1}{n_1} \sum_{j=1}^{n_1} x_{1j}; \quad \bar{x}_2 = \frac{1}{n_2} \sum_{j=1}^{n_2} x_{2j}; \quad \dots; \quad \bar{x}_i = \frac{1}{n_i} \sum_{j=1}^{n_i} x_{ij}; \quad \bar{x}_m = \frac{1}{n_m} \sum_{j=1}^{n_m} x_{mj}, \quad (5.8)$$

где x_{ij} — единичное измерение ($j = 1, 2, \dots, n$) в ряду равнозначных измерений;
 n_1, n_2, \dots, n_m — число измерений в i -м ряду равнозначных измерений;
 m — число рядов равнозначных измерений.

Вес результата i -го ряда равнозначных измерений определяют по формуле

$$g_i = \frac{n_i}{S_{x_i}^2} C, \quad (5.9)$$

где n_i и $S_{x_i}^2$ — объем и дисперсия i -го ряда равнозначных измерений соответственно;
 C — любое, отличное от нуля число.

Обычно C выбирают таким образом, чтобы $\sum_{i=1}^m g_i = 1$.

Среднюю квадратичную погрешность результата измерений среднего взвешенного значения $S_{\bar{x}_в}$ определяют по формуле

$$S_{\bar{x}_в} = \sqrt{\frac{C}{\sum_{i=1}^m g_i}}. \quad (5.10)$$

Далее обработку ведут как для равнозначных измерений, подставляя в формулы вместо \bar{x} и $S_{\bar{x}}$ значения $\bar{x}_в$ и $S_{\bar{x}_в}$.

Пример 5.2. Произведены три серии измерений одного и того же диаметра вала $\varnothing 16 h9_{(-0,043)}$ средств измерений различной точности: микрометром гладким, микрометром рычажным и скобой индикаторной. Объем каждой серии измерений $n_1 = n_2 = n_3 = 8$.

Получены следующие исправленные результаты измерений: микрометром гладким $\bar{x}_1 = 15,97$ мм, $S_{x_1} = 4$ мкм; микрометром рычажным $\bar{x}_2 = 15,986$ мм, $S_{x_2} = 2$ мкм; скобой индикаторной $\bar{x}_3 = 15,99$ мм, $S_{x_3} = 6$ мкм. Неучтенные систематические погрешности отсутствуют.

Найти и записать в стандартной форме результат измерений:

1. Определим по формуле (5.9) веса каждой серии измерений

$$g_1 = \frac{8}{4^2} C = 0,5C; \quad g_2 = \frac{8}{2^2} C = 2C; \quad g_3 = \frac{8}{6^2} C = 0,22C.$$

Учитывая, что $g_1 + g_2 + g_3 = 1,0$, найдем $C = 1 : (0,5 + 2 + 0,22) = 0,368$. Тогда $g_1 = 0,5 \cdot 0,368 = 0,18$; $g_2 = 2 \cdot 0,368 = 0,74$; $g_3 = 0,22 \cdot 0,368 = 0,08$.

2. Рассчитаем по формуле (5.7) среднее взвешенное значение средних арифметических, мм:

$$\bar{x}_в = \frac{15,97 \cdot 0,18 + 15,986 \cdot 0,74 + 15,99 \cdot 0,08}{0,18 + 0,74 + 0,08} = 15,9834.$$

3. Вычислим по формуле (5.10) СКП результата измерений среднего взвешенного значения, мм:

$$S_{\bar{x}_в} = \sqrt{\frac{0,368}{1}} = 0,6.$$

4. По формуле (5.1) определим доверительные границы случайной погрешности результата измерения, мм, при доверительной вероятности $P = 0,95$:

$$\varepsilon = \pm 2,365 \cdot 0,6 = \pm 1,419 \approx \pm 1,4.$$

5. Учитывая, что неучтенные систематические погрешности отсутствуют, примем $\Delta = \varepsilon$ и результат измерений запишем в следующем виде:

$$A = 15,9834 \pm 0,0014, 0,95.$$

Для проверки равнозначности двух рядов измерений используют дисперсионный критерий Фишера [15]. При этом вычисляют

дисперсии $S_{x_1}^2$ и $S_{x_2}^2$ для каждого ряда измерений, а затем находят дисперсионное отношение Фишера:

$$F = \frac{S_{x_1}^2}{S_{x_2}^2}, \quad (5.11)$$

причем необходимым условием является $S_{x_1}^2 \geq S_{x_2}^2$. Измерения считаются *неравноточными*, если F попадает в критическую область: $F > F_q$. Значения F_q для различных уровней значимости q и числа степеней свободы $k_1 = (n_1 - 1)$ и $k_2 = (n_2 - 1)$, где n_1 и n_2 — число измерений в первом и во втором ряду измерений соответственно, приведены в приложении 2.

Пример 5.3. Произведены две серии измерений отклонений от круглости шейки вала кругломером в различных условиях измерений. Объем каждой серии $n_1 = n_2 = 9$. Получены следующие исправленные результаты измерений: первая серия $\bar{x}_1 = 4,2$ мкм, $S_{x_1} = 0,6$ мкм; вторая серия $\bar{x}_2 = 4,6$ мкм, $S_{x_2} = 0,2$ мкм.

Установить, являются ли измерения равноточными при уровне значимости $q = 0,05$.

По критерию Фишера $F = 0,6^2 : 0,2^2 = 9$. Полученное значение F больше $F_q = 3,44$ для $q = 0,05$ и $k_1 = k_2 = 8$ (см. прил. 2), следовательно, измерения являются неравноточными.

5.2. Однократные измерения

Большинство технических измерений являются однократными. В производственных условиях их точность может быть вполне приемлемой, а простота и высокая производительность ставят однократные измерения вне конкуренции. При однократных измерениях процедура измерений регламентируется заранее, с тем чтобы при известной точности средств измерений и условиях измерения погрешность не превысила определенное значение, т.е. значения Δ и P заданы априори. Так как такие измерения выполняют без повторений, то нельзя отделить случайные погрешности от систематических. Для оценки погрешности дают лишь ее границы с учетом возможных влияющих величин.

Однократные измерения возможны при следующих условиях [16]:

— объем априорной информации об объекте измерений такой, что однократные измерения не вызывают сомнений;

— изучен метод измерения, его погрешности либо заранее устранены, либо оценены;

— метрологические характеристики средств измерений соответствуют установленным нормам.

При однократных измерениях возможно образование инструментальной, методической и субъективной погрешностей. Если последние две погрешности не превышают 15% погрешности средства измерений, тогда погрешность измерения принимают равной погрешности используемого средства измерений [16]. Такая ситуация весьма часто имеет место на практике.

Как и при многократных измерениях, однократный отсчет показаний может содержать промах. Во избежание промаха при выполнении однократных измерений рекомендуется повторять измерения 2–3 раза, приняв за результат среднее арифметическое. Статистической обработке эти измерения не подвергаются. В простейшем случае, если влияющие величины соответствуют нормальной области значений, погрешность результата прямого однократного измерения равна основной погрешности средства измерений $\Delta_{с.и.}$, определяемой по нормативно-технической документации. Тогда результат измерения записывают в виде

$$A = x_{с.и.} \pm \Delta_{с.и.}, P, \quad (5.12)$$

где $x_{с.и.}$ — результат (среднее арифметическое значение из 2–3 единичных измерений), зафиксированный средством измерений.

Доверительная вероятность P , как правило, составляет 0,95.

При проведении измерений в условиях, отличных от нормальных, необходимо определять и учитывать пределы дополнительных погрешностей, вызванных этими отличиями (см. подразд. 6.2).

Пример 5.4. Произведены измерения длины $L = 50 \pm 0,3$ мм стержня штангенциркулем ШЦ-II, основная погрешность которого составляет $\Delta_{с.и.} = \pm 0,05$ мм. Получены следующие результаты: $x_1 = 50,10$ мм; $x_2 = 50,20$ мм; $x_3 = 50,15$ мм. Записать окончательный результат измерений в стандартной форме.

Среднее арифметическое измеряемого размера $x_{с.и.} = 50,15$ мм. Результат измерения запишем в виде

$$A = 50,15 \pm 0,05, 0,95.$$

Методика прямых однократных измерений с точным оцениванием погрешностей приведена в рекомендациях Р 50.2.038–2004 «ГСИ. Измерения прямые однократные. Оценивание погрешностей и неопределенности результата измерений».

5.3. Косвенные измерения

Методика обработки результатов косвенных измерений установлена в рекомендациях МИ 2083-90 «ГСИ. Измерения косвенные. Определение результатов измерений и оценивание их погрешностей». При косвенных измерениях искомое значение ФВ находят расчетом на основании измерения других величин, связанных с измеряемой величиной известной зависимостью

$$A = f(a_1, a_2, \dots, a_m), \quad (5.13)$$

где a_1, a_2, \dots, a_m — подлежащие прямым измерениям аргументы функции A .

Поскольку каждый из аргументов a_i измеряется с некоторой погрешностью, то задача оценивания погрешности результата сводится к суммированию погрешностей измерения аргументов.

Рассмотрим оценку результата измерения и характеристик погрешности при косвенных измерениях с линейной зависимостью между оцениваемой величиной и измеряемыми аргументами и отсутствием корреляции (взаимной связи) между погрешностями аргументов.

Искомая величина A связана с m измеряемыми аргументами уравнением

$$A = \sum_{i=1}^m b_i a_i, \quad (5.14)$$

где b_i — постоянные коэффициенты.

Учитывая, что корреляция между погрешностями измерений a_i отсутствует, результат измерения \bar{A} определяют по формуле

$$\bar{A} = \sum_{i=1}^m b_i \bar{a}_i, \quad (5.15)$$

где \bar{a}_i — результат измерения a_i с введенными поправками на систематические погрешности.

Среднее квадратическое отклонение результата косвенных измерений

$$S_{\bar{A}} = \sqrt{\sum_{i=1}^m b_i^2 \cdot S^2(\bar{a}_i)}, \quad (5.16)$$

где $S(\bar{a}_i)$ — СКО результата измерений аргумента a_i .

Доверительные границы ϵ случайной погрешности \bar{A} при условии, что погрешности результатов измерений распределены по нормальному закону, вычисляют по формуле

$$\epsilon = \pm t_p S_{\bar{A}}, \quad (5.17)$$

где t_p — коэффициент Стьюдента, соответствующий доверительной вероятности P и числу степеней свободы f :

$$f = \frac{\left[\sum_{i=1}^m b_i^2 S^2(\bar{a}_i) \right]}{\sum_{i=1}^m \frac{b_i^4 S^4(\bar{a}_i)}{n_i + 1}} - 2. \quad (5.18)$$

Здесь n_i — число измерений при определении аргумента a_i .

Доверительные границы θ неисключенной систематической погрешности результата косвенного измерения и сумму θ и ϵ для получения окончательного значения Δ рекомендуется вычислять с использованием формул (5.1)–(5.5), в которых $S_{\bar{x}}$ заменяют на $S_{\bar{A}}$. При этом неисключенную погрешность определяют по следующей формуле:

$$\theta = k \sqrt{\sum_{i=1}^m b_i^2 \theta_i^2}. \quad (5.19)$$

Оценка результата измерения и характеристик погрешности при косвенных измерениях с нелинейной зависимостью между оцениваемой величиной и измеряемыми аргументами и отсутствием корреляции между погрешностями аргументов проводится с использованием метода линеаризации путем разложения нелинейной функции $f(a_1, a_2, \dots, a_m)$ в ряд Тейлора:

$$A = f(a_1, a_2, \dots, a_m) = f(\bar{a}_1, \bar{a}_2, \dots, \bar{a}_m) + \sum_{i=1}^m \frac{\partial f}{\partial a_i} \Delta a_i + R, \quad (5.20)$$

где $\frac{\partial f}{\partial a_i}$ — первая производная от функции f по аргументу a_i , вычисляемая

в точке $f(\bar{a}_1, \bar{a}_2, \dots, \bar{a}_m)$;

$\Delta a_i = a_i - \bar{a}_i$ — отклонение единичного результата измерения от его среднего арифметического значения;

R — остаточный член.

Метод линеаризации допустим, если можно пренебречь остаточным членом R , что возможно при

$$R < 0,8 \sqrt{\sum_{i=1}^m \left(\frac{\partial f}{\partial a_i} \right)^2 S^2(\bar{a}_i)}, \quad (5.21)$$

где $S(\bar{a}_i)$ — СКО случайных погрешностей результата измерений a_i -го аргумента.

Отклонения Δa_i при этом должны быть взяты из возможных значений погрешностей такими, чтобы они максимизировали R .

Результат измерений вычисляют по следующей формуле:

$$\bar{A} = f(\bar{a}_1, \bar{a}_2, \dots, \bar{a}_m). \quad (5.22)$$

Среднее квадратическое отклонение случайной погрешности результата косвенных измерений рассчитывают по формуле

$$S_{\bar{A}} = \sqrt{\sum_{i=1}^m \left(\frac{\partial f}{\partial a_i} \right)^2 S^2(\bar{a}_i)}. \quad (5.23)$$

Доверительные границы случайной и неисключенной систематической погрешностей результата измерений находят соответственно по формулам (5.17) и (5.19), заменяя коэффициент b_i на

$\frac{\partial f}{\partial a_i}$. Погрешность результата измерений оценивают так же, как при

определении погрешности в случае косвенных измерений с линейной зависимостью между оцениваемой величиной и измеряемыми аргументами.

В технических измерениях для определения результата и погрешности измерения можно использовать подход, основанный на методе математического программирования, который сводит аналитическую задачу к вычислительной [17]. За результат измерения \bar{A} принимается полусумма максимального и минимального значений функции A :

$$\bar{A} = \frac{A_{\max} + A_{\min}}{2}, \quad (5.24)$$

а абсолютная погрешность определяется размахом (полуразностью) этих значений

$$\Delta_{\bar{A}} = \frac{A_{\max} - A_{\min}}{2}. \quad (5.25)$$

В этом случае в информации о законе распределения аргументов нет необходимости.

Пример 5.5. Призматическая деталь в сечении представляет собой прямоугольный треугольник. В результате измерения катетов на часовом проекторе получили следующие результаты: длина противолежащего катета, мм, $a = 30 \pm 0,005, 0,95$; длина прилежащего катета, мм, $b = 64 \pm 0,005, 0,95$.

Найти результат и погрешность измерения угла α детали и записать результат измерения в стандартной форме.

1. Из уравнения косвенного измерения $\alpha = \arctg \frac{a}{b}$ найдем:

$$\alpha_{\min} = \arctg \frac{29,995}{64,005} = 26^\circ 51';$$

$$\alpha_{\max} = \arctg \frac{30,005}{63,995} = 26^\circ 52'.$$

2. По формулам (5.24), (5.25) рассчитаем:

$$\bar{\alpha} = (26^\circ 51' + 26^\circ 52') / 2 = 26^\circ 51' 30'';$$

$$\Delta_{\bar{\alpha}} = (26^\circ 51' - 26^\circ 52') / 2 = 30''.$$

3. Результат измерения запишем в виде:

$$\alpha = 26^\circ 51' 30'' \pm 30'', 0,95.$$

Пример 5.6. Определить плотность ρ материала в системе единиц СГС по результатам измерений объема V (объема вытесненной в мерной мензурке жидкости) и массы m двух образцов, изготовленных из анализируемого материала [15].

По результатам 10 измерений объема и 16 измерений массы первого образца было установлено:

- среднее арифметическое значение массы образца $\bar{m}_1 = 9,12$ г;
- среднее арифметическое значение объема образца $\bar{V}_1 = 1,16$ см³;

- СКО ряда измерений массы $S_{m_1} = 0,04$ г;
- СКО ряда измерений объема $S_{V_1} = 0,08$ см³.

По результатам 12 измерений объема и 12 измерений массы второго образца было установлено:

- среднее арифметическое значение массы образца $\bar{m}_2 = 11,86$ г;
- среднее арифметическое значение объема образца $\bar{V}_2 = 1,56$ см³;

- СКО ряда измерений массы $S_{m_2} = 0,06$ г;
- СКО ряда измерений объема $S_{V_2} = 0,04$ см³.

Зависимость между плотностью, объемом и массой определяется формулой $\rho = m/V$. Чтобы воспользоваться этой зависимостью для оценки действительного значения плотности материала, в рассматриваемом примере необходимо определить средние из двух рядов измерений (для двух образцов) значения массы и объема. Для этого необходимо проверить равнозначность результатов измерений в этих рядах.

Составим дисперсионное отношение по формуле (5.11) для рассматриваемых рядов измерений массы образцов

$$F_m = \frac{S_{m_2}^2}{S_{m_1}^2} = \frac{0,06^2}{0,04^2} = 2,25.$$

Найдем критическое значение критерия Фишера из прил. 2 для $q = 0,05$; $k_2 = 12 - 1 = 11$ и $k_1 = 16 - 1 = 15$; $F_q \approx 2,50$.

Поскольку $F_m = 2,25 < F_q = 2,50$, ряды измерений массы равнозначны.

Дисперсионное отношение для рядов измерений объема:

$$F_V = \frac{S_{V_1}^2}{S_{V_2}^2} = \frac{0,08^2}{0,04^2} = 4.$$

Критическое значение критерия Фишера для $q = 0,05$; $k_1 = 10 - 1 = 9$ и $k_2 = 12 - 1 = 11$; $F_q \approx 3,3$.

Так как $F_V = 4 > F_q = 3,3$ (см. прил. 2), то ряды измерений объема неравнозначны.

Следовательно, среднее значение массы m , г можно рассчитать как среднее арифметическое из масс двух образцов:

$$\bar{m} = \frac{\bar{m}_1 + \bar{m}_2}{2} = \frac{9,12 + 11,86}{2} = 10,49,$$

а среднее значение объема — как среднее взвешенное значение их объемов \bar{V}_b .

Для расчета \bar{V}_b определим по формуле (5.9) веса g_1 и g_2 рядов измерений \bar{V}_1 и \bar{V}_2 :

$$g_1 = \frac{n_{V_1} C}{S_{V_1}^2} = \frac{10C}{(0,08)^2} = 0,16 \cdot 10^4 C;$$

$$g_2 = \frac{n_{V_2} C}{S_{V_2}^2} = \frac{12C}{(0,04)^2} = 0,75 \cdot 10^4 C.$$

Полагая $g_1 + g_2 = 1$, найдем

$$C = \frac{1}{(0,16 + 0,75) \cdot 10^4} = 1,1 \cdot 10^{-4}; \quad g_1 = 0,18; \quad g_2 = 0,82.$$

Теперь, воспользовавшись формулой (5.7), вычислим среднее взвешенное значение отчетов, см²:

$$\bar{V}_b = \frac{g_1 \bar{V}_1 + g_2 \bar{V}_2}{g_1 + g_2} = \frac{0,18 \cdot 1,16 + 0,82 \cdot 1,56}{0,18 + 0,82} = 1,49.$$

Следовательно, действительное значение плотности материала, г/см³, может быть оценено как:

$$\bar{\rho} = \frac{\bar{m}}{\bar{V}_b} = \frac{10,49}{1,49} = 7,04.$$

Определим СКО погрешности этой оценки. Для этого предварительно рассчитаем значения частных производных функции $\rho = m/V$ по ∂m и ∂V при $m = \bar{m}$ и $V = \bar{V}_b$.

Частная производная по ∂m составит, 1/см³:

$$\left(\frac{\partial \rho}{\partial m} \right)_0 = \frac{1}{V_b} = \frac{1}{1,49} = 0,67.$$

Частная производная по ∂V составит, г/см⁶:

$$\left(\frac{\partial \rho}{\partial V} \right)_0 = -\frac{\bar{m}}{V_b^2} = -\frac{10,49}{(1,49)^2} = -4,72.$$

Вычислим по формулам (4.37) и (5.10) дисперсии погрешностей оценок:

— для \bar{m} , г²,

$$S_{\bar{m}}^2 = \frac{1}{4} (S_{\bar{m}_1}^2 + S_{\bar{m}_2}^2) = \frac{1}{4} \left(\frac{1}{n_{m_1}} S_{m_1}^2 + \frac{1}{n_{m_2}} S_{m_2}^2 \right) = \frac{1}{4} \left(\frac{(0,04)^2}{16} + \frac{(0,06)^2}{12} \right) = 1 \cdot 10^{-4};$$

— для \bar{V}_b , см⁶,

$$S_{\bar{V}_b}^2 = \frac{C}{g_1 + g_2} = 1,1 \cdot 10^{-4}.$$

Воспользовавшись формулой (5.23), подсчитаем оценку СКО погрешности результата косвенных измерений, г/см³:

$$S_{\bar{\rho}} = \sqrt{(0,67)^2 \cdot 10^{-4} + (-4,72)^2 \cdot 1,1 \cdot 10^{-4}} = 0,05.$$

И наконец, приняв, что систематические погрешности при измерениях m и V были полностью исключены и распределение погрешности — нормальное (такое допущение в рассматриваемом случае вполне оправдано, поскольку при расчетах $\bar{\rho}$ были объединены четыре ряда результатов измерений (m_1 , m_2 , V_1 , V_2), можно с вероятностью $P = 0,95$ утверждать, что действительное значение плотности материала, из которого изготовлены образцы, находится в пределах от $7,04 - 2 \cdot 0,05 = 6,94$ г/см³ до $7,04 + 2 \cdot 0,05 = 7,14$ г/см³.

Контрольные вопросы

1. Какова методика обработки многократных прямых равнозначных измерений?
2. В каком виде представляются результаты многократных измерений?
3. Как суммируются неисключенные систематические и случайные погрешности?

4. Каким образом производится проверка равноточности измерений?
5. Какова методика обработки многократных прямых неравноточных измерений?
6. При каких условиях возможны однократные измерения?
7. Какова возможная форма записи результата однократного измерения?
8. В чем заключается методика обработки результатов косвенных измерений?

СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

6.1. Виды средств измерений

Технической основой метрологического обеспечения являются средства измерений. *Средство измерений* — это техническое средство, предназначенное для измерений, имеющее нормированные метрологические характеристики, воспроизводящее и (или) хранящее единицу ФВ, размер которой принимают неизменным (в пределах установленной погрешности) в течение известного интервала времени.

Приведенное определение раскрывает суть средства измерений, заключающуюся, во-первых, в «умении» хранить (или воспроизводить) единицу ФВ; во-вторых, в неизменности размера хранимой единицы. Эти важнейшие факторы и обуславливают возможность выполнения измерения и отличают средство измерений от технического средства.

По метрологическому назначению средства измерений делятся на эталоны (см. подраздел 3.1) и рабочие средства измерений.

Рабочее средство измерений предназначено для измерений, не связанных с передачей размера единицы другим средствам измерений. Оно позволяет измерять размеры величин, необходимых в разнообразной деятельности человека.

Все средства измерений принято подразделять на меры, измерительные преобразователи, измерительные приборы, измерительные установки и измерительные системы.

Меры физической величины предназначены для воспроизведения и (или) хранения ФВ одного или нескольких заданных размеров, значения которых выражены в установленных единицах и известны с необходимой точностью. Различают однозначные и многозначные меры, а также наборы и магазины мер [5]. Меры, воспроизводящие

ФВ одного размера, называются *однозначными*. Воспроизводить ряд размеров ФВ, часто даже непрерывно заполняющих некоторый промежуток между определенными границами, могут многозначные меры. Наиболее распространенными многозначными мерами являются миллиметровая линейка, вариометр и конденсатор переменной емкости.

В наборах и магазинах отдельные меры могут объединяться в различных сочетаниях для воспроизведения некоторых промежуточных или суммарных, но обязательно дискретных размеров величин. В магазинах меры объединены в одно механическое целое, снабженное специальными переключателями, которые связаны с отсчетными устройствами. В противоположность этому набор состоит обычно из нескольких мер, которые могут выполнять свои функции как в отдельности, так и в различных сочетаниях друг с другом (набор концевых мер длины, набор гирь, набор мер индуктивности и т.д.).

К однозначным мерам относятся также стандартные образцы состава и свойств вещества и материалов и образцовые вещества.

Стандартные образцы состава и свойств веществ и материалов представляют собой специально оформленные тела или пробы вещества определенного и строго регламентированного содержания, одно из свойств которых при определенных условиях является величиной с известным значением. К ним относятся образцы твердости, шероховатости, белой поверхности, а также стандартные образцы, используемые при поверке приборов для определения механических свойств материалов. *Образцовые вещества* играют большую роль в создании реперных точек при построении шкал. Например, чистый цинк служит для воспроизведения температуры $419,58^{\circ}\text{C}$, золото — $1064,43^{\circ}\text{C}$.

При изготовлении в зависимости от погрешности меры разделяются на классы (например, плоскопараллельные концевые меры длины выпускают классов точности 0, 1, 2, 3, 4 и 5). В зависимости от погрешности аттестации меры подразделяются на разряды (мера 1-го, 2-го разрядов и т.д.). Меры, которым присвоен тот или иной разряд, в соответствии с поверочной схемой используются для поверки измерительных средств и называются *образцовыми* (см. рис. 3.3).

Измерительный преобразователь — это техническое средство с нормативными метрологическими характеристиками, служащее для преобразования измеряемой величины в другую величину или измерительный сигнал, удобный для обработки, хранения, дальнейших преобразований, индикации или передачи. К преобразователям относятся термпары, усилители, преобразователи давления.

Измерительные преобразователи, как правило, входят в состав какого-либо измерительного прибора (измерительной установки, измерительной системы и др.) или применяются вместе со средствами измерений. В состав большинства современных средств измерения и контроля линейных размеров, отклонений формы, расположения и шероховатости поверхностей деталей входят электроконтактные, пневмоэлектроконтактные, индуктивные, емкостные и другие преобразователи.

Преобразуемая величина называется *входной*, а результат преобразования — *выходной величиной*. Соотношение между ними задается *функцией преобразования* (статической характеристикой). Если в результате преобразования физическая природа величины не изменяется, а функция преобразования является линейной, то преобразователь называется *масштабным*, или *усилителем* (усилители напряжения, измерительные микроскопы, электронные усилители).

Измерительный прибор — это средство измерений, предназначенное для получения значений измеряемой ФВ в установленном диапазоне.

По способу отсчета значений измеряемых величин приборы подразделяются на *показывающие (аналоговые и цифровые)* и *регистрирующие*. Наибольшее распространение получили аналоговые приборы, отсчетные устройства которых состоят из двух элементов: шкалы и указателя, причем один из них связан с подвижной системой прибора, а другой — с корпусом. Например, у индикатора часового типа шкала связана с корпусом прибора, а указатель — с подвижной системой прибора. В цифровых приборах отсчет осуществляется с помощью механических, электронных или других цифровых отсчетных устройств.

По способу записи измеряемой величины регистрирующие приборы делятся на *самопишущие* и *печатающие*. В самопишущих приборах (например, профилографе или шлейфовом осциллографе) запись показаний представляет собой график или диаграмму. В печатающих приборах информация о значении измеряемой величины выдается в числовой форме на бумажной или магнитной ленте.

Часто для измерения каких-либо ФВ одного измерительного прибора бывает недостаточно. В этом случае используют измерительные установки.

Измерительная установка — это совокупность функционально объединенных мер, измерительных приборов, измерительных преобразователей и других устройств, предназначенных для измерения одной или нескольких ФВ и расположенная в одном месте.

Измерительная система — это совокупность функционально объединенных мер, измерительных приборов, измерительных преобразователей, ЭВМ и других технических средств, размещенных в разных точках контролируемого объекта для измерений одной или нескольких ФВ, свойственных этому объекту, и выработки измерительных сигналов в разных целях.

В зависимости от назначения измерительные системы разделяют на информационные, контролирующие, управляющие и др. Например, радионавигационная система для определения местонахождения различных объектов состоит из ряда измерительно-вычислительных комплексов, разнесенных в пространстве на значительное расстояние друг от друга.

6.2. Метрологические характеристики средств измерений

Для обеспечения единства измерений и взаимозаменяемости средств измерений характеристики их метрологических свойств (метрологические характеристики) нормируются и регламентируются стандартами. *Метрологическая характеристика средства измерений* — это характеристика одного из свойств средства измерений, влияющая на результат измерения и его погрешность. Метрологические характеристики, устанавливаемые нормативно-техническими документами, называют *нормируемыми*, а определяемые экспериментально — *действительными*. На основании сравнения нормируемых и действительных метрологических характеристик дают заключение о пригодности средств измерений при поверке. Сравнение нормируемых метрологических характеристик различных средств измерений позволяет осуществить выбор необходимого средства измерений для конкретных условий измерения.

Номенклатура метрологических характеристик зависит от назначения средства измерений, условий и режимов эксплуатации и других факторов. Наиболее широко используемые в практике технических измерений метрологические характеристики средств измерений приведены в табл. 6.1.

Основной метрологической характеристикой средства измерений является его погрешность. На погрешность измерения и погрешность средства измерений большое влияние оказывают *условия измерений* — совокупность влияющих величин, описывающих состояние окружающей среды, объекта и средства измерений [16]. *Влияющая величина* — это ФВ, не измеряемая данным средством измерений, но

оказывающая влияние на размер измеряемой величины и (или) результат измерений. Изменение условий измерения приводит к изменению состояния объекта измерения и, соответственно, к изменению размера измеряемой величины. Влияние условий измерения на средство измерений проявляется в изменении его метрологических характеристик.

Таблица 6.1

Метрологические характеристики средств измерений (по РМГ 29-99)

Наименование	Определение	Пример
Цена деления шкалы	Разность значений величины, соответствующих двум соседним отметкам шкалы средства измерений	См. рис. 6.1
Диапазон показаний средства измерений	Область значений шкалы прибора, ограниченная начальным и конечным делениями шкалы	См. рис. 6.1
Диапазон измерений средства измерений	Область значений величины, в пределах которой нормированы допускаемые пределы погрешности средства измерений	См. рис. 6.1
Чувствительность средства измерений	Свойство средства измерений, определяемое отношением изменения выходного сигнала этого средства измерений к вызывающему его изменению измеряемой величины	Абсолютную чувствительность определяют по формуле $S = \Delta I / \Delta x$, где ΔI — измерение сигнала на выходе, Δx — изменение измеряемой величины
Погрешность средства измерений	Разность между показанием средства измерений и истинным (действительным) значением измеряемой ФВ	—
Класс точности средства измерений	Обобщенная характеристика данного типа средств измерений, как правило, отражающая уровень их точности, выражаемая пределами допускаемых основной и дополнительных погрешностей, а также другими характеристиками, влияющими на точность	Например, микрометры гладкие типа МК выпускают 1 и 2-го классов точности

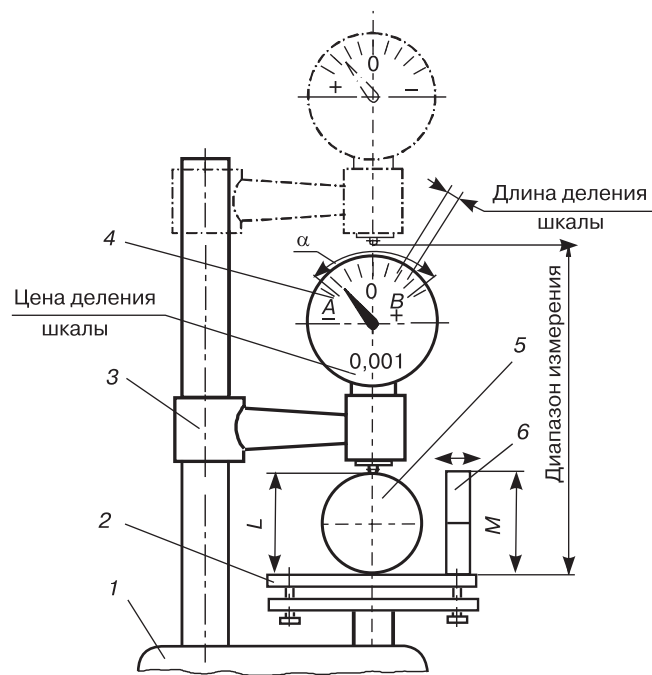


Рис. 6.1. Схема, поясняющая основные параметры средства измерений [25]:

1 – основание; 2 – столик; 3 – кронштейн; 4 – измерительный прибор;
 5 – объект измерения; 6 – блок концевых мер; L – размер объекта измерения; M – размер блока концевых мер; α – угол между начальным A и конечным B значениями шкалы; (A + B) – диапазон показаний средства измерения

Некоторые из метрологических характеристик средства измерений, предназначенного для относительного измерения с помощью блока концевых мер 6, размера L объекта измерения 5, иллюстрирует рис. 6.1. Длина и цена деления шкалы, диапазон показаний средства измерений определяются соответствующими характеристиками измерительного прибора 4. Диапазон измерений такого средства измерений зависит от его конструктивного исполнения и определяется расстоянием от поверхности столика 2, закрепленного на основании 1, до стержня измерительного прибора 4, закрепленного в кронштейне 3 в верхнем предельном положении.

В зависимости от диапазона значений влияющих величин различают нормальные, рабочие и предельные условия измерений.

Нормальные условия измерений – это условия, характеризующие совокупностью значений или областей значений влияющих величин, при которых изменением результата измерений пренебрегают вследствие его малости. Область значений влияющей величины, в пределах которой изменением результата измерений под ее воздействием можно пренебречь, в соответствии с установленными нормами точности называется *нормальной областью значений влияющей величины*. Нормальные условия измерений устанавливаются нормативными документами на средства измерений конкретного типа.

Далее приведены номинальные значения влияющих величин при нормальных условиях выполнения линейных и угловых измерений (по ГОСТ 8.050).

Температура окружающей среды, °С	20
Атмосферное давление, кПа (мм рт. ст.)	101,3 (760)
Относительная влажность окружающего воздуха, %	58
Ускорение свободного падения, м/с ²	9,8
Направление линии измерения:	
– линейных размеров у наружных поверхностей до 160 мм	Вертикальная
– линейных размеров у наружных поверхностей свыше 160 мм	Горизонтальная
– линейных размеров у внутренних поверхностей	Горизонтальная
Положение плоскости измерения углов	Горизонтальное
Относительная скорость движения внешней среды	0
Частота возмущающих гармонических вибраций, действующих на средства и объект измерения, которая не должна превышать, Гц	30

При выполнении линейных и угловых измерений (по МИ 88-76) на средства измерений влияют следующие основные величины:

- механические, температура, вибрации, ориентация в пространстве отсчетного устройства;
- оптико-механические, температура, вибрации, ориентация в пространстве отсчетного устройства, атмосферное давление;
- пневматические, температура, атмосферное давление, влажность воздуха, вибрации, запыленность, содержание CO₂.
- интерференционные, температура, атмосферное давление, влажность воздуха, вибрации, запыленность, содержание CO₂.

При нормальных условиях измерений определяется *основная погрешность средства измерений*.

Рабочие условия измерений — это условия, при которых значения влияющих величин находятся в пределах рабочих областей. Область значений влияющей величины, в пределах которой нормируют дополнительную погрешность или изменение показаний средства измерений, называется *рабочей областью значений влияющей величины*.

Дополнительной погрешностью средства измерений является составляющая погрешности, возникающая дополнительно к основной погрешности вследствие отклонения какой-либо из влияющих величин от нормального ее значения или вследствие ее выхода за пределы нормальной области значений. Например, при измерении рычажной скобой стального вала диаметром 30 мм с допуском по седьмому качеству в соответствии с ГОСТ 8.050-73 допустимое отклонение температуры рабочего пространства от нормального значения (20°C) составляет $\pm 2^\circ\text{C}$. Отклонение температуры за пределы $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ приведет к дополнительной погрешности измерения.

Предельные условия измерений — это условия, характеризующие экстремальными значениями измеряемой и влияющих величин, которые средство измерений может выдержать без разрушений и ухудшения его метрологических характеристик.

Учет всех нормируемых метрологических характеристик средства измерений при оценивании погрешности результата измерений является сложной и трудоемкой процедурой, оправданной при измерениях повышенной точности. На практике такая точность, особенно в производственных условиях, не всегда нужна. В связи с этим для получения информации о возможной погрешности используют нормирование обобщенных метрологических характеристик на основе классов точности (см. табл. 6.1).

Как правило, нормирование метрологических характеристик классами точности принято для электроизмерительных приборов. Класс точности позволяет судить лишь о том, в каких пределах находится погрешность средства измерений данного типа. Классы точности присваивают средствам измерений при их разработке на основании исследований и испытаний представителей партии средств измерений данного типа. При этом пределы допускаемых погрешностей нормируют и выражают в форме абсолютных, приведенных или относительных погрешностей в зависимости от характера изменения погрешностей в пределах диапазона измерений. Обозначение классов точности наносится на шкалы, щитки или корпуса приборов.

Классы точности средств измерений обозначаются условными знаками (буквами, цифрами). Для средств измерений, пределы допускаемой основной погрешности которых выражают в форме приведенной погрешности или относительной погрешности в соответствии с зависимостями (4.3) и (4.4), классы точности обозначаются числами, равными этим пределам в процентах. Чтобы отличить относительную погрешность от приведенной, обозначение класса точности в виде относительной погрешности обводят кружком (2,5). Если погрешность нормирована в процентах от длины шкалы, то под обозначением класса ставится знак \sphericalangle . При дробном обозначении класса точности (например, 0,02/0,01) в числителе указывается приведенная погрешность, реализуемая в конце диапазона измерения, а в знаменателе — приведенная погрешность в нулевой точке диапазона. Как правило, так обозначают класс точности цифровых СИ. Тогда относительную погрешность измерения определяют по формуле

$$\delta_x = \pm \left[C + d \left(\frac{x_k}{x} - 1 \right) \right], \quad (6.1)$$

где x_k — больший по модулю из пределов измерения для средства измерений с нулем посередине;
 x — показание средства измерений;
 C и d — приведенные погрешности, реализуемые в конце и в нулевой точке диапазона измерения соответственно, %.

Пример 6.1. Отсчет по шкале прибора с пределами измерения 0...10 А и равномерной шкалой составил 5 А.

Пренебрегая другими видами погрешностей измерения, определить пределы допускаемой абсолютной погрешности этого отсчета при использовании средств измерений классов точности 0,5, (0,5) и 0,02/0,01.

1. Классом точности (0,5) задана приведенная погрешность измерения $\gamma = (\Delta/x_N) \cdot 100\% = \pm 0,5\%$. Для нормирующего значения $x_N = 10$ (больший по модулю у пределов измерений) абсолютная погрешность, А,

$$\Delta = \pm \frac{\gamma x_N}{100} = \pm \frac{0,5 \cdot 10}{100} = \pm 0,05.$$

2. Классом точности (0,5) задана относительная погрешность измерения $\delta_x = (\Delta/x) \cdot 100\% = \pm 0,5\%$. Для отсчета $x = 5$ А абсолютная погрешность, А,

$$\Delta = \pm \frac{x \delta_x}{100} = \pm \frac{5 \cdot 0,5}{100} = \pm 0,025.$$

3. Классом точности 0,02/0,01 задана относительная погрешность измерения, определяемая по формуле (6.1). Тогда абсолютная погрешность измерения для $C = 0,02$; $d = 0,01$, $x_k = 10$ А (больший по модулю у пределов измерений) отсчета $x = 5$ А составит, А:

$$\Delta = \pm \left[C + d \left(\frac{x_k}{x} - 1 \right) \right] \cdot \frac{x}{100\%} = \pm \left[0,02 + 0,01 \left(\frac{10}{5} - 1 \right) \right] \cdot \frac{5}{100} = \pm 0,0015.$$

В отличие от большинства электроизмерительных приборов для средств измерений геометрических параметров деталей выражают пределы допускаемых погрешностей в форме абсолютных погрешностей (см. подразд. 4.2), т.е. единицах измеряемой величины.

Пределы допускаемых абсолютных погрешностей для большинства станковых приборов (координатно-измерительные машины, длинномеры, компараторы и др.) устанавливают в соответствии с формулой

$$\Delta_{\text{lim}} = \pm (a + b|x|), \quad (6.2)$$

где a — положительное число, выраженное в единицах измеряемой величины;
 b — положительное число;
 x — измеряемая величина.

Например, для длинномера *Digimar CX1* фирмы *Mahr* предел допускаемой погрешности измерения Δ_{lim} , мкм, определяется по формуле

$$\Delta_{\text{lim}} = \pm (2 + L/600),$$

где L — измеряемый размер, мм.

6.3. Выбор средств измерений геометрических параметров деталей

При выборе средств измерений (инструментов и приборов) учитывают совокупность метрологических характеристик, эксплуатационных и экономических показателей.

Для производственных измерений наиболее значимыми являются следующие *метрологические характеристики*: диапазон измерений; диапазон показаний; погрешность измерительных приборов и инструментов.

К *эксплуатационным показателям* относятся характеристики, определяющие качество выполнения средством измерений заданных функций, и в первую очередь — это надежность. Под надежностью средств измерений понимают сохранение их нормируемых метроло-

гических характеристик в период эксплуатации, хранения или транспортирования.

Экономические показатели включают в себя: стоимость средств измерений; продолжительность их работы до повторной установки; продолжительность их работы до ремонта; время, затрачиваемое на установку и сам процесс измерения; необходимую квалификацию оператора.

На выбор средств измерений влияет и характер производства. В массовом и крупносерийном производстве с большой программой выпуска и ограниченной номенклатурой измеряемых изделий используют высокопроизводительные механизированные и автоматизированные средства измерений и контроля. Применяют также специальные контрольные приспособления и жесткие предельные калибры. Универсальные средства измерений применяют, как правило, для наладки оборудования.

В серийном производстве используют специальные контрольные приспособления, жесткие предельные калибры и реже — универсальные средства измерений.

В мелкосерийном и единичном производстве преимущественно используют универсальные средства измерений, регулируемые калибры (скобы), поскольку применение специальных приспособлений и жестких калибров экономически невыгодно. Универсальные средства используют для измерения различных геометрических параметров либо непосредственно, либо в сочетании с предметными столиками, плитами, стойками, штативами и другими дополнительными приспособлениями.

Необходимым условием правильного выбора средства измерений является соответствие его метрологической характеристики трем условиям:

- диапазон измерения должен быть больше измеряемого размера;
- диапазон показаний должен быть больше измеряемого размера;
- предельная погрешность измерения с помощью выбранного средства измерений должна быть меньше допускаемой погрешности измерения δ .

Значения допускаемых погрешностей измерения δ установлены (прил. 3) в зависимости от допусков и номинальных размеров измеряемых изделий ГОСТ 8.051—81. При измерении линейных размеров допускаются погрешности до 500 мм. В соответствии с этим ГОСТ 8.051—81 значения δ определены для квалитетов 2...17 и приняты равными: $0,2T$ (T — допуск размера) — для *IT10...IT17*, $0,3 T$ —

для $IT6...IT9$, $0,35 T$ — для $IT2...IT5$. Расчетные значения δ округлены с учетом реальных значений погрешностей измерения измерительными средствами.

Допускаемые погрешности измерения δ , установленные ГОСТ 8.051, являются наибольшими и включают в себя не только погрешности средств измерений, но и погрешности от других источников: погрешности установочных мер, погрешности базирования, погрешности, связанные с температурными деформациями и т.п. Допускаемые погрешности измерения ограничивают случайную и неучтенную систематическую погрешности измерения. При этом случайная составляющая погрешности измерения не должна превышать $0,6$ нормируемой погрешности.

Приемочные границы, т.е. значения размеров, по которым производится приемка изделий, устанавливаются с учетом допускаемой погрешности измерения δ . При этом допуск на размер рассматривают как допуск на сумму погрешностей технологического процесса, которые не позволяют получить абсолютно точное значение размера, в том числе и из-за погрешности измерения. Приемочные границы устанавливают совпадающими с предельными размерами (рис. 6.2, а) или смещенными относительно них введением производственного допуска $T_{пр}$ (рис. 6.2, б).

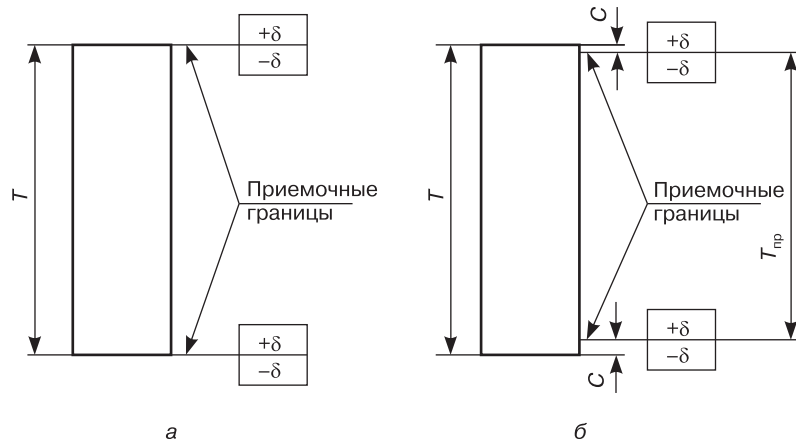


Рис. 6.2. Расположение приемочных границ:
а — без назначения производственного допуска; б — производственный допуск определен в зависимости от параметра разбраковки C

Первый способ является технически и экономически целесообразным, и поэтому предпочтительным. Однако при этом из-за

наличия погрешности измерения некоторые бракованные изделия могут быть ошибочно приняты как годные, а некоторые годные — отбракованы. Чтобы этого не случилось, приемочные границы смещают внутрь поля допуска изделия на величину, равную c (см. рис. 6.2, б). Величина смещения не должна превышать половины допускаемой погрешности измерения ($\delta/2$). При смещении приемочных границ говорят о введении производственного допуска $T_{пр}$. Этот вариант менее предпочтителен, чем первый, однако, хотя и редко, используется на практике.

На рисунке 6.3 показаны кривые распределения размеров деталей ($y_{тех}$) и погрешностей измерения ($y_{мет}$) с центрами, совпадающими с границами допуска. В результате наложения кривых $y_{тех}$ и $y_{мет}$ происходит искажение кривой распределения $y(\sigma_{тех}, \sigma_{мет})$, появляются области вероятностей m и n , обуславливающие выход размера за границу допуска на величину c . Таким образом, чем точнее технический процесс (меньше отношение $IT/\Delta_{мет}$), тем меньше неправильно принятых деталей по сравнению с неправильно забракованными.

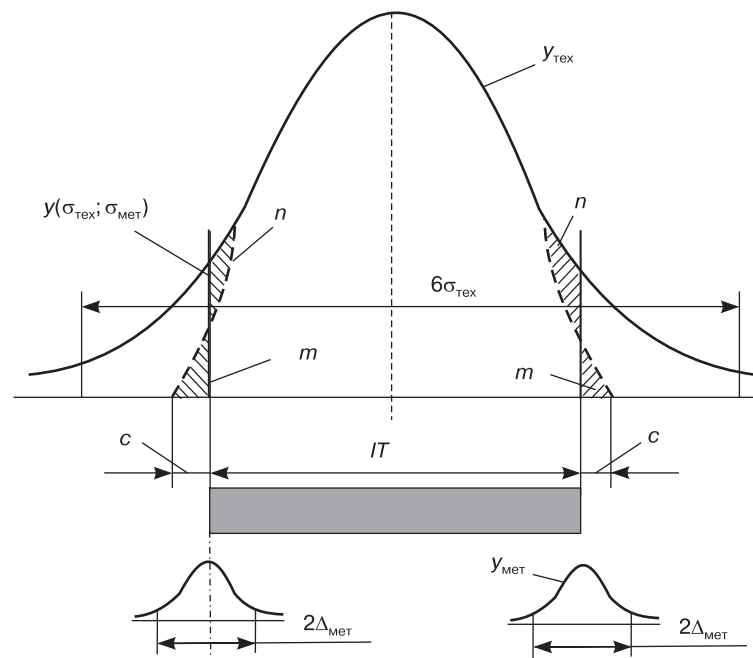


Рис. 6.3. Кривые распределения контролируемых параметров, построенные с учетом погрешностей измерения

Влияние погрешности измерения на результаты разбраковки деталей (по ГОСТ 8.051–81) показано на рис. 6.4, позволяющем определить вероятное число неправильно принятых m и неправильно забракованных n деталей, а также переход за границы поля допуска размеров неправильно принятых деталей c .

На графиках, показанных на рис. 6.4 и в табл. 6.2, значения параметров m , n , c даны в зависимости от относительной погрешности измерения $A_{мет} = (\sigma_{мет}/IT) \cdot 100\%$ и относительной точности изготовления $IT/\sigma_{тех}$ (где $\sigma_{мет}$ – СКО погрешности измерения; $\sigma_{тех}$ – СКО погрешности изготовления; IT – допуск размера). Графики построены исходя из условия, что отклонения измеряемых размеров подчиняются нормальному закону распределения, а погрешность измерения изменяется согласно закону нормального распределения (сплошная линия на графиках), закону равной вероятности (штриховая линия на графиках) или промежуточным законам (область между сплошной и штриховой линией).

При определении параметров m , n , c рекомендуется (ГОСТ 8.051–81) принимать $A_{мет}$, равное 16% для квалитетов 2..7, 12% – для квалитетов 8 и 9 и 10% – для квалитетов 10 и грубее. Если точность технологического процесса изготовления детали неизвестна (неизвестно значение $\sigma_{тех}$), то определяют предельное значение параметров m , n и c по рис. 6.4 или табл. 6.2.

Таблица 6.2

Предельные значения параметров разбраковки (ГОСТ 8.051)

Относительная погрешность измерения $A_{мет}, \%$	Вероятное число неправильно принятых деталей $m, \%$	Вероятное число неправильно забракованных деталей $n, \%$	Относительный выход за границу допуска у неправильно принятых деталей c/IT
1,6	0,37...0,39	0,7...0,75	0,01
3	0,87...0,9	1,2...1,3	0,03
5	0,16...1,7	2,0...2,25	0,06
8	2,6...2,8	3,4...3,7	0,1
10	3,1...3,5	4,5...4,75	0,14
12	3,75...4,1	5,4...5,8	0,17
16	5,0...5,4	7,8...8,25	0,25

Примечание. Первые значения m и n соответствуют распределению погрешностей измерения по нормальному закону, вторые – по закону равной вероятности.

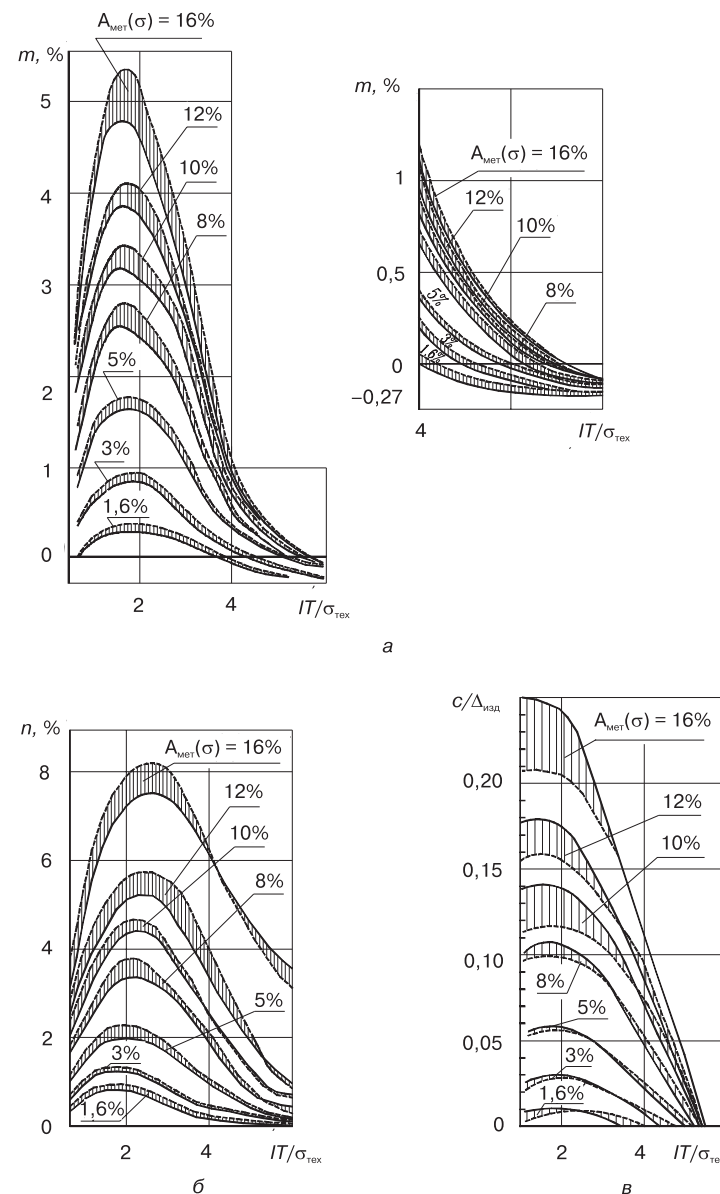


Рис. 6.4. Графики для определения: a – числа неправильно принятых деталей m (в процентах от общего числа измеряемых деталей); b – числа неправильно забракованных деталей n ; v – возможного перехода за границы поля допуска размеров неправильно принятых деталей c (ГОСТ 8.051–81)

В выборе средств измерений участвуют конструкторская, технологическая и метрологическая службы предприятия. Конструкторская служба ответственна за правильность назначения допускаемых отклонений на размер детали; технологическая служба обязана обеспечить наиболее экономичные технологические процессы изготовления деталей, включая их измерения; метрологическая служба осуществляет выбор конкретных средств измерений с учетом условий измерений.

Конструкторы первоначально назначают допуск на геометрический размер детали исходя из служебного назначения изделия. После этого находят допускаемую погрешность измерения δ по прил. 3 и далее по табл. 6.2 или графикам (см. рис. 6.4) определяют число неправильно принятых деталей (риск потребителя). Если по условиям работы изделия число неправильно принимаемых деталей и выход размера у этих деталей за границы поля допуска признается приемлемым, то оставляют выбранный допуск и этим устанавливают, что приемочными границами будут являться предельные размеры детали (см. рис. 6.2, а). Если конструктор признает влияние погрешности измерения существенным и недостаточным, есть два способа уменьшения этого влияния: во-первых, можно выбрать более точный квалитет (уменьшить допуск), снижая тем самым допускаемую погрешность измерения, или, во-вторых, можно ввести производственный допуск, уменьшая допуск на изготовление и, соответственно, снижая у неправильно принимаемых деталей величину выхода размера за границу поля допуска.

Технологи оценивают технологический процесс по количеству действительного и ложного брака (число неправильно забракованных деталей), являющихся риском производителя. Если полученные результаты признаются удовлетворительными, то выбор конкретного средства измерения предоставляется метрологической службе, в чьи обязанности это входит. Если результаты признаны неудовлетворительными, то изменяют технологический процесс или вводят производственный допуск.

Метрологи осуществляют выбор конкретного средства измерений по РД 50-98-86 [4] с учетом условий измерения в зависимости от измеряемого размера, допуска на изготовление и допускаемой погрешности измерения δ . При проведении измерений в условиях, когда значения влияющих величин отличаются от установленных в ГОСТ 8.050–73 или нормативных документах на средства измерений конкретного вида, необходимо нормировать функции влияния, т.е. указывать зависимости показаний средства измерений от влияющих величин и на основе этого вносить поправки в показания.

Для упрощения процесса выбора конкретного средства измерений можно использовать номограммы (рис. 6.5, 6.6). Затем по таблицам прил. 6–9 проверяют соответствие метрологических характеристик ориентировочно выбранного средства измерений принятым условиям измерения.

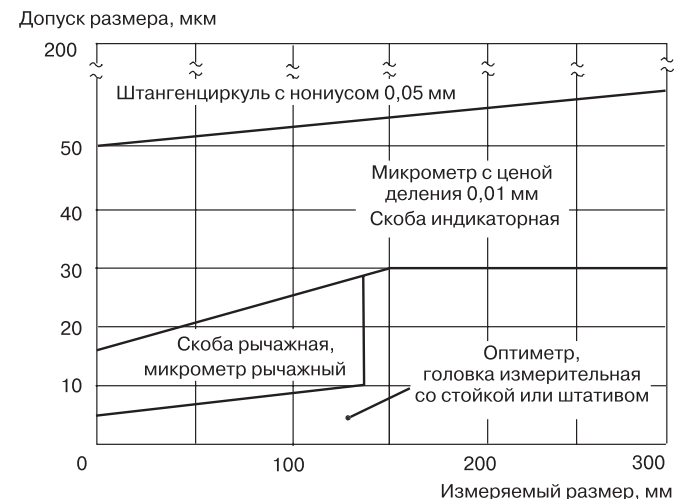


Рис. 6.5. Средство измерений для измерения размеров наружных гладких поверхностей

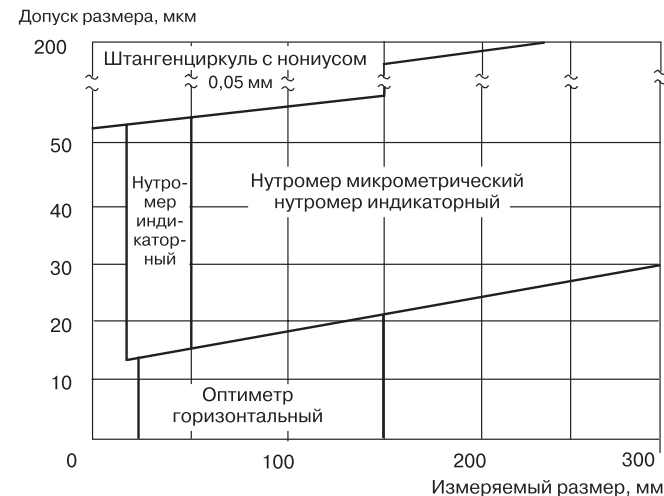


Рис. 6.6. Средство измерений для измерения размеров внутренних гладких поверхностей

Пример 6.2. Исходя из эксплуатационных требований шейка вала под подшипник качения должна быть изготовлена $\varnothing 20 k6$ ($^{+0,015}_{+0,002}$); $IT = 0,013$ мм.

Установить приемочные границы и привести результаты разбраковки деталей. Точность технологического процесса неизвестна.

1. Установим приемочные границы, совпадающие с предельными размерами вала. В этом случае вероятно, что m деталей будут неправильно приняты, а n — неправильно отбракованы.

Для измерения вала шестого квалитета рекомендуется принимать относительную погрешность $A_{мет(σ)} = 0,16IT$. Тогда $m = (5 \dots 5,4)\%$, а $n = (7,8 \dots 8,25)\%$ в зависимости от закона распределения погрешности измерения (см. табл. 6.2). При этом возможный выход за границы поля допуска размеров неправильно принятых деталей составил, мм:
 $c = 0,25 T = 0,25 \cdot 0,013 = 0,0034$.

Результаты разбраковки деталей занесем в таблицу.

Результаты разбраковки деталей

Показатель	Значение
Допуск T , мм	0,013
Вероятный процент неправильно принятых деталей m	5 ... 5,4
Вероятный процент неправильно забракованных деталей n	7,8 ... 8,25
Вероятный выход размера за границы допуска у неправильно принятых деталей c , мм	0,0034

Если по условиям работы изделия число неправильно принятых деталей $m = (5 \dots 5,4)\%$ и вероятный выход размера за границы поля допуска у этих деталей $c = 0,0034$ мм является недопустимым, введем производственный допуск.

2. Установим приемочные границы в соответствии с ГОСТ 8.051—81, смещенные относительно предельных размеров на величину, мм:
 $c' = \delta/2 = 0,002$.

Тогда производственный допуск составит, мм: (см. рис. 6.2, б)

$$T_{пр} = T - 2c' = 0,013 - 2 \cdot 0,002 = 0,009.$$

Таким образом, размер вала при изготовлении детали должен быть не более $\varnothing 20,013$ мм и не менее $\varnothing 20,004$ мм.

Пример 6.3. Выбрать универсальное средство измерений вала по условиям примера 6.2.

1. Установим допускаемую погрешность измерения (см. прил. 3). Для $\varnothing 20 k6$ $\delta = 0,004$ мм.

2. Выберем универсальное средство измерений для измерения вала с таким размером (см. рис. 6.4). Для измерения вала с диамет-

ром 20 мм и допуском $IT = 0,013$ мм можно использовать микрометр рычажный.

3. Определим метрологическую характеристику микрометра рычажного по прил. 7, а также предельную погрешность Δ_{lim} измерения им в принятых условиях, одновременно проверяя выполнение условий, изложенных ранее. Этим условиям удовлетворяет микрометр МР-25 (ГОСТ 4381—87), метрологическая характеристика и условия использования которого приведены в таблице ниже.

Метрологическая характеристика и условия использования микрометра рычажного МР-25

Наименование, ГОСТ	Диапазон измерения, мм	Диапазон показаний, мм	Цена деления, мм	Предельная погрешность измерения, мм
Микрометр рычажный МР-25, ГОСТ 4381	0 ... 25	$\pm 0,14$	0,002	0,002
Условия измерения				
Вариант использования	Вид контакта	Участок шкалы, используемый для отсчета	Способ настройки	Температурный режим, °С
Микрометр закреплен на стойке	Линейный	± 10 дел. шкалы	По концевым мерам длины 2-го класса точности	5

Диапазон измерения микрометра позволяет измерить размер 20 мм, диапазон показаний больше допуска размера: $0,28 > 0,013$ (мм); предельная погрешность измерения микрометром при принятых условиях измерения меньше допускаемой: $0,002 < 0,004$ (мм).

Пример 6.4. Выбрать универсальное средство измерений для измерения отклонения от параллельности поверхности Б детали относительно базовой поверхности А по схеме, изображенной на рис. 6.7. Измерения выполняются в нормальных условиях.

Исходные данные: допуск параллельности $T = 20$ мкм; отклонение от плоскостности измеряемой поверхности $\Delta_{\phi_1} = 5$ мкм. Базовая поверхность вогнута.

Измеряемую деталь 2 устанавливают базовой поверхностью на поверочную плиту 1 (см. рис. 6.7). При помощи средства измерений 3, закрепленного на штативе 4, снимают показания в крайних точках измеряемой поверхности. Зону, равную $0,01 L$ мм вдоль краев измеряемой поверхности, во внимание не принимают.

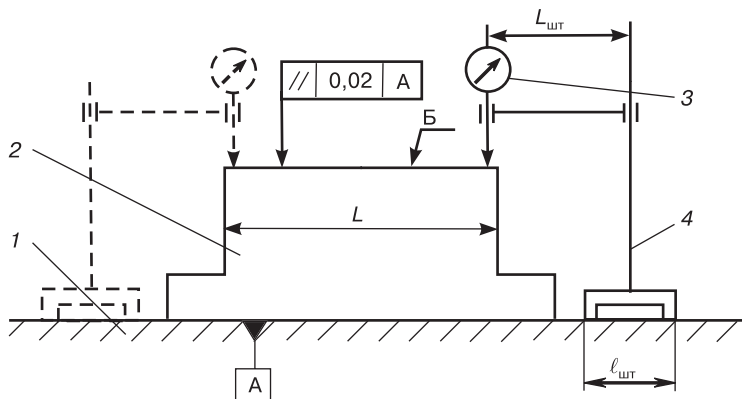


Рис. 6.7. Схема измерения отклонения от параллельности:
1 – поверочная плита; 2 – измеряемая деталь; 3 – средства измерений;
4 – штатив

1. Установим по прил. 5 допускаемую погрешность измерения δ , соответствующую допуску параллельности $T = 20$ мкм, $\delta = 7$ мкм.
2. Выберем штатив ПИМ-II Н-М (ГОСТ 10197–70) с длиной основания $l_{шт} = 250$ мм и вылетом $L_{шт} = 125$ мм, а также поверочную плиту 0-го класса точности с отклонением от плоскостности рабочей поверхности $\Delta_{\phi_2} = 5$ мкм [20].
3. Рассчитаем методическую погрешность измерения.
Для приведенной схемы измерения

$$\Delta_M = \sqrt{\Delta_{M_1}^2 + \left(\Delta_{M_2} \frac{L_{шт}}{l_{шт}} \right)^2},$$

где Δ_{M_1} – отклонение от плоскости измеряемой поверхности;
 Δ_{M_2} – отклонение от плоскости поверочной плиты.

Принимая $\Delta_{M_1} = \Delta_{\phi_1} = 5$ мкм, $\Delta_{M_2} = \Delta_{\phi_2} = 5$ мкм, получим, мкм:

$$\Delta_M = \sqrt{5^2 + \left(5 \cdot \frac{125}{250} \right)^2} = 5,6.$$

4. Определим допускаемую погрешность средства измерений, учитывая, что влияющие величины находятся в нормальной области значений:

$$\Delta_{с.и} = \sqrt{\Delta^2 - \Delta_M^2},$$

где Δ – погрешность измерения отклонения от параллельности.

Принимая $\Delta = \delta$, получим, мкм:

$$\Delta_{с.и} = \sqrt{\delta^2 - \Delta_M^2} = \sqrt{7^2 - 5,6^2} = 4,2.$$

5. Выберем средство измерений отклонения от параллельности с допуском $T = 20$ мкм по предложенной схеме измерения (см. рис. 6.7) так, чтобы его погрешность не превышала 4,2 мкм. Этому условию удовлетворяют головки рычажно-зубчатые типа ИГ с ценой деления 0,001 и 0,002 мм (см. прил. 9).

6. Выберем в качестве средства измерений головку рычажно-зубчатую 2ИГ (ГОСТ 18833–73) с ценой деления 0,002 мкм и предельной погрешностью $\Delta_{с.и} = 3$ мкм.

6.4. Контроль деталей гладких соединений

Контроль деталей в диапазоне размеров до 500 мм с допусками от ИТ6 до ИТ17, особенно в массовом и крупносерийном производствах, наиболее часто осуществляют калибрами. Валы и отверстия с допусками точнее ИТ6 не рекомендуется проверять калибрами, так как при этом вносится большая погрешность измерения. Такие изделия проверяют универсальными средствами.

Калибры разделяют на рабочие и контрольные (контркалибры).

Комплект рабочих предельных калибров для контроля размеров гладких цилиндрических деталей состоит из проходного калибра ПР (им контролируют предельный размер, соответствующий максимуму материала проверяемой детали) и непроходного калибра НЕ (им контролируют предельный размер, соответствующий минимуму материала проверяемой детали) (рис. 6.8).

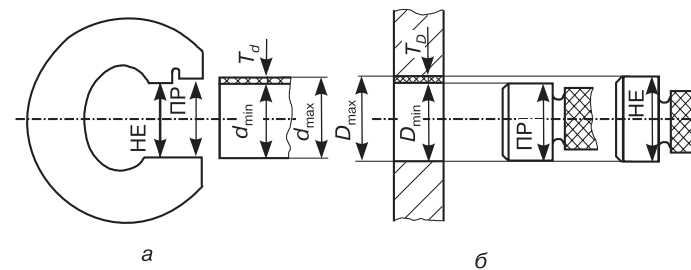


Рис. 6.8. Схемы контроля деталей:
а – вала скобой; б – отверстия пробками; d_{\min} ; d_{\max} и T_d – наименьший предельный размер, наибольший предельный размер и допуск вала соответственно; D_{\min} ; D_{\max} и T_D – наименьший предельный размер, наибольший предельный размер и допуск отверстия соответственно

Рабочие калибры ПР и НЕ предназначены для контроля изделий в процессе их изготовления. Этими калибрами пользуются рабочие и контролеры ОТК завода-изготовителя, причем контро-

**Допуски и координаты средин полей допусков калибров, мкм
(ГОСТ 24853-81)**

Квалитет допуска изделия	Обозначение	Интервалы размеров, мм									Допуск формы калибра
		до 3	св. 3 до 6	св. 6 до 10	св. 10 до 18	св. 18 до 30	св. 30 до 50	св. 50 до 80	св. 80 до 120	св. 120 до 180	
6	Z	1	1,5	1,5	2	2	2,5	2,5	3	4	—
	Y	1	1	1	1,5	1,5	2	2	3	3	—
	Z ₁	1,5	2	2	2,5	3	3,5	4	5	6	—
	Y ₁	1,5	1,5	1,5	2	3	3	3	4	4	
	H	1,2	1,5	1,5	2	2,5	2,5	3	4	5	IT1
	H ₁	2	2,5	2,5	3	4	4	5	6	8	IT2
	H _p	0,8	1	1	1,2	1,5	1,5	2	2,5	3,5	IT1
7	Z, Z ₁	1,5	2	2	2,5	3	3,5	4	5	6	—
	Y, Y ₁	1,5	1,5	1,5	2	3	3	3	4	4	—
	H, H ₁	2	2,5	2,5	3	4	4	5	6	8	IT2
	H _p	0,8	1	1	1,2	1,5	1,5	2	2,5	3,5	IT1
8	Z, Z ₁	2	3	3	4	5	6	7	8	9	—
	Y, Y ₁	3	3	3	4	4	5	5	6	6	—
	H	2	2,5	2,5	3	4	4	5	6	8	IT2
	H ₁	3	4	4	5	6	7	8	10	12	IT3
	H _p	1,2	1,5	1,5	2	2,5	2,5	3	4	5	IT1
9	Z, Z ₁	5	6	7	8	9	11	13	15	18	—
	Y, Y ₁	0	0	0	0	0	0	0	0	0	—
	H	2	2,5	2,5	3	4	4	5	6	8	IT2
	H ₁	3	4	4	5	6	7	8	10	12	IT3
	H _p	1,2	1,5	1,5	2	2,5	2,5	3	4	5	IT1
10	Z, Z ₁	5	6	7	8	9	11	13	15	18	—
	Y, Y ₁	0	0	0	0	0	0	0	0	0	—
	H	2	2,5	2,5	3	4	4	5	6	8	IT2
	H ₁	3	4	4	5	6	7	8	10	12	IT3
	H _p	1,2	1,5	1,5	2	2,5	2,5	3	4	5	IT1

Примечания: 1. Числовые значения стандартных допусков — по ГОСТ 25346—89.
2. Расшифровка обозначений допусков и координат средин полей допусков приведена в табл. 6.4.

леры применяют частично изношенные калибры ПР и новые калибры НЕ.

При контроле калибрами деталь считают годной, если проходной калибр (проходная сторона калибра) под действием собственной массы или усилия, примерно равного ей, но не менее 1 Н, проходит, а непроходной калибр (непроходная сторона) не проходит по контролируемой поверхности детали. Детали, не удовлетворяющие любому из этих двух условий, являются негодными, их отбраковывают.

Для установки регулируемых калибров-скоб и контроля нерегулируемых калибров-скоб применяют контрольные калибры К-И, которые являются непроходными и служат для изъятия из эксплуатации вследствие износа проходных рабочих скоб. Контрольные калибры к калибрам-пробкам не предусмотрены, так как их легко проверить универсальными измерительными средствами.

Для контроля валов в основном используют калибры в виде скоб (см. рис. 6.8, а). Калибры в виде колец применяют только в особо ответственных случаях, когда требуется контролировать отклонения от цилиндричности (особенно при наличии огранки, имеющей форму псевдоокружности).

Конструктивно гладкие калибры выполняют регулируемые и нерегулируемые. Регулируемые калибры-скобы дороже и менее жестки, чем нерегулируемые, но могут быть перенастроены в некотором интервале размеров, к тому же они допускают быстрое восстановление размера, потерянного из-за изнашивания рабочих поверхностей. Нерегулируемые калибры более точны и дешевле, чем регулируемые.

Контроль размеров отверстий производят проходными и непроходными калибрами-пробками (см. рис. 6.8, б).

Допуски и координаты средин полей допусков гладких рабочих и контрольных калибров нормированы для размеров до 500 мм (ГОСТ 24853—81) (табл. 6.3).

Координаты средин полей допусков калибров отсчитывают от соответствующих предельных размеров изделий (табл. 6.4). Так, координаты средин полей допусков проходных калибров для отверстий отсчитывают от наименьшего предельного размера отверстия, а непроходных калибров — от наибольшего предельного размера отверстия. Соответственно, координаты средин полей допусков проходных калибров для валов и контркалибров к ним отсчитывают от наибольшего предельного размера вала, а непроходных калибров — от наименьшего.

Таблица 6.4

**Схемы расположения полей допусков калибров
для номинальных размеров до 180 мм (ГОСТ 24853-81)**

Контролируемый параметр	Квалитет	Схемы полей допусков калибров
Отверстие	6–8	
		9–17
Вал	6–8	
		9–17

Примечание. На схемах приняты следующие обозначения: D_{\max} , d_{\max} – наибольший предельный размер соответственно отверстия и вала; D_{\min} , d_{\min} – наименьший предельный размер соответственно отверстия и вала; T – допуск отверстия или вала; H , H_1 – допуск на изготовление калибров соответственно для отверстия и вала; H_p – допуск на изготовление контрольных калибров; Z , Z_1 – координаты середины поля допуска проходного калибра; Y , Y_1 – допустимый выход размера изношенного проходного калибра за границу поля допуска соответственно отверстия и вала.

Так как проходные калибры в процессе эксплуатации изнашиваются, для них кроме допуска на изготовление предусматривается допуск на износ. Для размеров до 500 мм износ калибров ПР для контроля деталей с допусками до *IT8* включительно может выходить за границу поля допуска детали на величину Y для пробок и Y_1 для скоб; для калибров ПР для контроля деталей с допусками от *IT9* до *IT17* износ ограничивается наибольшим предельным размером вала или наименьшим предельным размером отверстия, т.е. в этом случае $Y = Y_1 = 0$.

Для компенсации погрешностей при контроле калибрами больших размеров (более 180 мм) предусмотрена зона надежности. При наличии этой зоны поле допуска непроходного калибра и граница гарантированного износа сдвигаются внутрь поля допуска на изготовление детали на величину α для пробок и α_1 для скоб. Это приводит к тому, что в зависимости от качества производственный допуск оказывается меньше заданного на (10 ... 40)%. Однако при сравнительно больших допусках такие искажения не очень существенно снижают экономические показатели изделия.

Расчет предельных размеров калибров выполняют по формулам табл. 6.5.

Таблица 6.5

**Формулы для расчета исполнительных размеров калибров
с размерами до 180 мм (ГОСТ 24853-81)**

Калибр	Рабочий калибр		Контрольный калибр		
	размер	ei , ES^*	размер	ei^*	
Для отверстий	проходная сторона новая	$D_{\min} + Z + H/2$	$-H$	–	–
	проходная сторона изношенная	$D_{\min} - Y$	–	–	–
	непроходная сторона	$D_{\max} + H/2$	$-H$	–	–
Для валов	проходная сторона новая	$d_{\max} - Z_1 - H_1/2$	H_1	$d_{\max} - Z_1 + H_p/2$	$-H_p$
	проходная сторона изношенная	$d_{\max} + Y_1$	–	$d_{\max} + Y_1 + H_p/2$	$-H_p$
	непроходная сторона	$d_{\min} - H_1/2$	H_1	$d_{\min} + H_p/2$	$-H_p$
	непроходная сторона				

Примечание. Размеры округляют до целого микрометра в сторону уменьшения производственного допуска.

* Второе отклонение поля допуска калибра равно нулю.

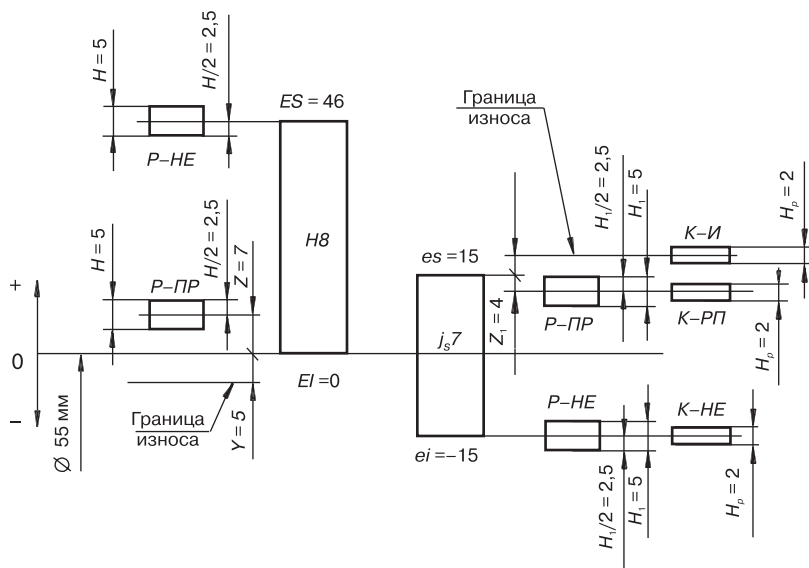


Рис. 6.9. Схемы полей допусков калибров для контроля деталей соединения $\varnothing 55 H8/j_7$

Исполнительные размеры рабочих поверхностей калибров (размеры, проставляемые на чертежах калибров) назначают так, чтобы весь допуск на изготовление был направлен «в тело» калибра. Для этого за номинальный размер калибра-пробки принимают его наибольший предельный размер, а отклонения принимают равными: $es = 0$, $ei = -H$ или $ei = -H_p$; за номинальный размер калибра-скобы принимают его наименьший предельный размер, а отклонения — $EI = 0$, $ES = H_1$ (см. табл. 6.5).

Пример 6.5. Рассчитать предельные и исполнительные размеры рабочих калибров для контроля деталей соединения $\varnothing 55 H8/j_7$, а также контрольных калибров для контроля размеров калибров-скоб.

- По ГОСТ 25347-82 [6] найдем предельные отклонения контролируемых отверстия и вала: $ES = 46$ мкм; $EI = 0$; $es = 15$ мкм; $ei = -15$ мкм.
- Построим схему полей допусков отверстия и вала (рис. 6.9).
- Для отверстия $\varnothing 55H8$ по табл. 6.3 определим значения допусков и координат середин полей допусков калибров-пробок: $H = 5$ мкм, $Z = 7$ мкм, $Y = 5$ мкм; калибров-скоб и контркалибров к ним: $H_1 = 5$ мкм, $Z_1 = 4$ мкм, $Y_1 = 3$ мкм, $H_p = 2$ мкм.

4. Построим схемы расположения полей допусков калибров (см. рис. 6.9).

5. Рассчитаем предельные размеры отверстия и вала, мм;

$$D_{\max} = D + ES = 55,046; D_{\min} = D + EI = 55,0;$$

$$d_{\max} = d + es = 55,015; d_{\min} = d + ei = 54,985.$$

6. Вычислим предельные и исполнительные размеры калибров-пробок (см. табл. 6.6):

— наибольший размер проходного нового калибра-пробки, мм,

$$PR_{\max} = D_{\min} + Z + H/2 = 55,000 + 0,007 + 0,005/2 = 55,0095;$$

— наименьший размер проходного нового калибра-пробки, мм,

$$PR_{\min} = D_{\min} + Z - H/2 = 55,000 + 0,007 - 0,005/2 = 55,0045;$$

— наименьший размер изношенного проходного калибра-пробки, мм,

$$PR_{\text{изн}} = D_{\min} - Y = 55,000 - 0,005 = 54,995.$$

Если калибр-пробка ПР имеет указанный или меньший размер, его нужно изъять из эксплуатации.

Наибольший размер непроходного нового калибра-пробки, мм,

$$HE_{\max} = D_{\max} + H/2 = 55,046 + 0,005/2 = 55,0485.$$

Наименьший размер непроходного нового калибра-пробки, мм,

$$HE_{\min} = D_{\max} - H/2 = 55,046 - 0,005/2 = 55,0435.$$

Исполнительные размеры калибров-пробок:

— проходной — $55,0095_{-0,005}$ мм, округленный — $55,010_{-0,005}$ мм;

— непроходной — $55,0485_{-0,005}$ мм, округленный — $55,048_{-0,005}$ мм.

7. Рассчитаем предельные и исполнительные размеры калибров-скоб:

— наименьший размер проходного нового калибра-скобы, мм,

$$PR_{\min} = d_{\max} - Z_1 - H_1/2 = 55,015 - 0,004 - 0,005/2 = 55,0085;$$

— наибольший размер проходного нового калибра-скобы, мм,

$$PR_{\max} = d_{\max} - Z_1 + H_1/2 = 55,015 - 0,004 + 0,005/2 = 55,0135;$$

— наибольший размер изношенного проходного калибра-скобы, мм,

$$PR_{\text{изн}} = d_{\max} + Y_1 = 55,015 + 0,003 = 54,018.$$

Если калибр-скоба ПР имеет указанный или больший размер, его нужно изъять из эксплуатации.

Наибольший размер непроходного калибра-скобы, мм,

$$HE_{\max} = d_{\max} + H_1/2 = 54,985 + 0,005/2 = 54,9875.$$

Наименьший размер непроходного калибра-скобы, мм,

$$HE_{\min} = d_{\max} - H_1/2 = 54,985 - 0,005/2 = 54,9825.$$

Исполнительные размеры калибров-скоб:

— проходной — $55,0085^{+0,005}$ мм, округленный — $55,008^{+0,005}$ мм;

— непроходной — $54,9825^{+0,005}$ мм, округленный — $54,983^{+0,005}$ мм.

6.5. Метрологическая надежность средств измерений

Одним из основных показателей качества средства измерений, необходимым для поддержания его в работоспособном состоянии, является надежность. *Надежность* — это свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, ремонта, хранения и транспортирования. Под термином «объект» в теории надежности понимается предмет определенного целевого назначения, например, измерительная система и ее элементы, средство измерений и его элементы. Надежность не может быть общей для всех видов техники. Она всегда конкретна, особенно в отношении численных значений показателей надежности.

Для средств измерений особо важна *метрологическая надежность* — способность сохранять установленные метрологические характеристики в течение определенного времени при определенных режимах и условиях эксплуатации.

Основным понятием теории надежности является отказ. Отказы средств измерений делятся на неметрологические и метрологические [16].

Неметрологический отказ обусловлен причинами, не связанными с изменением метрологических характеристик средства измерений. Такие отказы, как правило, являются следствием ошибок при конструировании, изготовлении или назначении условий эксплуатации средств измерений, носят главным образом явный характер и могут быть обнаружены без проверки. Например, отказ электродвигателя в приборе для измерения кинематической точности зубчатых колес.

При *метрологическом отказе* сохраняется функционирование средства измерений, но происходит выход метрологических характеристик за установленные пределы. Например, если погрешность микрометра гладкого МК-25 1-го класса точности составляет $\Delta_{с.н} = \pm 0,003$ мм, т.е. превышает предельную погрешность измерения этим инструментом $\Delta_{lim} = \pm 0,002$ мм, то это означает, что произошел метрологический отказ и микрометр не соответствует установленному классу точности.

В теории надежности *отказ* — это событие, заключающееся в нарушении работоспособного состояния объекта. *Работоспособным* считается состояние средства измерений, при котором все его метрологические характеристики соответствуют нормированным зна-

чениям. Для сложных средств измерений и измерительных систем принято выделение промежуточных состояний, например предельное состояние. *Предельным* является состояние средства измерений, при котором его дальнейшее применение по назначению недопустимо или нецелесообразно. Как правило, переход средства измерений в предельное состояние происходит раньше возникновения отказа. Типичным критерием предельного состояния средства измерений, например, оснащенного подвижными узлами и направляющими, выступает механический износ этих элементов до предельно допустимого уровня, после достижения которого может произойти метрологический отказ. Критерием предельного состояния может также служить превышение установленного уровня затрат на техническое обслуживание и ремонт средств измерений, определяющие экономическую нецелесообразность дальнейшей эксплуатации.

Метрологические отказы связаны со временем эксплуатации и разделяются по закономерности возникновения и возможности прогнозирования на внезапные и постепенные.

Внезапные отказы возникают неожиданно и проявляются в скачкообразном изменении одной или нескольких метрологических характеристик средств измерения. Внезапные отказы являются случайными, не зависят от продолжительности эксплуатации и их невозможно прогнозировать. Отличительной особенностью внезапных отказов является постоянство во времени их интенсивности. Их последствия (резкий «сбой» показаний, потеря чувствительности) легко обнаруживаются на месте эксплуатации прибора. По характеру проявления внезапные отказы являются явными.

Постепенный отказ проявляется в постепенном изменении одной или нескольких метрологических характеристик средства измерений. Причинами его обычно бывают износ, старение и другие постепенно нарастающие изменения в деталях и узлах средства измерений. Время наступления постепенного отказа функционально связано с интенсивностью физико-механических процессов, происходящих при работе средства измерений. По характеру проявления постепенные отказы являются скрытыми и могут быть выявлены только при проверках.

Надежность является комплексным (обобщенным) понятием, включающим в себя свойства безотказности, долговечности, ремонтпригодности (для ремонтпригодных и восстанавливаемых средств измерений) и сохраняемости (рис. 6.10).

Безотказность — это свойство средства измерений непрерывно сохранять работоспособное состояние в течение некоторого вре-

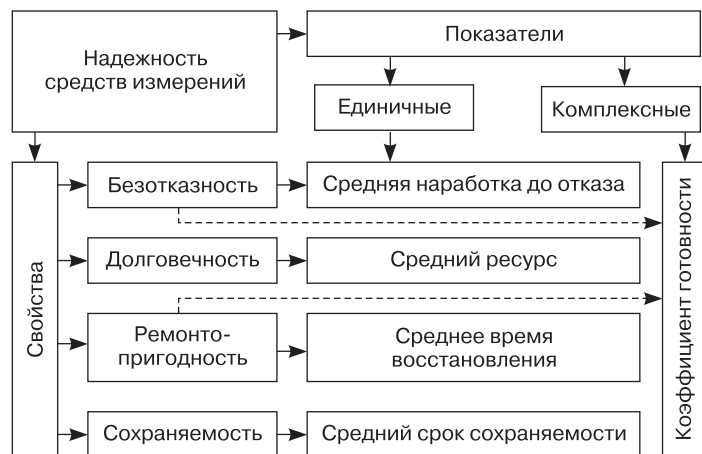


Рис. 6.10. Свойства и показатели надежности средств измерений

мени. Оно характеризуется двумя состояниями: работоспособным и неработоспособным. Безотказность является определяющим свойством надежности для неремонтируемых средств измерений или их деталей.

Долговечность — это свойство средства измерений сохранять работоспособное состояние до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонта. Для неремонтируемых средств измерений свойства безотказности и долговечности совпадают, так как первый их отказ приводит к потере работоспособности. Ремонтное средство измерений после отказа может быть восстановлено. Таким образом, различие свойств безотказности и долговечности в том, что безотказность — свойство непрерывно сохранять работоспособность, а долговечность — свойство сохранять работоспособность с возможными перерывами для ремонта.

После отказа метрологические характеристики ремонтного средства измерений путем его ремонта или соответствующих регулировок могут быть возвращены в допустимые границы, поэтому одним из свойств надежности является ремонтпригодность. *Ремонтпригодность* — это свойство средства измерений, заключающееся в приспособленности средства измерений к предупреждению и обнаружению причин возникновения отказов и поддержанию и (или) восстановлению работоспособного состояния путем проведения технического обслуживания и ремонта.

Изменение метрологических характеристик средства измерений возможно не только при эксплуатации, но и после длительного хранения или транспортирования. В связи с этим введено понятие *сохраняемости* — свойства средства измерений сохранять значения показателей безотказности, долговечности и ремонтпригодности в течение и после хранения и транспортирования.

Одной из основных изменяющихся во время эксплуатации метрологических характеристик средств измерений является погрешность измерения. В дальнейшем под *метрологическим отказом* будем понимать выход погрешности измерения за допустимые пределы. Факт нахождения погрешности измерения в допустимых пределах устанавливаются при поверке. Текущие значения погрешности измерения зависят от множества случайных факторов, возникающих при эксплуатации средств измерений. В связи с этим случайный характер будет иметь и время выхода погрешности измерения за допустимые пределы.

Рассмотрим схему формирования погрешности измерения во времени и возникновение отказа средства измерений (рис. 6.11).

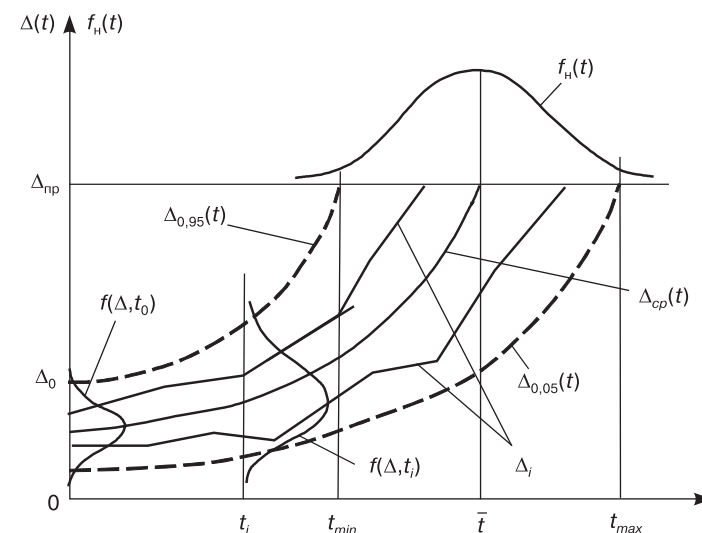


Рис. 6.11. Модель изменения погрешности средства измерений во времени [16]

Изменение погрешности во времени носит нестационарный случайный характер [16] и может пойти по одной из реализаций моду-

ля погрешности Δ ; случайной функции $\Delta(t)$. Начало координат функции $\Delta(t)$ смещено в точку Δ_0 , соответствующую начальной (на момент поверки или аттестации) погрешности средства измерений. В каждый момент времени t_i погрешность характеризуется некоторым законом распределения плотности вероятностей $f(\Delta, t_i)$, центр которого находится на средней кривой $\Delta_{cp}(t)$. Верхняя и нижняя границы погрешностей могут быть представлены в виде некоторых квантильных границ (квантиль — значение случайной величины, соответствующее заданной вероятности), внутри которых заключена большая часть погрешностей, реализуемых с доверительной вероятностью P . В качестве модели нестационарного случайного процесса изменения во времени модуля погрешности рекомендуется [16] использовать зависимость изменения во времени 95%-ного квантиля этого процесса, который описывается уравнением

$$\Delta_{0,95}(t) = \Delta_{cp}(t) + 1,6\sigma_{\Delta}(t),$$

где $\sigma_{\Delta}(t)$ — СКО отдельных реализаций модулей погрешности.

Метрологический отказ наступит при пересечении кривой Δ_i прямой $\Delta_{пр}$, соответствующей предельному значению погрешности измерения. Отказы могут наступать в различные моменты времени в диапазоне от t_{min} до t_{max} (см. рис. 6.11), причем эти точки являются точками пересечения 5 и 95%-ного квантиля с линией предельного значения погрешности. При достижении кривой $\Delta_{0,95}(t)$ предела $\Delta_{пр}$ у 5% средств измерений наступает метрологический отказ. Распределение таких отказов будет характеризоваться плотностью распределения наработки до отказа $f_n(t)$.

В общем виде модель изменения погрешности во времени может быть представлена в виде функции [15]

$$\Delta(t) = \Delta_0 + F(t), \quad (6.3)$$

где $F(t)$ — случайная (для совокупности средств измерений данного типа) функция времени, обусловленная механо-физико-химическими процессами постепенного износа и старения элементов средств измерений. Функцию $F(t)$ аппроксимируют той или иной математической зависимостью на основании данных экспериментальных исследований изменения погрешности средства измерений во времени.

Поскольку надежность включает в себя безотказность, долговечность, ремонтпригодность и сохраняемость, то для каждого свойства характерны свои единичные количественные показатели (см. рис. 6.10). Имеются также комплексные показатели, относящиеся к нескольким свойствам, составляющим надежность. Выбор показателей надежности для конкретного средства измерений следует осуществлять с учетом ГОСТ 27.003–90 «Надежность в технике. Состав и общие правила задания требований по надежности».

Среди показателей безотказности наибольшее распространение получили вероятность безотказной работы, средняя и гамма-процентная наработка до отказа, интенсивность отказов.

Вероятность безотказной работы средства измерений $P(t)$ — это вероятность того, что в пределах заданной наработки t нормированные метрологические характеристики не выйдут за допустимые пределы. Нарботкой до отказа называется продолжительность работы средства измерений от начала эксплуатации до возникновения первого отказа, измеряемая в единицах времени, например в часах. Так как наработка до отказа является случайной величиной, то описать ее можно, используя интегральный закон распределения $F(t)$, определяющий вероятность P того, что t не превысит некоторого значения t_i , т.е. попадет на временной шкале на участок от $-\infty$ до t_i : $F(t) = P(t \leq t_i)$.

Функция $F(t)$ является неубывающей от своего аргумента. Ее значения начинаются от нуля при $t_i \rightarrow -\infty F(t) = F(-\infty) = 0$, и достигают единицы при $t_i \rightarrow +\infty F(t) = F(+\infty) = 1$. На рисунке 6.12, а показана интегральная функция наработки до отказа $F(t)$ при наступлении отказа в различные моменты времени от t_{min} до t_{max} . Статистически вероятность отказа за время t_i определяется как отношение числа отказов $n(t_i)$ с наработкой до отказа менее t_i к общему числу отказов N :

$$\bar{F}(t_i) = \frac{n(t_i)}{N}. \quad (6.4)$$

Отказы и безотказность — события противоположные и несовместимые, так как они не могут проявляться одновременно в данном средстве измерений. Отсюда вероятность безотказной работы:

$$P(t) = 1 - F(t). \quad (6.5)$$

Статистически вероятность безотказной работы в течение

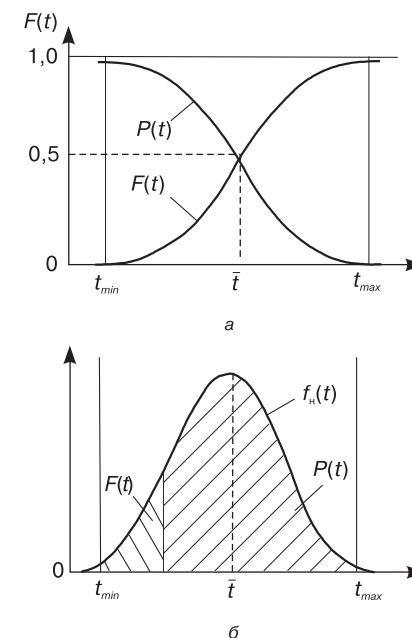


Рис. 6.12. Распределение наработки до отказа:
а — интегральная функция;
б — плотность наработки до отказа

времени t_i можно рассчитать как отношение числа отказов с наработкой t_i к общему числу отказов:

$$\bar{P}(t_i) = \frac{\bar{N} - n(t_i)}{N} = 1 - \frac{n(t_i)}{N}. \quad (6.6)$$

Вероятность безотказной работы $P(t)$ изменяется от нуля до единицы (см. рис. 6.11). Чем ближе к единице, тем выше безотказность работы средства измерений. Точка пересечения кривых $F(t)$ и $P(t)$ определяет среднюю наработку до отказа. В этой точке $F(t)$ и $P(t)$ равны 0,5.

Вероятность безотказной работы в течение времени t_i может быть найдена через плотность распределения наработки до отказа $f_n(t)$ (см. рис. 6.12, б). Так как $f_n(t) = dF(t) / dt$, то

$$F(t) = \int_{-\infty}^t f_n(t) dt, \quad (6.7)$$

т.е. вероятность отказа $F(t)$ равна площади под кривой $f_n(t)$ на участке от $-\infty$ до t . Тогда вероятность безотказной работы средства измерений в течение времени t будет равна площади под кривой $f_n(t)$ на участке от t до $+\infty$

$$P(t) = \int_t^{\infty} f_n(t) dt. \quad (6.8)$$

Средней наработкой до отказа называется математическое ожидание наработки средства измерений до первого отказа

$$\bar{t} = \int_0^{\infty} t f_n(t) dt$$

или

$$\bar{t} = \int_0^{\infty} P(t) dt. \quad (6.9)$$

Гамма-процентная наработка до отказа t_γ — это наработка, в течение которой отказ средства измерений не возникнет с вероятностью γ , выраженной в процентах:

$$P(t_\gamma) = 1 - F(t_\gamma) = 1 - \int_0^{t_\gamma} f_n(t) dt = \gamma / 100. \quad (6.10)$$

При $\gamma = 100\%$ гамма-процентная наработка называется установленной безотказной наработкой, а при $\gamma = 50\%$ — медианной наработкой.

Для анализа причин отказов важным является знание интенсивности отказов средств измерений. *Интенсивность отказов* $\lambda(t)$ определяется как условная плотность вероятности возникновения отказов невосстанавливаемого средства измерений, которая найдется для рассматриваемого момента времени при условии, что отказ до этого времени не возник:

$$\lambda(t) = -\frac{1}{P(t)} \frac{dP(t)}{dt} = \frac{f_n(t)}{P(t)} = \frac{f_n(t)}{1 - F(t)}. \quad (6.11)$$

Зависимость интенсивности отказов от времени, как правило, имеет три периода, каждый из которых отражает особенности отказов, изменяющихся с течением времени работы средства измерений (рис. 6.13).

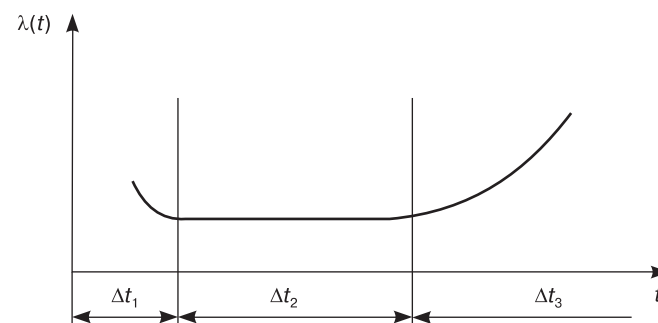


Рис. 6.13. Зависимость интенсивности отказов от времени

Период Δt_1 характеризуется высокой, но уменьшающейся с течением времени интенсивностью отказов. Этот период свойственен неметрологическим отказам и связан с наличием дефектов изготовления.

Период Δt_2 — основной временной участок работы средства измерений. В этот период постепенные отказы еще не поступили, интенсивность отказов стабильна и они носят преимущественно внезапный (случайный) характер. Внезапные отказы могут быть как метрологическими, так и неметрологическими. Они вызваны неблагоприятным стечением многих обстоятельств и поэтому имеют постоянную интенсивность $\lambda(t) = \lambda = \text{const}$.

Период Δt_3 характеризуется возникновением постепенных отказов и повышением их интенсивности $\lambda(t) \neq \text{const}$. В этот период происходят метрологические отказы, вызванные старением или износом элементов средства измерений.

Внезапные отказы распределяются обычно по экспоненциальному закону [15]. При этом законе распределения вероятность безотказной работы $P(t)$ может быть определена по формуле

$$P(t) = \exp \left[-\int_0^t \lambda(t) dt \right]. \quad (6.12)$$

В простейшем случае при $\lambda(t) = \lambda = \text{const}$

$$P(t) = e^{-\lambda t} \text{ и } F(t) = 1 - e^{-\lambda t}. \quad (6.13)$$

Плотность распределения наработки до отказа

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} = \frac{d(1 - e^{-\lambda t})}{dt} = \lambda e^{-\lambda t}. \quad (6.14)$$

При экспоненциальном законе распределения средняя наработка до отказа

$$\bar{t} = \int_0^{\infty} P(t) dt = \int_0^{\infty} e^{-\lambda t} dt = \frac{1}{\lambda}. \quad (6.15)$$

Пример 6.6. Плотность распределения наработки до отказа измерительной системы активного контроля линейных размеров подчиняется экспоненциальному закону с интенсивностью отказов $\lambda = 5 \cdot 10^{-4}$ отказ/ч.

Определить вероятность безотказной работы $P(t)$ за наработку $t = 100$ ч и среднюю наработку до отказа \bar{t} измерительной системы.

1. Вероятность безотказной работы

$$P(t) = e^{-\lambda t} = e^{-0,0005 \cdot 100} = e^{-0,05} = 0,9512,$$

т.е. за наработку 100 ч можно ожидать, что откажут пять измерительных систем из 100.

2. Средняя наработка до отказа составляет, ч:

$$\bar{t} = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{0,0005} = 2000.$$

Для постепенных отказов используют законы распределения вероятности безотказной работы, которые дают вначале низкую плотность распределения, затем максимальную и далее опять низкую, связанную с уменьшением числа работоспособных изделий. В связи с этим при постепенных отказах для описания плотности распределения наработки до отказа средств измерений используют нормальный и логарифмический нормальный законы, а также закон Вейбулла [15, 16].

Если плотность распределения наработки до отказа подчиняется нормальному закону, тогда

$$f_n(t) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{(t - m_t)^2}{2\sigma^2} \right], \quad (6.16)$$

где m_t и σ — соответственно математическое ожидание и СКО наработки до отказа средства измерений.

Интегральная функция при введении переменной $z = (t - m_t)/\sigma$ будет иметь следующий вид:

$$F(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^z e^{-0,5 z^2} dz = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^0 e^{-0,5 z^2} dz + \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^z e^{-0,5 z^2} dz = 0,5 + \Phi_0(z), \quad (6.17)$$

где $\Phi_0(z)$ — функция Лапласа.

В этом случае вероятность безотказной работы

$$P(t) = 1 - F(t) = 0,5 - \Phi_0(z). \quad (6.18)$$

Пример 6.7. Наработка до отказа средства измерений имеет нормальное распределение с параметрами $m_t = 1000$ ч и $\sigma_t = 200$ ч

Определить вероятность безотказной работы средства измерений для ряда значений наработки $t_1 = 200$ ч, $t_2 = 600$ ч, $t_3 = 1200$ ч.

1. Для $t_1 = 200$ ч по формуле (6.18) с использованием прил. 1 найдем

$$P(t_1) = 0,5 - \Phi_0 \left(\frac{200 - 1000}{200} \right) = 0,5 - \Phi_0(-4,0) = 0,5 + 0,4999683 \approx 1,$$

т.е. вероятность безотказной работы при наработке $t = 200$ ч близка к 1.

2. Для $t_2 = 600$ ч

$$P(t_2) = 0,5 - \Phi_0 \left(\frac{600 - 1000}{200} \right) = 0,5 - \Phi_0(-2,0) = 0,5 + 0,48 \approx 0,98.$$

3. Для $t_3 = 1200$ ч

$$P(t_3) = 0,5 - \Phi_0 \left(\frac{1200 - 1000}{200} \right) = 0,5 - \Phi_0(-1,0) = 0,5 + 0,33 \approx 0,17.$$

Пример 6.8. Для условий примера 6.7 определить гамма-процентную наработку до отказа t_γ при $\gamma = 0,95$, т.е. наработку, в течение которой с вероятностью $P(t_\gamma) = \gamma = 0,95$ отказа средства измерений не произойдет.

По таблице функции Лапласа (см. прил. 1) для $P(t_\gamma) = 0,5 - \Phi_0(z_\gamma) = 0,95$, т.е. $\Phi_0(z_\gamma) = -0,45$, найдем аргумент функции Лапласа $z_\gamma = -1,65$.

Из уравнения $z_\gamma = \frac{t_\gamma - m_t}{\sigma}$ рассчитаем $t_\gamma = m_t + z \cdot \sigma = 1000 + (-1,65 \cdot 200) = 670$ ч.

Таким образом, установлено, что безотказная работа с вероятностью 0,95 будет выполняться средством измерений в течение 670 ч.

Рассмотренные задачи решаются, если, исходя из организационно-технических соображений, принимают регламентированную наработку, например наработку до ремонта или регулировки средства измерений.

Основными показателями долговечности средства измерений являются сроки службы и ресурсы [16]. Согласно ГОСТ 27.003-90, ресурс в качестве показателя долговечности используется для изделий, в которых основным процессом, определяющим переход в предельное состояние, является изнашивание. *Ресурс средства измерений* — это наработка средства измерений от начала эксплуатации до перехода в предельное состояние. Ресурс представляет собой запас возможной наработки и измеряется в часах. Если основным процессом, определяющим переход в предельное состояние, является старение, то в качестве показателя долговечности используется срок службы.

Средним ресурсом называется математическое ожидание ресурса

$$\bar{T} = \int_0^{\infty} t f_p(t) dt, \quad (6.19)$$

где $f_p(t)$ — плотность распределения ресурса для совокупности средств измерений данного типа.

Гамма-процентный ресурс — это наработка, в течение которой средство измерений не достигает предельного состояния с заданной вероятностью γ , выраженной в процентах:

$$P(T_{\gamma}) = 1 - \int_0^{T_{\gamma}} f_p(t) dt = \frac{\gamma}{100}. \quad (6.20)$$

Срок службы средства измерений — это календарная продолжительность работы средства измерений от начала его эксплуатации до перехода в предельное состояние. Он измеряется в годах или месяцах.

Средний срок службы — это математическое ожидание срока службы

$$\bar{T}_{\text{сл}} = \int_0^{\infty} t f_{\text{сл}}(t) dt, \quad (6.21)$$

где $f_{\text{сл}}(t)$ — плотность распределения срока службы для совокупности средства измерений данного типа.

Гамма-процентный срок службы — это календарная продолжительность от начала эксплуатации средства измерений, в течение которой оно не достигает предельного состояния с заданной вероятностью γ , выраженной в процентах:

$$P(T_{\text{сл } \gamma}) = 1 - \int_0^{T_{\text{сл } \gamma}} f_{\text{сл } \gamma}(t) dt = \frac{\gamma}{100}. \quad (6.22)$$

Сохраняемость оценивается показателями, аналогичными тем, которые применяются для оценки долговечности, например средний срок сохраняемости и гамма-процентный срок сохраняемости.

Ремонтопригодность характеризуется затратами времени на обнаружение повреждений и восстановление средства измерений после отказа и поддержание его в работоспособном состоянии путем регулярного технического обслуживания. Одним из показателей ремонтности является среднее время восстановления работоспособного состояния средства измерений.

При недостаточной безотказности, но высокой ремонтности средство измерений может иметь достаточный уровень надежности. К комплексным показателям, которые учитывают безотказность и ремонтность, например, относится коэффициент готовности. *Коэффициентом готовности* называется вероятность того, что объект будет работоспособен в произвольно выбранный момент времени в промежутках между выполнениями планового технического обслуживания.

Таким образом, используя методы теории надежности, можно прогнозировать возникновение отказов средств измерений, что позволит потребителю обоснованно назначать межповерочные интервалы и грамотно организовывать их техническое обслуживание и ремонт.

Контрольные вопросы

1. Что такое средство измерений?
2. Какие основные виды средств измерений вы знаете?

3. Приведите примеры мер ФВ.
4. В чем состоит отличие измерительной системы от измерительной установки?
5. Дайте определение метрологической характеристики средства измерений.
6. Каковы основные метрологические характеристики средств измерений?
7. Что представляет собой влияющая величина?
8. В чем состоит отличие нормальных и рабочих условий выполнения измерений?
9. Приведите основные влияющие величины при выполнении линейных измерений механическими средствами измерений.
10. Дайте определения основных и дополнительных погрешностей средств измерений.
11. Что определяет класс точности средства измерений?
12. Какие факторы учитывают при выборе средства измерений?
13. От чего зависит величина допускаемой погрешности измерения и какие погрешности она включает в себя?
14. Что понимают под приемочными границами?
15. В каких случаях назначают производственный допуск?
16. На какую величину смещают приемочные границы при назначении производственного допуска?
17. Чем объяснить возможное появление неправильно принятых и неправильно отбракованных деталей при измерении их выбранными средствами измерений?
18. Каким образом осуществляют контроль валов и отверстий с помощью предельных калибров?
19. Валы и отверстия каких квалитетов контролируют предельными калибрами?
20. Для чего используют контрольные калибры?
21. В каких производствах используют предельные жесткие и регулируемые калибры?
22. Что такое метрологическая надежность средства измерений?
23. Перечислите и дайте определения основным свойствам надежности.
24. Чем вызвано изменение во времени метрологических характеристик средства измерений?
25. Дайте определение и приведите статистическую оценку вероятности безотказной работы.
26. Что представляют собой интенсивность отказов, средняя и гамма-процентная наработка до отказа?
27. Какие законы распределения наработки до отказа в периоды внезапных и постепенных отказов вы знаете?
28. Каковы основные показатели долговечности средства измерений?

КАЧЕСТВО ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА

Составной частью любого технологического процесса является измерительный процесс. От качества измерительного процесса зависит правильность принимаемых решений по управлению технологическими процессами и о соответствии выпускаемой продукции.

Измерительный процесс — процесс, преобразующий значение измеряемого параметра в результат измерения посредством использования ресурсов (средств измерительной техники и другого оборудования, оператора, окружающей среды и т.д.), регулируемый методикой выполнения измерения. По существу, измерительный процесс представляет собой взаимодействие людей, оборудования, изделия, методов и среды, в результате которого происходит измерение. В простейшем случае модель измерительного процесса можно представить в виде схемы, изображенной на рис. 7.1.

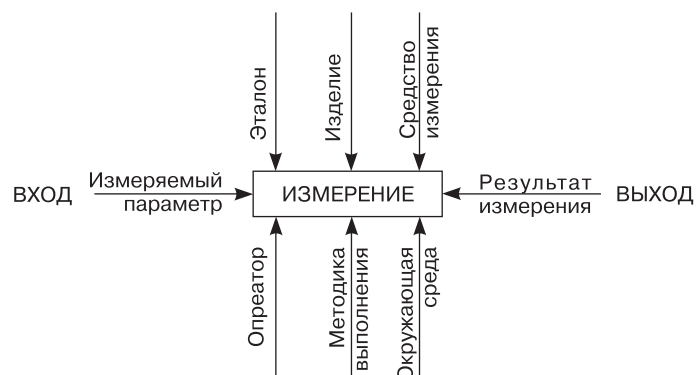


Рис. 7.1. Модель измерительного процесса

Качество измерительного процесса связано со статистическими характеристиками многократных измерений и определяется точ-

ностью и достоверностью измерений (рис. 7.2). Как отмечалось в главе 1, *точность измерений* является характеристикой качества измерений и отражает близость к нулю погрешности его результата. Для описания точности измерений в ГОСТ Р ИСО 5725.1–2002 «Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений» используют два термина: правильность и прецизионность. *Правильность* характеризует степень близости среднего арифметического значения большого числа результатов измерений к истинному значению и оценивается смещением среднего арифметического значения при многократных измерениях ФВ от истинного значения.

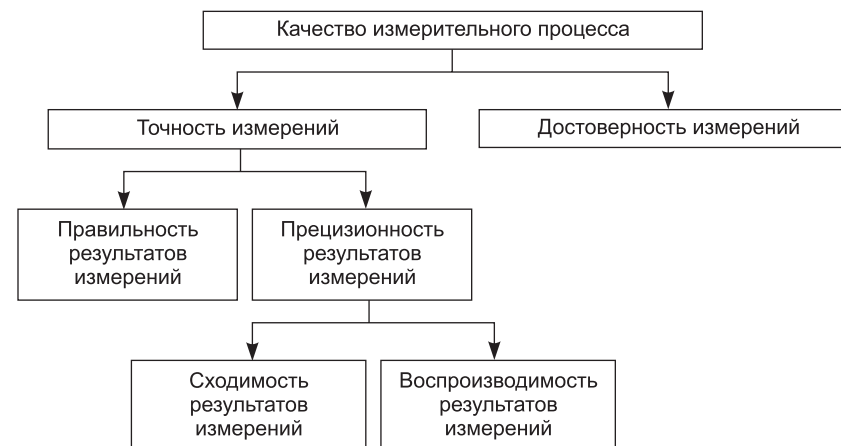


Рис. 7.2. Показатели качества измерительного процесса

Показателем правильности измерений является значение систематической погрешности, которая обусловлена несовершенством реализации принятого метода измерений, погрешностью градуировки применяемого средства измерений, отклонением условий измерения от нормальных и др.

Абсолютное значение смещения среднего арифметического значения измеряемой величины (рис. 7.3) можно рассчитать по формуле

$$B = \bar{x} - x_{и}, \quad (7.1)$$

где \bar{x} — среднее арифметическое значение измеряемой величины;
 $x_{и}$ — истинное значение измеряемой величины.

Если абсолютное значение смещения известно и постоянно, то в результат измерений вносят соответствующую поправку со знаком, противоположным этому смещению (см. подраздел 4.3).

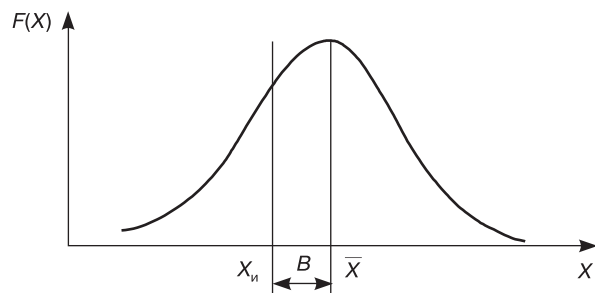


Рис. 7.3. Смещение среднего арифметического значения

Определить значение смещения среднего арифметического значения измеряемой величины возможно только тогда, когда можно прямо или косвенно установить ее истинное значение. Так как истинное значение измеряемой величины неизвестно, то как в отечественной, так и в международной практике [1] его заменяют опорным значением. В соответствии с ГОСТ Р ИСО 51814.5–2005 «Система менеджмента качества в автомобилестроении. Анализ измерительных и контрольных процессов» *опорное значение* (предполагаемое истинное значение) — это среднее арифметическое значение, полученное при многократном измерении ($n \geq 20$) параметра образца (детали) в метрологической лаборатории с использованием средств измерений более высокой точности, чем средство измерений измерительного процесса. Образец, как правило, выбирают из числа деталей анализируемого технологического процесса, значение измеряемого параметра которого попадает в середину поля допуска.

Относительное смещение среднего арифметического значения измеряемой величины обозначают $\%B$ и рассчитывают по формуле

$$\%B = \frac{|B|}{IT} \cdot 100\%, \quad (7.2)$$

где IT — стандартный допуск.

При анализе измерительного процесса относительное смещение не должно превышать 10%.

Измерительные процессы могут быть подвержены влиянию различных источников изменчивости: несовершенства метода измерения, неидентичности измеряемых образцов, субъективному влиянию оператора, погрешности используемого оборудования, условий, в которых выполняются измерения, и др. (см. главу 4). Вследствие этого при повторных измерениях одного и того же образца получен-

ные результаты будут различны. Эти различия обусловлены обычными (случайными) и особыми (неслучайными) причинами. При естественном ходе процесса его изменчивость обычно обусловлена влиянием множества разнообразных неконтролируемых причин. Принято считать, что процесс находится в «статистически управляемом состоянии», если источником его изменчивости являются только случайные причины, которые имеют стабильное и повторяемое распределение во времени. *Стабильность измерительного процесса (статистически управляемое состояние)* — состояние измерительного процесса, при котором удалены все особые (неслучайные) причины изменчивости, т.е. наблюдаемая изменчивость может быть объяснена системой обычных (случайных) причин.

Измерительный процесс, находящийся в статистически управляемом состоянии, характеризуется тем, что ход процесса предсказуем, смещение среднего арифметического значения измеряемой величины либо отсутствует, либо имеет постоянное значение во времени (рис. 7.4), и разброс значений измеряемой величины находится в прогнозируемых пределах. При воздействии на измерительный процесс неслучайных (особых) причин изменчивости (например, отклонение температуры окружающей среды от нормальной), он выходит из статистически управляемого состояния, ход процесса становится непредсказуемым, результаты измерений могут существенно отклоняться от прогнозируемых, а разброс результатов измерений может оказаться неприемлемым (см. рис. 7.4).

На практике представляется исключительно важным поддерживать измерительный процесс в стабильном статистически управляемом состоянии, для чего используются методы статистического управления процессами. Простым и эффективным средством статистического управления процессами являются контрольные карты, которые отражают текущее состояние процесса, дают возможность производить оценку степени изменчивости процесса, определять наличие статистической управляемости и оказывают помощь в достижении такой управляемости [8]. Принципы построения, ведения и применения различных видов контрольных карт для анализа стабильности и оценки возможности управления процессами приведены в ГОСТ Р 50779.42–99 «Статистические методы. Контрольные карты Шухарта».

Прецизионность результатов измерений — это степень близости друг к другу независимых результатов измерений, полученных в конкретных регламентированных условиях. Прецизионность зависит только от случайных погрешностей и не имеет отношения

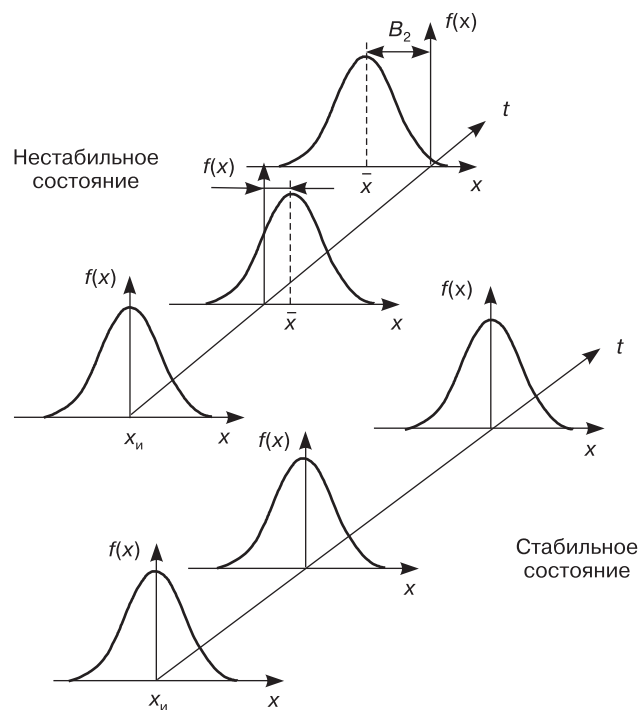


Рис. 7.4. Стабильность измерительного процесса

к истинному значению измеряемой величины. Прецизионность является общим термином для выражения изменчивости повторяющихся измерений и включает в себя сходимость и воспроизводимость результатов измерений.

Сходимость результатов измерений (сходимость измерений) — это близость друг к другу результатов измерений одной и той же величины, выполненных повторно одними и теми же средствами, одним и тем же методом в одинаковых условиях и с одинаковой тщательностью (рис. 7.5). Необходимость рассмотрения сходимости возникает из-за того, что измерения, выполняемые на предположительно идентичных изделиях при предположительно идентичных условиях, не дают, как правило, идентичных результатов. Это объясняется неизбежными случайными погрешностями, присущими каждому измерительному процессу, а разброс результатов измерений может оказаться неприемлемым. Сходимость результатов измерений оценивается СКП результатов измерений (см. подраздел 4.4).

Воспроизводимость результатов измерений (воспроизводимость измерений) — это близость результатов измерений одной и той же величины, полученных в различных местах, разными методами, разными средствами, разными операторами, в разное время, но приведенных к одним и тем же условиям измерений (температуре, давлению, влажности и др.) (см. рис. 7.5). Воспроизводимость, так же как и сходимость, количественно может быть выражена СКП результата измерения.

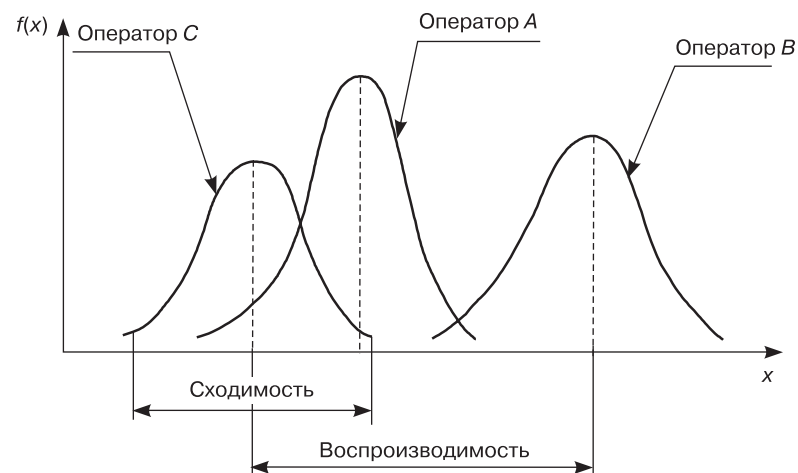


Рис. 7.5. Воспроизводимость результатов при измерении различными операторами

Сходимость и воспроизводимость представляют собой два крайних случая прецизионности, где первый характеризует минимальную, а второй — максимальную изменчивость результатов.

Достоверность измерений определяется степенью доверия к результату измерения и характеризуется вероятностью того, что истинное значение измеряемой величины находится в указанных пределах интервала результата измерения от $x - \Delta$ до $x + \Delta$ (см. главы 4 и 5). Как следует из анализа погрешностей, достоверность измерений — это близость к нулю случайной или неисключенной систематической погрешности.

В соответствии с ГОСТ Р 51814.5—2005 анализ качества измерительных процессов, входящих в состав технологических процессов, производится в последовательности, приводимой далее (рис. 7.6):

- 1) исследования измерительного процесса на стабильность;

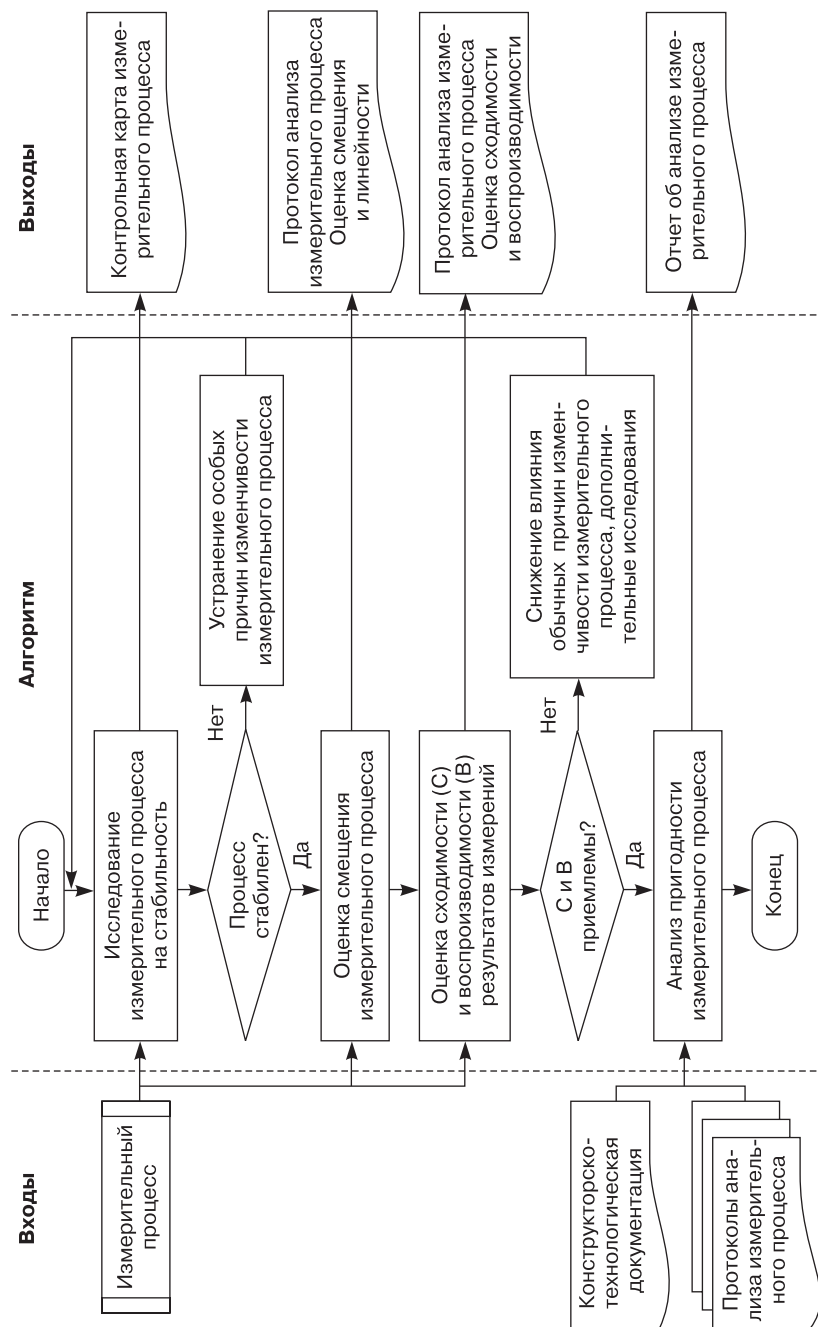


Рис. 7.6. Схема оценивания статистических характеристик измерительного процесса

- 2) в случае нестабильного измерительного процесса – устранение особых причин изменчивости;
- 3) оценка смещения измерительного процесса;
- 4) оценка сходимости и воспроизводимости результатов измерений;
- 5) в случае неприемлемых сходимости и воспроизводимости результатов измерений – анализ причин повышенной изменчивости, осуществление корректирующих действий, повторная оценка сходимости и воспроизводимости.

Подтверждение статистических характеристик измерительных процессов рекомендуется осуществлять не реже одного раза в год. Внеочередное подтверждение статистических характеристик выполняют в случаях: замены, модернизации или ремонта средств измерительной техники; изменения технологических процессов, увеличения количества несоответствий измеряемого параметра и т.д.

Рассмотренные показатели качества используются в международной практике для анализа приемлемости измерительных процессов, используемых для контроля качества выпускаемой продукции и управления технологическими процессами, а также подтверждения или признания компетентности испытательных лабораторий, которыми руководствуются заказчики и органы по аккредитации.

Контрольные вопросы

1. Что такое измерительный процесс?
2. По каким показателям оценивают качество измерительного процесса?
3. Что характеризует термин «правильность измерений»?
4. Дайте определение стабильности измерительного процесса.
5. Что понимается под прецизионностью результатов измерений?
6. Дайте определение сходимости и воспроизводимости результатов измерений.
7. Как количественно можно оценить сходимость и воспроизводимость результатов измерений?

МЕТРОЛОГИЧЕСКАЯ ЭКСПЕРТИЗА ТЕХНИЧЕСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ

8.1. Общие положения

Согласно РМГ 63-2003 «ГСИ. Обеспечение эффективности измерений при управлении технологическими процессами. Метрологическая экспертиза технической документации», *метрологическая экспертиза* (МЭ) — это анализ и оценка технических решений по выбору параметров, подлежащих измерениям, установлению требований к точности измерений и обеспечению методами и средствами измерения процессов разработки, изготовления, испытания, эксплуатации и ремонта продукции.

Метрологическая экспертиза является формой участия специалистов-метрологов в разработке технической документации. Цель такого участия состоит в выявлении ошибочных или недостаточно обоснованных решений по метрологическому обеспечению и оказании помощи разработчику в поиске наиболее рациональных решений. Введение МЭ приводит к совершенствованию метрологического обеспечения производства и, как следствие, повышению качества выпускаемой продукции.

Метрологическая экспертиза 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 [9, 12]:

- оценка рациональности номенклатуры измеряемых параметров;
- оптимальности требований к точности измерений;
- соответствия точности измерений заданным требованиям;

- полноты и правильности требований к точности средств измерений;
- контролепригодности конструкции (возможности контроля необходимых параметров процесса изготовления, испытаний, эксплуатации и ремонта);
- возможности эффективного обслуживания выбранных средств измерений;
- рациональности выбранных средств и методик выполнения измерений;
- анализ использования вычислительной техники в измерительных операциях;
- контроль метрологических терминов, наименований измеряемых величин и обозначений их единиц.

Метрологической экспертизе подвергают документацию на продукцию основного и вспомогательного производства, содержащую требования к средствам измерений, 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 документацию; документы на стадии изготовления изделий (например, извещения об изменениях документации). Объекты анализа, рекомендуемые для МЭ различной технической документации, представлены в табл. 8.1.

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.

**Виды технической документации и соответствующие объекты анализа при метрологической экспертизе
(по РМГ 63-2003)**

Объекты анализа при метрологической экспертизе	Виды технической документации									
	технические задания, предложения (заявки)	отчеты о НИР, пояснительные записки к техническим и эскизным проектам	протоколы испытаний	технические условия, проекты стандартов	эксплуатационные и ремонтные документы	программы и модификаторы	технические инструкции и регламенты	технические карты	технологические карты	проектные документы
Рациональность номенклатуры измеряемых параметров	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Оптимальность требований к точности измерений	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Объективность и полнота требований к точности средств измерений	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Соответствие фактической точности измерений требуемой	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Контролепригодность конструкции (схемы)	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Возможность эффективного метрологического обслуживания средств измерений	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•

Окончание

Объекты анализа при метрологической экспертизе	Виды технической документации									
	технические задания, предложения (заявки)	отчеты о НИР, пояснительные записки к техническим и эскизным проектам	протоколы испытаний	технические условия, проекты стандартов	эксплуатационные и ремонтные документы	программы и модификаторы	технические инструкции и регламенты	технические карты	технологические карты	проектные документы
Рациональность выбранных методик и средств измерений	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Применение вычислительной техники	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Метрологические термины, наименование измеряемых величин и обозначение единиц	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•

8.2. Метрологическая экспертиза рабочей конструкторской документации

Цель МЭ рабочей конструкторской документации — 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. Такой анализ включает в себя:

- рассмотрение возможности замены качественных требований (при их наличии) на требования к ФВ;
- анализ достаточности номенклатуры измеряемых параметров, необходимых для обеспечения изделием (узлом, деталью) его служебного назначения и рассмотрение возможности сокращения этой номенклатуры или такого ее изменения, которое приводит к уменьшению затрат на контрольно-измерительные операции;
- проверку взаимной увязки допусков формы, расположения а также шероховатости поверхностей и допусков на размеры, представляемые на чертеже детали.

Рассмотрение возможности замены качественных требований, предполагающих органолептический (с помощью органов чувств) контроль, на требования к физическим величинам, проверяемых путем измерений, необходимо осуществлять при наличии качественных требований к конструкции изделия. Однако такая замена хотя и возможна, но нецелесообразна, например в случае контроля параметров, повышения объективности и достоверности которого не оправдывает дополнительные затраты на организацию измерений.

Анализ достаточности номенклатуры измеряемых параметров осуществляют по результатам оценки их влияния на служебное назначение изделия, взаимосвязи между собой, а также экономической целесообразности соответствующих контрольно-измерительных операций.

Так, в ряде случаев из-за удобства измерения целесообразно заменять раздельное нормирование отклонений формы и расположения поверхностей деталей нормированием суммарных отклонений этих параметров геометрической точности, тем более, что часто точность формы и расположения поверхностей одновременно влияют на эксплуатационные свойства деталей [25]. К таким параметрам можно отнести отклонения от плоскостности и параллельности, плоскостности и перпендикулярности и некоторые другие, часто нерационально нормируемые и измеряемые раздельно.

Вместе с тем иногда целесообразно заменять нормируемые комплексные параметры геометрической точности дифференцированными. Например, измерение комплексного параметра точности формы цилиндрических поверхностей — отклонения от цилиндричности, часто 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 является экономически целесообразней, чем допусками координирующих размеров, так как позволяет использовать для контроля зависимых позиционных отклонений комплексные калибры.

При проверке взаимной увязки допусков формы, расположения, а также шероховатости поверхностей и допусков на размеры, представляемые на чертеже детали, следует руководствоваться ГОСТ 24643—81 и рекомендациями [9, 13].

Если для обеспечения служебного назначения изделия для одних и тех же поверхностей устанавливаются допуски расположения TP и допуски формы TF , то рекомендуется, чтобы допуски формы не превышали допусков расположения:

$$TF \leq TP.$$

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 $TF < 0,5IT$.

Для обеспечения рационального соотношения между допусками формы и допуском размера IT ГОСТ 24643—81 рекомендованы следующие уровни относительной геометрической точности:

A — нормальная относительная геометрическая точность; $TF = 0,6IT$ для плоских поверхностей и $TF = 0,3IT$ для цилиндрических поверхностей;

B — повышенная относительная геометрическая точность. Для плоских и цилиндрических поверхностей соответственно $TF = 0,4IT$ и $TF = 0,2IT$;

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

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 T_{Ds} диаметра конуса в заданном сечении рекомендуется назначать допуск угла конуса AT_D не превышающим допуск диаметра конуса

$$AT_D \leq T_{Ds}.$$

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 $-AT$) $TF \leq 0,5AT_D$;

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

Для трех уровней относительной геометрической точности наибольшие значения параметров шероховатости должны быть определены из следующих соотношений: при уровне A среднее арифметическое отклонение профиля $R_a \leq 0,05IT$; уровне B — $R_a \leq 0,025IT$; уровне C — $R_a \leq 0,012IT$.

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

В тех случаях, когда нормируют высоту неровностей по 10 точкам R_z , можно воспользоваться зависимостью

$$R_z = k \cdot R_a,$$

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

При экспертизе *контролепригодности установленных норм точности* основное внимание уделяют анализу возможности измерения указанных в конструкторской документации параметров точности изделия существующими измерительными средствами. Если такая возможность отсутствует, проверяют обоснованность назна-

чения 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 измерений 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 величиной параметров m (число 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 деталей и точности измерений (см. подразд. 6.3). Указанные параметры должны находиться в пределах допустимых конструктивных (m , c) и экономических (n) требований.

При *оценке правильности использования метрологических терминов, наименований измеряемых величин и обозначений их единиц* проверяют выполнение требований ГОСТ 16263–70, ГОСТ 8.417–2002 и др. Правильное использование терминологии — залог предотвращения ошибок и неоднозначности в содержании технической документации. В документации разрешается применение единиц системы СИ, кратных и дольных единиц системы СИ, единиц, допущенных к применению наравне с единицами системы СИ.

Одним из наиболее важных и ответственных этапов МЭ конструкторской документации является метрологическая экспертиза рабочих чертежей машин и приборов. Целью МЭ чертежа детали является установление возможности контроля заложенных в чертеже норм точности.

Метрологическая экспертиза чертежа детали выполняется в последовательности, приведенной далее.

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 системе СИ.

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

4. Определяют контролепригодность указанных в п. 3 допусков.

5. Устанавливают 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 8.1. Выполнить метрологическую экспертизу чертежа шлицевого вала (рис. 8.1), изготавливаемого в условиях мелкосерийного производства.

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 $M 22 \times 1,5$ — крепежная, позволяет 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 осевой центровой отверстий. Точность формы поверхностей Е и Ж задана допусками

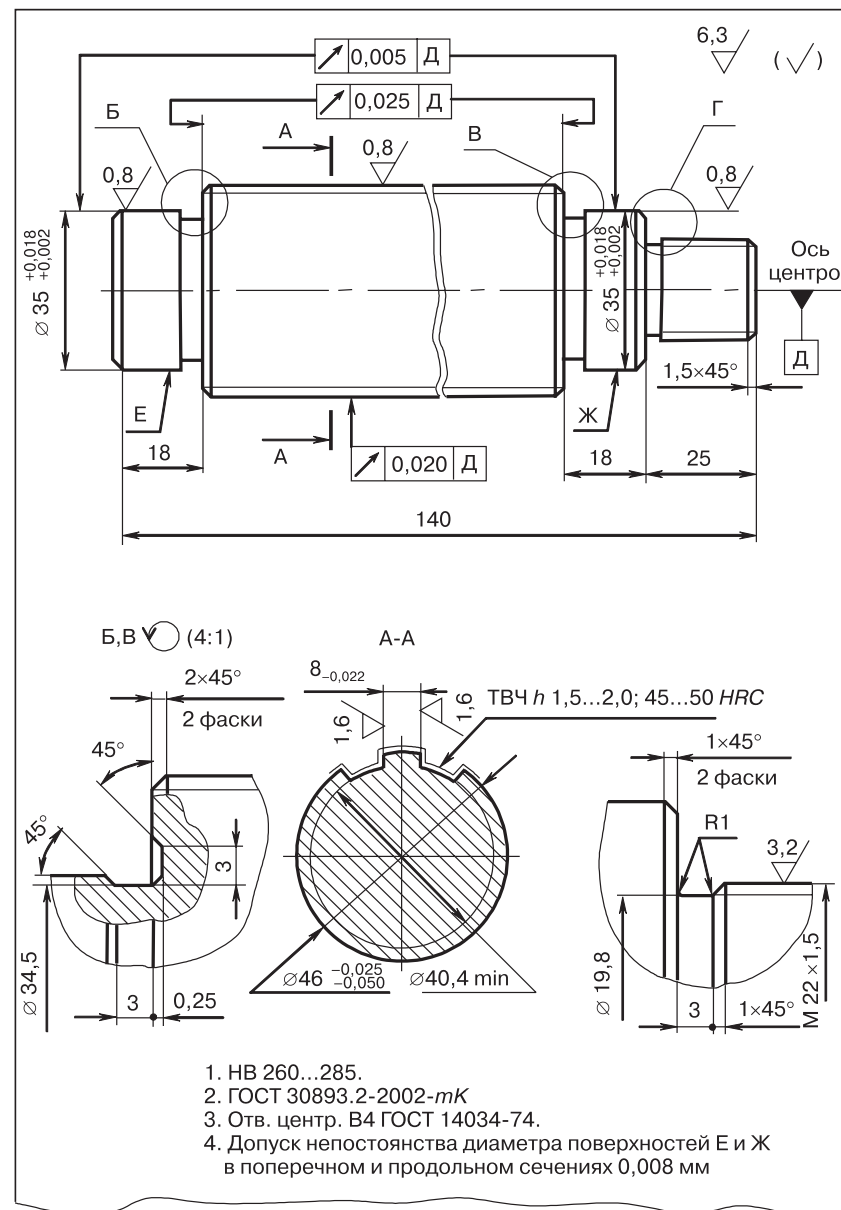


Рис. 8.1. Чертеж шлицевого вала

непостоянства их диаметров в продольном и поперечном направлениях; точность формы заплечиков вала косвенно ограничена допуском торцового биения.

Шероховатость всех поверхностей вала задана параметром R_a — 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, указанные на чертеже, установлены правильно, так как соответствуют ГОСТ 3325—85 «Подшипники качения. Поля допусков и технические требования к посадочным поверхностям валов и корпусов. Посадки» и ГОСТ 1139—80 «Соединения шлицевые прямобочные. Размеры и допуски».

Недопустимым является отсутствие на чертеже требований к точности резьбы М 22 × 1,5. Так как резьба крепежная, в соответствии с ГОСТ 16093—2004 «Резьба метрическая. Допуски. Посадки с зазором», предпочтительным является использование поля допуска 6g.

С точки зрения контролепригодности установленные на линейные размеры допуски возражений не вызывают. Диаметры $\varnothing 35_{+0,002}^{+0,018}$ и $\varnothing 46_{-0,050}^{-0,025}$ можно измерить скобой рычажной (СР50) с ценой деления 0,002 мм при установке на нуль 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 нуль по установочной мере. При измерении диаметра $\varnothing 35_{+0,002}^{+0,018}$ скобой рычажной погрешность измерения $\Delta_u = 4,5$ мкм, что меньше допустимой погрешности измерения $\delta = 5$ мкм; при измерении размера $8_{-0,022}$ микрометром гладким $\Delta_u = 5$ мкм при $\delta = 5$ мкм [4].

Оценим достоверность контроля на примере измерения шейки вала $\varnothing 35_{+0,002}^{+0,018}$. 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 повлияет на эксплуатационные показатели соединения (анализ выполняются совместно 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 переноса колец подшипников, установленных на вал, согласно ГОСТ 3325—85, необходимо обеспечить соосность шеек под подшипники вала относительно их общей оси. На чертеже (см. рис. 8.1) 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), и погрешность несовмещения конструкторской (общая ось шеек под подшипники) и измерительной (ось центровых отверстий) баз. Погрешность несовмещения баз после тонкого шлифования может доходить до $\Delta_\delta = 12$ мкм [19]. Таким образом методическая погрешность измерения, мкм,

$$\Delta_m = \sqrt{\Delta_\Phi^2 + \Delta_\delta^2} = \sqrt{4^2 + 12^2} = 12,6,$$

т.е. методическая погрешность измерения в 14 раз превышает допускаемую погрешность измерения, которая согласно ГОСТ 22187—89 составит $\delta = 0,9$ 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, заданном в диаметральном выражении. Измерение можно выполнить, установив деталь 6 (рис. 8.2) на ножевидные призмы 5, закрепленные на плите 1. Осевое положение детали определяет упор 4. В качестве средства измерения можно использовать измерительные головки с ценой деления 0,001 мм (например, рычажно-зубчатые 1 ИГ). Погрешность измерения отклонения от соосности по предложенной схеме при соблюдении нормальных условий выполнения измерений будет равна инструментальной погрешности средства измерения $\Delta_{ц} = \Delta_{ци} = 0,8$ мкм [4].

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. 8.1). 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. 8.3 и 8.4, с использованием в качестве измерительных средств индикаторов часового типа ИЧ02 с ценой деления 0,01 0-го класса точности [4, 18].

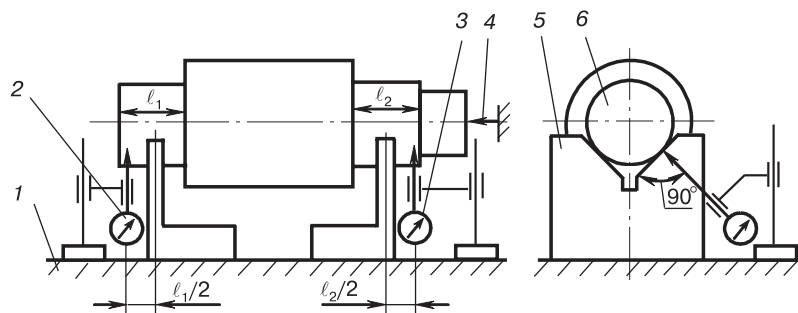


Рис. 8.2. Схема измерения соосности шеек под подшипники шлицевого вала:

1 — поверочная плита; 2, 3 — измерительные головки; 4 — упор;
5 — ножевидная призма; 6 — измеряемая деталь

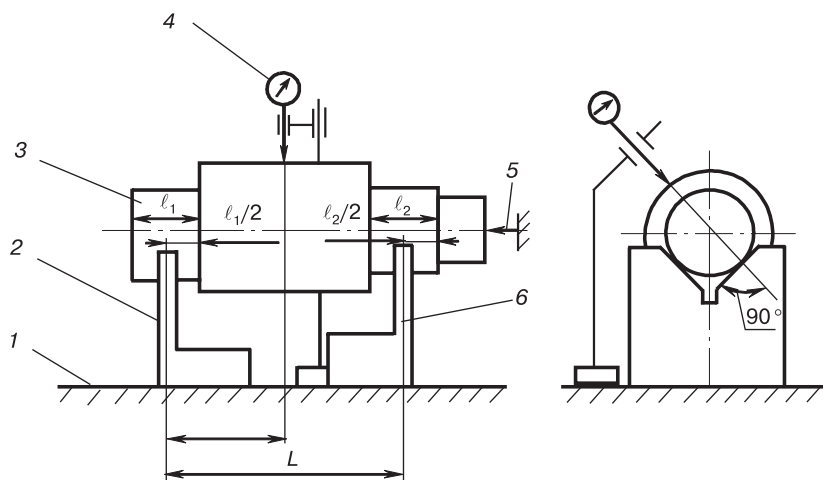


Рис. 8.3. Схема измерения радиального биения наружной поверхности шлиц относительно общей оси шеек под подшипники:

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

На погрешность измерения торцового биения по предложенной схеме (см. рис. 8.3) 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 при измерении торцового биения можно определить по формуле

$$\Delta_{\epsilon} = \sqrt{\Delta_{cu}^2 + \left(\Delta_{\phi 1} \frac{d_1}{L}\right)^2 + \left(\Delta_{\phi 2} \frac{d_2}{L}\right)^2},$$

где Δ_{cu} — инструментальная погрешность средства измерения, мкм;
 $\Delta_{\phi 1}$ и $\Delta_{\phi 2}$ — отклонение формы (отклонение от круглости) поверхности первой и второй базовой шейки соответственно;

d_1 и d_2 — диаметры измерения торцового биения первого и второго заплечиков вала соответственно, мм;

L — расстояние между ножевидными призмами, мм.

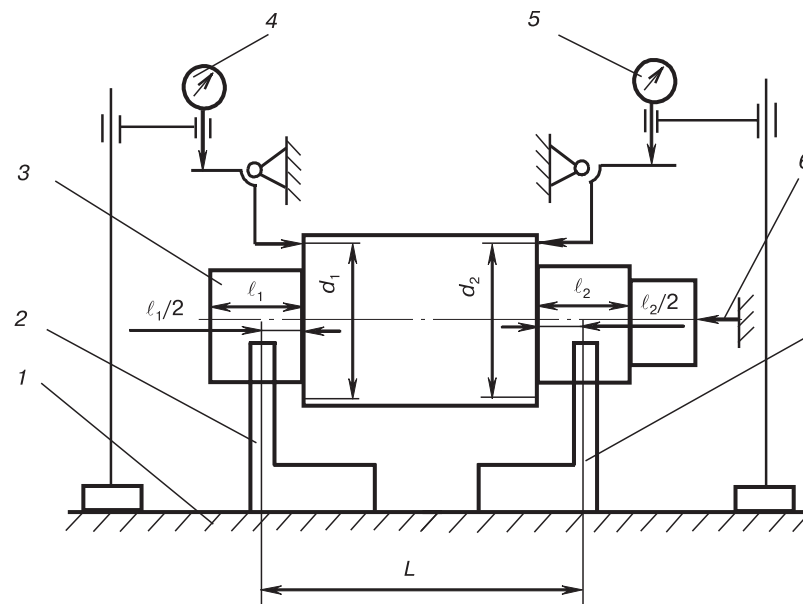


Рис. 8.4. Схема измерения торцового биения заплечиков вала относительно общей оси шеек под подшипники:

1 — поверочная плита; 2 и 7 — ножевидные призмы; 3 — измеряемая деталь; 4 и 5 — индикаторы часового типа; 6 — упор

Так как по чертежу детали $d_1 = d_2$ (см. рис. 8.1 и 8.4), погрешность измерения правого торца будет равна Δ_{u1} .

При использовании индикатора часового типа с $\Delta_{cu} = 6$ мкм [18] и с учетом максимального значения отклонения от круглости

поверхностей базовых шеек $\Delta_{\phi} = 4$ мкм, при нормальных условиях выполнения измерений погрешность измерения составит, мкм:

$$\Delta_{n1} = \Delta_{n2} = \sqrt{6^2 + 2\left(4 \frac{42}{96}\right)^2} = 6,5.$$

Погрешность измерения торцового биения $\Delta_n = 6,5$ мкм меньше допускаемой погрешности измерения $\delta = 9$ мкм [10], следовательно, предложенная схема может быть использована для измерения.

На погрешность измерения радиального биения поверхности шлиц вала также будет оказывать влияние отклонение от круглости поверхностей базовых шеек $\Delta_{\phi 1} = \Delta_{\phi 2}$. В худшем случае при $\Delta_{\phi 1} = \Delta_{\phi 2} = \Delta_{\phi}$:

$$\Delta_n = \sqrt{\Delta_{сн}^2 + \Delta_{\phi}^2}.$$

При использовании индикатора многооборотного 2МИГ с ценой деления 0,002 мм и $\Delta_{сн} = 5$ мкм [20] с учетом максимального значения отклонения от круглости поверхностей базовых шеек $\Delta_{\phi} = 4$ мкм и нормальных условий выполнения измерений погрешность измерения составит, мкм:

$$\Delta_n = \sqrt{5^2 + 4^2} = 6,4.$$

Погрешность измерения радиального биения $\Delta_n = 6$ мкм меньше допускаемой погрешности измерения $\delta = 7$ мкм [13], следовательно, измерение можно выполнять по схеме, предложенной на рис. 8.3.

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 специальный прибор, например кругломер. 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 [20], достаточно сложно. При отсутствии в производстве специального средства измерения отклонения формы посадочных поверхностей в продольном сечении целесообразно ограничи-

вать 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. 8.1), отклонения формы посадочных поверхностей для подшипников 0-го класса точности $\varnothing 35$ мм целесообразно ограничить допуском непостоянства диаметра в поперечном и продольном сечениях величиной 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 нуль по концевым мерам 1-го класса точности с использованием отсчета на $\pm (1 \dots 2)$ делениях шкалы и четырехкратным измерением при соблюдении нормальных условий выполнения измерений. Тогда погрешность измерения $\Delta_n = 0,8$ мкм, что меньше допустимой погрешности измерения $\delta = 3$ мкм [13].

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

При анализе возможности контроля торцового биения заплечиков вала видно, что для этих поверхностей не установлены соответствующие требования по шероховатости $Ra \leq 0,1 T_c = 2,5$ мкм (заданы требования $Ra \leq 6,3$, что соответствует шероховатости поверхности, на изображении 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.

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

Таким образом, на основании проведенной метрологической экспертизы чертежа шлицевого вала следует:

- 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 $\varnothing 0,005$ 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 заплочиков вала $R_a \leq 1,6$ мкм;
- привести обозначения шероховатости в соответствие с изменением № 3 к ГОСТ 2.309–73.

Список замечаний и предложений оформляют по форме табл. 8.2. Исправленный чертеж шлицевого вала представлен на рис. 8.5.

Таблица 8.2

Список замечаний и предложений, сделанных на основании метрологической экспертизы чертежа шлицевого вала

Замечания	Предложения
Не ограничена полем допуска резьбовая поверхность шлицевого вала М 22 × 1,5	Установить требования по точности резьбы М 22 × 1,5 – 6g
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
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
Допуск торцового биения заплочиков вала относительно оси центровых отверстий не позволяет ограничить перекос колец подшипников при работе узла, так как задан не от основных конструкторских баз вала	Проставить допуск торцового биения заплочиков вала 0,025 мм относительно общей оси шеек вала под подшипники
Требования к шероховатости заплочиков вала $R_a \leq 6,3$ мкм не соответствуют ГОСТ 3325–85	Установить требования к шероховатости заплочиков вала $R_a \leq 1,6$ мкм
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

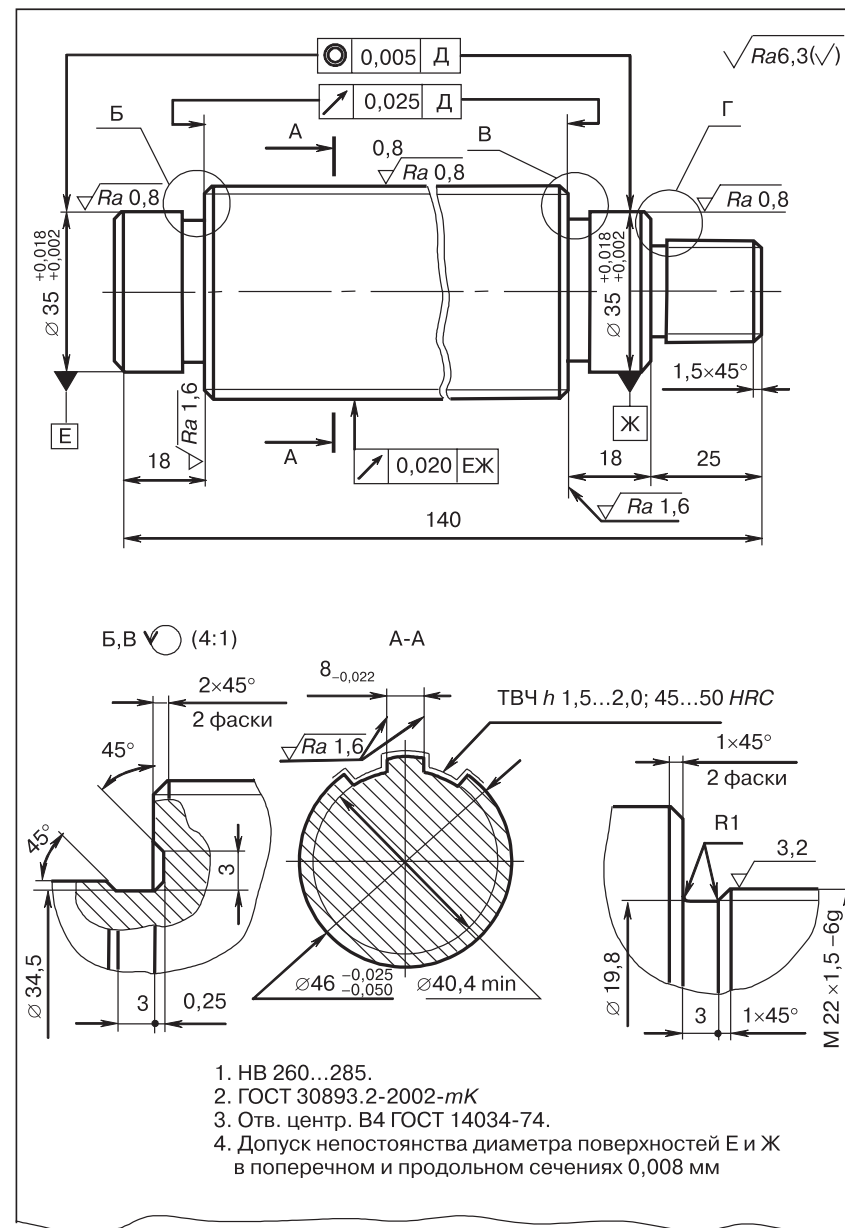


Рис. 8.5. Чертеж шлицевого вала после метрологической экспертизы

8.3. Метрологическая экспертиза технологической документации

Цели МЭ технологической документации те же, что и МЭ рабочей конструкторской документации [9]. Если МЭ рабочей технологической документации предшествовала МЭ рабочей конструкторской документации, то экспертизе могут подвергаться только нормы точности, установленные сверх норм, имеющих в конструкторской документации. Например, введенные технологической службой производственные допуски или допуски на межоперационные размеры (отклонения формы или расположения поверхностей, шероховатости).

При невозможности или затруднении контроля в условиях производства предусмотренными в технологической документации методами и средствами измерения проверяют обоснованность установленных норм точности и рассматривают вопрос о замене средств измерений более точными или вводят производственный допуск, позволяющий использовать менее точное измерительное средство. Однако введение производственного допуска может привести к увеличению числа неправильно забракованных деталей, что способствует увеличению себестоимости изделия. Если процент ложного брака недопустимо большой, то технологическим службам следует рассмотреть вопрос о повышении точности технологического процесса.

Основными задачами МЭ технологических документов являются: анализ достаточности методов контроля, устанавливаемых в технологической документации норм точности; проверка соответствия производительности метода контроля производительности технологического процесса (при недостаточной производительности метода контроля рассматривают возможность применения статистических методов контроля, полуавтоматических или автоматических измерительных средств или методов активного контроля); проверка полноты и определенности описания операций контроля (полнота описаний зависит от вида технологического документа); если в технологическом документе не представляется возможным дать полное описание метода контроля, то на эту операцию должна быть составлена операционная карта технологического контроля или технологическая инструкция; расчет экономичности выбранного метода контроля; анализ правильности указаний по организации и проведению измерений для обеспечения безопасности труда и окружающей среды.

Контрольные вопросы

1. В чем заключается МЭ технической документации?
2. Каковы задачи МЭ технической документации?
3. Какую документацию подвергают МЭ?
4. Какие уровни рационального соотношения допусков формы и допуска размера вы знаете?
5. Как оценивается достоверность измерений линейных размеров?
6. В какой последовательности проводится МЭ чертежа детали?
7. Как оформляются результаты МЭ?
8. В чем состоит цель МЭ технологической документации?

Приложение 1

Значения интеграла вероятностей $\Phi_0(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^z e^{-0.5z^2} dz$

z	$\Phi_0(z)$	z	$\Phi_0(z)$	z	$\Phi_0(z)$	z	$\Phi_0(z)$
0,01	0,0040	0,31	0,1217	0,72	0,2642	1,80	0,4641
0,02	0,0080	0,32	0,1255	0,74	0,2703	1,85	0,4678
0,03	0,0120	0,33	0,1293	0,76	0,2764	1,90	0,4713
0,04	0,0160	0,34	0,1331	0,78	0,2823	1,95	0,4744
0,05	0,0199	0,35	0,1368	0,80	0,2881	2,00	0,4772
0,06	0,0239	0,36	0,1406	0,82	0,2939	2,05	0,4798
0,07	0,0279	0,37	0,1443	0,84	0,2995	2,10	0,4821
0,08	0,0319	0,38	0,1480	0,86	0,3051	2,15	0,4842
0,09	0,0359	0,39	0,1517	0,88	0,3106	2,20	0,4861
0,10	0,0398	0,40	0,1554	0,90	0,3159	2,25	0,4878
0,11	0,0438	0,41	0,1591	0,92	0,3212	2,3	0,48928
0,12	0,0478	0,42	0,1628	0,94	0,3264	2,35	0,49061
0,13	0,0517	0,43	0,1664	0,96	0,3315	2,40	0,49180
0,14	0,0557	0,44	0,1700	0,98	0,3365	2,45	0,49286
0,15	0,0596	0,45	0,1736	1,00	0,3413	2,50	0,49379
0,16	0,0636	0,46	0,1772	1,05	0,3531	2,55	0,49461
0,17	0,0675	0,47	0,1808	1,10	0,3643	2,60	0,49534
0,18	0,0714	0,48	0,1844	1,15	0,3749	2,65	0,49598
0,19	0,0753	0,49	0,1879	1,20	0,3849	2,70	0,49653
0,20	0,0793	0,50	0,1915	1,25	0,3944	2,75	0,49702
0,21	0,0832	0,52	0,1985	1,30	0,4032	2,85	0,49781
0,22	0,0871	0,54	0,2054	1,35	0,4115	2,95	0,49841
0,23	0,0910	0,56	0,2123	1,40	0,4192	3	0,49865
0,24	0,0948	0,58	0,2190	1,45	0,4262	3,1	0,49918
0,25	0,0987	0,60	0,2257	1,50	0,4332	3,2	0,49931
0,26	0,1020	0,62	0,2324	1,55	0,4394	3,4	0,49966

Окончание

z	$\Phi_0(z)$	z	$\Phi_0(z)$	z	$\Phi_0(z)$	z	$\Phi_0(z)$
0,27	0,1064	0,64	0,2389	1,60	0,4452	3,6	0,49984
0,28	0,1103	0,66	0,2454	1,65	0,4505	3,8	0,499928
0,29	0,1141	0,68	0,2517	1,70	0,4554	4	0,4999683
0,30	0,1179	0,70	0,2580	1,75	0,4599	4,5	0,4999966
—	—	—	—	—	—	5	0,499999713

Примечание. В таблице приведены значения функции Лапласа для положительных аргументов. Значения функции для отрицательных аргументов определяются по формуле $\Phi(-z) = -\Phi_0(z)$.

Приложение 2

Значения критерия Фишера F_q для различных уровней значимости q

k_2	F_q при k_1 , равном									
	1	2	3	4	5	6	8	12	16	∞
$q = 0,05$										
2	18,51	19,00	19,16	19,25	19,30	19,33	19,37	19,41	19,43	19,50
4	7,71	6,94	6,59	6,39	6,26	6,16	6,04	5,91	5,84	5,63
6	5,99	5,14	4,76	4,53	4,39	4,28	4,15	4,00	3,92	3,67
8	5,32	4,46	4,07	3,84	3,69	3,58	3,44	3,28	3,20	2,93
10	4,96	4,10	3,71	3,48	3,33	3,22	3,07	2,91	2,82	2,54
12	4,75	3,88	3,49	3,26	3,11	3,00	2,85	2,69	2,60	2,30
14	4,60	3,74	3,34	3,11	2,96	2,85	2,70	2,53	2,44	2,13
16	4,49	3,63	3,24	3,01	2,85	2,74	2,59	2,42	2,33	2,01
18	4,41	3,55	3,16	2,93	2,77	2,66	2,51	2,34	2,25	1,92
20	4,35	3,49	3,10	2,87	2,71	2,60	2,45	2,28	2,18	1,64
30	4,17	3,32	2,92	2,69	2,53	2,42	2,27	2,09	1,99	1,62
∞	3,84	2,99	2,60	2,37	2,21	2,09	1,94	1,75	1,64	1,00
$q = 0,01$										
2	98,49	99,00	99,17	99,25	99,30	99,33	99,36	99,42	99,44	99,50
4	21,20	18,00	16,69	15,98	15,52	15,21	14,80	14,37	14,15	13,46
6	13,74	10,92	9,78	9,15	8,75	8,47	8,10	7,72	7,52	6,88
8	11,26	8,65	7,59	7,01	6,63	6,37	6,03	5,67	5,48	4,86
10	10,04	7,56	6,55	5,99	5,64	5,39	5,06	4,71	4,52	3,91
12	9,33	6,93	5,95	5,41	5,06	4,82	4,50	4,16	3,98	3,36
14	8,86	6,51	5,56	5,03	4,69	4,46	4,14	3,80	3,62	3,00
16	8,53	6,23	5,29	4,77	4,44	4,20	3,89	3,55	3,37	2,75
18	8,28	6,01	5,09	4,58	4,25	4,01	3,71	3,37	3,20	2,57
20	8,10	5,85	4,94	4,43	4,10	3,87	3,56	3,23	3,05	2,42
30	7,56	5,39	4,51	4,02	3,70	3,47	3,17	2,84	2,66	2,01
∞	6,64	4,60	3,78	3,32	3,02	2,80	2,51	2,18	1,99	1,00

Примечание: k_1 — число степеней свободы большей дисперсии; k_2 — число степеней свободы меньшей дисперсии.

Приложение 3

Допускаемые погрешности измерения линейных размеров (ГОСТ 8.051—81)

Номинальные размеры, мм	Допуски размеров IT и допускаемые погрешности измерения δ , мкм, для квалитетов													
	6		7		8		9		10		11		12	
	IT	δ	IT	δ	IT	δ	IT	δ	IT	δ	IT	δ	IT	δ
До 3	6	1,8	10	3,0	14	3,0	25	6	40	8	60	12	100	20
Свыше 3 до 6	8	2,0	12	3,0	18	4,0	30	8	48	10	75	16	120	30
Свыше 6 до 10	9	2,0	15	4,0	22	5,0	36	9	58	12	90	18	150	30
Свыше 10 до 18	11	3,0	18	5,0	27	7,0	43	10	70	14	110	30	180	40
Свыше 18 до 30	13	4,0	21	6,0	33	8,0	52	12	84	18	130	30	210	50
Свыше 30 до 50	16	5,0	25	7,0	39	10,0	62	16	100	20	160	40	250	50
Свыше 50 до 80	19	5,0	30	9,0	46	12,0	74	18	120	30	190	40	300	60
Свыше 80 до 120	22	6,0	35	10,0	54	12,0	87	20	140	30	220	50	350	70
Свыше 120 до 180	25	7,0	40	12,0	65	16,0	100	30	160	40	250	50	400	80
Свыше 180 до 250	29	8,0	46	12,0	72	18,0	115	30	185	40	290	60	460	100
Свыше 250 до 315	32	10,0	52	14,0	81	20,0	130	30	210	50	320	70	520	120
Свыше 315 до 400	36	10,0	57	16,0	89	24,0	140	40	230	50	360	80	570	120
Свыше 400 до 500	40	12,0	63	18,0	97	26,0	155	40	250	50	400	80	630	140

Приложение 4

Допускаемые погрешности измерения линейных размеров с неуказанными допусками (ГОСТ 8.549–86)

Номинальные размеры, мм	Допускаемые погрешности измерения размеров, мкм, с допусками, назначенными по			
	квалитету 12 или классу точности «точный»	квалитетам 13, 14 или классу точности «средний»	квалитетам 15, 16 или классу точности «грубый»	квалитету 17 или классу точности «очень грубый»
Свыше 1 до 3	50	100	150	150
Свыше 3 до 6	50	100	200	500
Свыше 6 до 30	100	200	300	500
Свыше 30 до 120	150	250	400	800
Свыше 120 до 315	200	300	600	1 000
Свыше 315 до 500	300	500	1 000	1 500

Примечание. Устанавливаемые ГОСТ 8.549–86 погрешности являются наибольшими погрешностями измерения, включающими в себя все составляющие. Допускаемые погрешности содержат случайные неучтенные систематические погрешности измерения. Случайные погрешности принимаются равными 2σ , где σ – среднее квадратическое отклонение погрешности измерения.

Приложение 5

Допускаемые погрешности измерения отклонений формы и расположения поверхностей, мкм (ГОСТ 28187–89)

Допуск формы или расположения поверхности измеряемой	Допускаемая погрешность измерений	Допуск формы или расположения поверхности детали	Допускаемая погрешность измерений	Допуск формы или расположения поверхности детали	Допускаемая погрешность измерений
0,1	0,04	6	2	400	80
0,12	0,04	8	3	500	100
0,16	0,06	10	3,5	600	120
0,2	0,07	12	4	800	160
0,25	0,09	16	6	1000	200
0,3	0,1	20	7	1200	240
0,4	0,14	25	9	1600	320
0,5	0,18	30	9	2000	400
0,6	0,2	40	12	2500	500
0,8	0,3	50	15	3000	600
1	0,35	60	18	4000	800
1,2	0,4	80	20	5000	1000
1,6	0,6	100	25	6000	1200
2	0,7	120	30	8000	1600
2,5	0,9	160	40	10 000	2000
3	1	200	50	12 000	2400
4	1,4	250	50	16 000	3200
5	1,8	300	60	–	–

Примечание. Для допусков соосности, симметричности, пересечения осей, позиционных допусков, допусков формы заданного профиля или заданной поверхности числовые значения, указанные в таблице, относятся к допускам в радиусном выражении. Если числовые значения этих допусков заданы в диаметральном выражении, то их следует разделить пополам, после чего определить допускаемую погрешность измерений.

Приложение 6

Предельные погрешности измерения наружных линейных размеров штангенинструментами [4]

Средства измерения	Предельные погрешности измерения, мкм, для диапазона размеров, мм						
	до 10	свыше 10 до 50	свыше 50 до 80	свыше 80 до 120	свыше 120 до 180	свыше 180 до 250	свыше 250 до 500
Штангенциркули (ШЦ-I, ШЦ-II, ШЦ-III) с отсчетом по нониусу 0,1 мм	150	150	200	200	200	200	250
Штангенциркули (ШЦ-II, ШЦ-III) с отсчетом по нониусу 0,05 мм	100	100	100	100	100	100	—

Приложение 7

Предельные погрешности измерения наружных линейных размеров микрометрическими инструментами [4]

Средства измерения	Вариант исполнения	Условия применения			Предельные погрешности измерения, мкм, для диапазона размеров, мм											
		вид кон- такта	класс приме- нения	температурный режим, °С, для диапазона размеров, мм	для диапазона размеров, мм											
					свыше 0 до 50	свыше 50 до 200	свыше 200 до 500	свыше 25 до 50	свыше 50 до 75	свыше 75 до 100	свыше 100 до 125	свыше 125 до 150	свыше 150 до 175	свыше 175 до 200	свыше 200 до 250	свыше 250 до 300
Микрометры гладкие (МК) с величиной отсчета 0,01 мм при настройке на ноль по установочной мере	а* б**	Любой	—	5 5	5 2	5 1	5 5	10 5	10 5	15 5	15 10	15 10	20 10	20 10	25 10	30 10
Микрометры рычажные (МР и МРИ) с ценой деления 0,002 мм и 0,01 мм при установке на ноль по установочной мере и скобы рычажные с ценой деления 0,002 мм при настройке на ноль по концам мерам длины при использовании на всем пределе измерения	а* б* а**	Любой Любой Плос- кост- ный и ли- нейный	3 3 2	5 5 5	5 2 2	5 1 1	5 4 2	9 4,5 3	9 5 3	12 5 3	14 6 3,5	16 7 4	18 7 4,5	21 7 5	26 7 4	30 7 5
Микрометры с ценой деления 0,002 мм при настройке на ноль по концам мерам длины при использовании на всем пределе измерения	б**	Плос- кост- ный и ли- нейный	1	1	0,5	0,5	0,6	0,8	0,8	1,0	1,2	1,3	1,4	1,7	1,8	2,3

* При работе приборы находятся в руках.

** При работе приборы находятся в стойке или обеспечивается надежная теплоизоляция от рук оператора.

Предельные погрешности измерения внутренних линейных размеров универсальными измерительными средствами [4]

Средства измерения	Вариант использования	Условия измерения				Предельные погрешности измерения, мкм, для диапазона размеров, мкм						
		используемое перемещение измерительного стержня, мм	средства установки	шероховатость поверхности отверстий R_a , мкм	температурный режим, °С, для диапазона размеров, мм	свыше		свыше				
						3 до 120	120 до 500	до 18	до 120 до 250			
Штангенциркули (ШЦ-I, ШЦ-II, ШЦ-III) с отсчетом по нониусу 0,1 мм	—	—	—	5	7	200	200	25	110	300		
Штангенциркули (ШЦ-II, ШЦ-III) с отсчетом по нониусу 0,05 мм	—	—	—	5	7	150	150	150	200	200		
Нутромеры микрометрические с величиной отсчета 0,01 мм	а		Микропара используется по установочной мере	5	5	3	—	—	—	15	20	
	б	13	Отступается размер собранного нутромера	5	5	3	—	—	—	10	15	
Нутромеры индикаторные с ценой деления отсчетного устройства 0,01 мм	а	Весь диапазон	Концевые меры длины 3-го класса с боковыми или микрометры	5	5	3	—	—	—	15	20	25
	б	0,1	Виками или микрометры	1,25	—	—	—	—	—	10	10	15

Окончание

Средства измерения	Вариант использования	Условия измерения				Предельные погрешности измерения, мкм, для диапазона размеров, мкм							
		используемое перемещение измерительного стержня, мм	средства установки	шероховатость поверхности отверстий R_a , мкм	температурный режим, °С, для диапазона размеров, мм	свыше		свыше					
						3 до 120	120 до 500	до 18	до 120 до 250				
Нутромеры индикаторные с ценой деления отсчетного устройства 0,01 мм	в	0,03	Концевые меры длины 1-го класса с боковыми или установочные кольца (до 160 мм)	0,32	3	2	5	5	10	10			
	а	0,1	Концевые меры длины 1-го класса или установочные кольца (до 160 мм)	1,26	—	—	—	—	—	4,5	5,5	6,5	7,5
Нутромеры индикаторные при замене отсчетного устройства измерительной головкой с ценой деления 0,001 или 0,002 мм	б	0,03	новочные кольца (до 160 мм)	0,32	3	2	—	—	—	2,8	3,5	4,5	6,5
	а	0,1	Концевые меры длины 1-го класса с боковыми или установочные кольца (до 160 мм)	1,25	—	—	—	—	—	3,5	5	6	7
Нутромеры с ценой деления отсчетного устройства 0,001 и 0,002 мм	б	0,01	Концевые меры длины 1 класса с боковиками	0,32	—	—	—	—	—	2	3,5	4,5	5,5
	в	0,01	Установочные кольца (до 160 мм)	0,32	—	—	—	—	—	1,5	2,5	3,5	4,5

Приложение 9

Предельные погрешности измерения линейных размеров

и биений механическими средствами измерений [4]

Средства измерения	Условия			измерения			Предельные погрешности измерения, мкм, для диапазона размеров, мм									
	установочные узлы по ГОСТ 10197-70	используемое перемещение измерительного стержня, мм	класс применяемых концевых мер	температурный режим, °С, для диапазона измеряемых размеров, мм			до 3	свыше 3 до 6	свыше 6 до 10	свыше 10 до 18	свыше 18 до 30	свыше 30 до 50	свыше 50 до 80	свыше 80 до 120	свыше 120 до 180	свыше 180 до 250
				свыше 1	свыше 30	свыше 120										
				до 30	до 120	до 500										
Индикаторы часового типа (ИЧ и ИТ) с ценой деления 0,01 мм и пределом измерения от 2 до 10 мм, класс точности 1	До 250 мм – штативы и стойки с диаметром колонки не менее 30 мм и наибольшим вылетом головки	10 5 2 1 0,1	5 5 4 3 3	5 5 5 2 2 1	5 5 2 1 1	15 12 10 8 5	15 13 10 8 5	15 13 10 8 5	15 13 10 8 5	16 14 10 8 5	16 14 10 8 5	18 15 12 8 6	20 18 12 8 6	22 20 12 8 6	25 25 14 9 7	
То же, класс точности 0	до 200 мм (С-IV; Ш-11Н; ШМ-11Н). Свыше 250 мм – штативы с диаметром колонки не менее 50 мм и наибольшим вылетом головки до 500 мм (Ш-11В; ШМ-11В)	10 5 2 1 0,1	4 4 3 3 3	5 5 2 1 1 2	2 2 1 1 1	12 10 8 6 4	12 10 8 6 4	12 10 8 6 4	12 10 9 7 4	12 10 9 7 4	12 10 9 7 4	13 12 10 7 5	14 12 10 7 5	14 12 10 7 6	15 14 10 8 7	
Индикаторы часового типа (ИЧ и ИТ) с ценой деления 0,01 мм и пределом измерения от 2 до 10 мм, класс точности 1, при измерении биений	Штативы*	10 5 2 1 0,1	– – – – –	– – – – –	– – – – –	– – – – –	– – – – –	– – – – –	– – – – –	– – – – –	– – – – –	– – – – –	– – – – –	– – – – –	– – – – –	– – – – –
То же, класс точности 0	Стойки**	10 5 2 1 0,1	– – – – –	– – – – –	– – – – –	– – – – –	– – – – –	– – – – –	– – – – –	– – – – –	– – – – –	– – – – –	– – – – –	– – – – –	– – – – –	– – – – –
Головки рычажно-зубчатые (ЗИГ) с ценой деления 0,002 мм и пределом измерения ± 0,1 мм; с настройкой по концевым мерам длины на любое деление	Штативы*	± 0,10	3	5	2	1	3	3	3	3,5	3,5	3,5	4	4,5	5	6
То же, с настройкой на нулевое деление	Стойки**	± 0,06	–	2	1	0,5	1,4	1,4	1,4	1,5	1,5	1,6	1,8	2,2	2,2	–
Головки рычажно-зубчатые (ЗИГ) с ценой деления 0,002 мм и пределом измерения ± 0,1 мм; при измерении биений	Штативы*	0,04	–	–	–	–	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,8	1,8	1,8

Средства измерения	Условия			измерения			Предельные погрешности измерения, мкм, для диапазона размеров, мм									
	установочные узлы по ГОСТ 10197-70	используемое перемещение измерительного стержня, мм	класс применяемых концевых мер	температурный режим, °С, для диапазона измеряемых размеров, мм			до 3	свыше 3 до 6	свыше 6 до 10	свыше 10 до 18	свыше 18 до 30	свыше 30 до 50	свыше 50 до 80	свыше 80 до 120	свыше 120 до 180	свыше 180 до 250
				свыше 1	свыше 30	свыше 120										
				до 30	до 120	до 500										
Головки рычажно-зубчатые (1ИГ) с ценой деления 0,001 мм и пределом измерения ± 0,05 мм; с настройкой по концевым мерам длины на любое деление	Штативы*	±0,050	—	2	1	0,5	2	2	2	2	2	2	2	2,5	2,5	2,8
То же, с настройкой на нулевое деление	Стойки**	±0,030	—	2	0,5	0,2	0,6	0,6	0,6	0,8	0,8	0,8	0,8	1,0	1,0	—
Головки рычажно-зубчатые (1ИГ) с ценой деления 0,001 мм и пределом измерения ± 0,05 мм; при измерении биений	Штативы*	0,020	—	—	—	—	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	1,1	1,1	1,1
Индикаторы многооборотные (2МИГ) с ценой деления 0,002 мм и пределом измерения 2 мм	Штативы*	2	4	5	5	2	5	5	5	6	6	7	8	10	10	10
	Штативы*	1	3	5	2	2	5	5	5	5	5	5	5	6	7	8
	Стойки**	0,4	2	5	1	0,5	3	3	3	4	4	4	4	4	4	—
То же, при измерении биений	Штативы*	2	—	—	—	—	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
	Штативы*	1	—	—	—	—	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	Стойки**	0,05	—	—	—	—	2	2	2	2	2	2	2	2	2	—
Индикаторы многооборотные (1МИГ) с ценой деления 0,001 мм и пределом измерения 1 мм	Штативы*	1	2	5	1	0,5	3	3	3	3	3	3	3	3,5	3,5	4
	Стойки**	0,2	2	5	1	0,5	2	2	2,2	2,5	2,5	2,5	2,5	3	3	—
То же, при измерении биений	Штативы*	1	—	—	—	—	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	Стойки**	0,05	—	—	—	—	2	2	2	2	2	2	2	2	2	—

* Штативы с диаметром колонки не менее 30 мм и наибольшим вылетом головки до 200 мм (Ш-11Н и ШМ-11Н).

** Стойки с пределами измерения 0...160 мм и 0...100 мм и диаметром колонки не менее 50 мм и не менее 30 мм соответственно (С-II и С-III).

Приложение 10

Темы практических занятий

1. Определение размерности единиц физических величин.
2. Составление локальной поверочной схемы для средства измерений.
3. Определение погрешности измерения линейных размеров деталей универсальными средствами измерений.
4. Обработка результатов многократных прямых равноточных и неравноточных измерений.
5. Обработка результатов косвенных измерений.
6. Выбор универсальных средств измерений линейных размеров.
7. Расчет исполнительных размеров калибров.
8. Расчет настроечных размеров регулируемых скоб для контроля валов.
9. Метрологическая экспертиза рабочего чертежа детали.

Приложение 11

Состав и содержание расчетно-графических работ

Работа	Содержание графической части	Содержание пояснительной записки
1. Метрологическая экспертиза рабочего чертежа детали	Рабочий чертеж детали до экспертизы (выдает преподаватель). Рабочий чертеж детали после экспертизы	Обоснование принятых решений. Список замечаний и предложений
2. Выбор универсальных средств измерений для измерения параметра точности детали (по работе 1)	Схемы полей допусков: назначенного конструктором и производственного	Обоснование выбора средства измерений. Метрологическая характеристика средства измерений. Результаты разбраковки деталей по рассматриваемому параметру точности при $T = T_{пр}$
3. Составление локальной поверочной схемы универсального средства измерений, выбранного в работе 2	Локальная поверочная схема	Обоснование принятой поверочной схемы

Тестовые задания

Общие сведения о метрологии и метрологическом обеспечении

1. Метрологическое обеспечение — это установление и применение научных и организационных основ, технических средств, правил и норм, необходимых:
 - а) для установления определенных погрешностей измерения;
 - б) достижения единства и требуемой точности измерения;
 - в) нахождения значения ФВ опытным путем;
 - г) извлечения количественной информации о свойствах объектов.
2. Нахождение значения ФВ опытным путем с помощью специальных технических средств — это:
 - а) поверка;
 - б) контроль;
 - в) измерение;
 - г) экспертиза.
3. Наука об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства и способах достижения требуемой точности называется:
 - а) технологией;
 - б) метрологией;
 - в) квалиметрией;
 - г) изометрией.
4. Единство измерений определяется как состояние измерений, при котором их результаты выражены в узаконенных единицах:
 - а) и погрешности измерений известны с заданной вероятностью;
 - б) погрешности измерений неизвестны с заданной вероятностью;
 - в) погрешности измерений отсутствуют при измерении;
 - г) погрешности измерений настолько малы, что ими можно пренебречь.
5. Общие вопросы теории измерений рассматривает:
 - а) теоретическая метрология;
 - б) прикладная метрология;
 - в) законодательная метрология;
 - г) метрологическая экспертиза.
6. Изучением вопросов практического применения теории измерений в различных сферах деятельности занимается:
 - а) теоретическая метрология;
 - б) прикладная метрология;
 - в) законодательная метрология;
 - г) метрологическая экспертиза.
7. Рассмотрением комплекса взаимосвязанных и взаимообусловленных общих правил, требований и норм в области метрологии, нуждающихся в регламентации и контроле со стороны государства, занимается:
 - а) теоретическая метрология;
 - б) прикладная метрология;
 - в) законодательная метрология;
 - г) метрологическая экспертиза.
8. Первыми единицами длины являются:
 - а) дюйм, фут, метр;
 - б) фут, аршин, метр;
 - в) пядь, дюйм, метр;
 - г) дюйм, фут, пядь.
9. Законодательно метрическая система мер в России введена:
 - а) в 1800 г.;
 - б) 1918 г.;
 - в) 1945 г.;
 - г) 1960 г.
10. Международная система единиц ФВ — система СИ, принята XI Международной конференцией по мерам и весам:
 - а) в 1810 г.;
 - б) 1910 г.;
 - в) 1960 г.;
 - г) 2000 г.
11. Федеральным органом исполнительной власти, ответственным за проведение работ в сфере обеспечения единства измерения, является:
 - а) Государственный комитет Российской Федерации по стандартизации и метрологии;

- б) Комитет стандартов, мер и измерительных приборов при Правительстве РФ;
 - в) Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии;
 - г) Федеральное агентство по стандартизации и метрологии.
12. Региональным органом исполнительной власти, ответственным за проведение работ в сфере обеспечения единства измерения, является:
- а) Центр стандартизации и метрологии;
 - б) Центр регистра систем качества;
 - в) Региональная метрологическая служба;
 - г) Региональный центр технического регулирования.
13. Одной из задач регионального центра стандартизации и метрологии является:
- а) изготовление средств измерения;
 - б) создание государственных эталонов;
 - в) поверка средств измерения;
 - г) аттестация государственных эталонов.
14. Крупнейшей и старейшей международной метрологической организацией является созданное в 1875 г.:
- а) Международное бюро мер и весов;
 - б) Международная организация метрологии;
 - в) Генеральная конференция по метрологии;
 - г) Генеральная конференция по метрологии и стандартизации.
15. Виды и сферы распространения государственного контроля и надзора за состоянием и применением средств измерений определены законом:
- а) о техническом регулировании;
 - б) об обеспечении единства измерений;
 - в) о защите прав потребителей;
 - г) о сертификации продукции и услуг.
16. Точность измерений — качество измерений, отражающее:
- а) близость их результатов к истинному значению измеряемой величины;
 - б) близость их результатов к действительному значению измеряемой величины;
 - в) постоянство результатов измерений во времени;
 - г) постоянство погрешности измерений во времени.

17. Государственная система обеспечения единства измерений состоит:
- а) из двух подсистем: правовой и организационной;
 - б) трех подсистем: правовой, организационной и технической;
 - в) четырех подсистем: правовой, законодательной, организационной и технической;
 - г) пяти подсистем — правовой, организационной, технической, международной и национальной.
18. Центры стандартизации и метрологии не выполняют:
- а) поверку средств измерений при выпуске их из производства и ремонта, при вводе по импорту и эксплуатации;
 - б) контроль за соответствием выпускаемых и применяемых средств измерений утвержденным типам;
 - в) аттестацию поверителей, работающих в аккредитованных на право поверки метрологических службах юридических лиц;
 - г) государственный метрологический надзор за выпуском, состоянием и применением средств измерений, аттестованными методами выполнения измерений, эталонами единиц ФВ.
19. Органы ГМС при проведении инспекционных проверок не вправе:
- а) гасить поверительные клейма;
 - б) аннулировать свидетельства о поверке;
 - в) аннулировать лицензии на право изготовления, ремонта, продажи и проката средств измерений;
 - г) составлять протокол о поверке.
20. Государственный метрологический контроль включает в себя:
- а) утверждение типа средств измерений;
 - б) поверку средств измерений;
 - в) лицензирование деятельности юридических и физических лиц по изготовлению, ремонту, продаже и прокату средств измерений;
 - г) сертификацию средств измерений.

Единицы и системы единиц физических величин

21. Свойство, общее в качественном отношении для многих физических объектов, но в количественном отношении индивидуальное для каждого объекта, называют:
- а) технической величиной;
 - б) метрологической величиной;
 - в) квалиметрической величиной;
 - г) физической величиной.

22. Количественной характеристикой любого свойства служит:
- размер;
 - значение;
 - эталон;
 - мера.
23. Упорядоченная совокупность значений ФВ, служащая исходной основой для измерения данной величины, называется:
- свойством величины;
 - размером величины;
 - шкалой величины;
 - единицей величины.
24. Основными единицами системы СИ являются:
- сантиметр, грамм, минута и др;
 - километр, тонна, час и др;
 - метр, килограмм, секунда и др;
 - миллиметр, миллиграмм, секунда и др.
25. Система СИ состоит:
- из 50 основных и около 50 производных единиц;
 - 7 основных и около 100 производных;
 - 100 основных и 7 производных;
 - 7 основных и 7 производных.
26. Внесистемной единицей плоского угла, допускаемой к применению наравне с единицами системы СИ, является:
- градус;
 - стерадиан;
 - парсек;
 - радиан.
27. Физическая величина, входящая в систему и условно принятая в качестве независимой от других единиц этой системы, называется:
- внесистемной;
 - основной;
 - производной;
 - дополнительной.
28. Дополнительной единицей плоского угла в системе СИ является:
- градус;
 - стерадиан;
 - парсек;
 - радиан.
29. Сила в 1 кгс (система МКГСС) больше силы 1 Н:
- в 0,981 раз;
 - 9,81 раз;
 - 98,1 раз;
 - 981 раз.
30. Внесистемная единица давления — техническая атмосфера (1 ат) равна:
- $9,81 \cdot 10^4$ Па;
 - $9,81 \cdot 10^3$ Дж;
 - 9,81 Н;
 - 0,981 Вт.
31. Сила определяется по уравнению $F = ma$, где m — масса тела, a — ускорение, сообщаемое этому телу силой F . Размерность силы:
- $L^{-1}MT^{-2}$;
 - LMT^{-2} ;
 - MT^2 ;
 - L^3MT^{-2} .
32. Момент инерции J тела относительно некоторой оси инерции определяется по уравнению $J = mr^2$, где m — масса материальной точки, r — расстояние ее до оси инерции. Размерность момента инерции:
- LM^2 ;
 - L^2MT ;
 - L^2M ;
 - MT^{-3} .

Воспроизведение единиц физических величин и передача их размеров

33. Совокупность операций по материализации единицы ФВ с наивысшей в стране точностью посредством государственного эталона называется:
- поверкой средства измерения;
 - поверкой первичного эталона;
 - воспроизведением единицы физической величины;
 - воспроизведением средства измерения.
34. Средство измерений, предназначенное для воспроизведения и (или) хранения единицы и передачи ее размера нижестоящим по поверочной схеме средства измерений и утвержденное в установленном порядке, называется:
- калибром;

- б) щупом;
 - в) образцом;
 - г) эталоном.
- 35.** Эталонная база страны — это совокупность ... эталонов, являющихся основой обеспечения единства измерений в стране:
- а) государственных первичных и вторичных;
 - б) государственных первичных и рабочих;
 - в) национальных и универсальных;
 - г) специальных и локальных.
- 36.** Эталон, обладающий наивысшими метрологическими свойствами (в данной лаборатории или организации), от которого передают размер единицы подчиненным эталонам и имеющимся средствам измерений, является:
- а) первичным;
 - б) вторичным;
 - в) государственным;
 - г) исходным.
- 37.** Эталон, предназначенный для передачи размера единицы рабочим средством измерений, называется:
- а) первичным;
 - б) вторичным;
 - в) рабочим;
 - г) национальным.
- 38.** Поверка средств измерений — определение метрологическим органом ... и установление пригодности к применению:
- а) чувствительности средств измерений;
 - б) нормальных условий использования средств измерений;
 - в) погрешности средств измерений;
 - г) истинного значения ФВ.
- 39.** Систему передачи единицы ФВ от государственного эталона рабочим средством измерений устанавливает:
- а) измерительная схема;
 - б) схема контроля;
 - в) поверочная схема;
 - г) схема метрологической экспертизы.
- 40.** Одним из методов поверки измерительных приборов является метод:
- а) непосредственной оценки;
 - б) размахов;
 - в) сличения показателей поверяемого и образцового прибора;
 - г) измерения калибром.
- 41.** Установленная совокупность операций и правил, выполнение которых обеспечивает получение результатов измерений с гарантированной точностью, представляет собой:
- а) методику выполнения измерений;
 - б) калибровку средств измерений;
 - в) поверку средств измерений;
 - г) метрологическую экспертизу.
- 42.** Первичная поверка проводится:
- а) через установленный интервал времени;
 - б) в случае ввода в эксплуатацию средств измерений после длительного хранения;
 - в) при возникновении спорных вопросов по исправности средств измерений;
 - г) при выпуске средств измерений из производства или после ремонта.
- 43.** Внеочередная поверка производится:
- а) через установленный интервал времени;
 - б) в случае ввода в эксплуатацию средств измерений после длительного хранения;
 - в) при возникновении спорных вопросов по исправности средств измерений;
 - г) при выпуске средств измерений из производства или после ремонта.
- 44.** Экспертная поверка производится:
- а) через установленный интервал времени;
 - б) в случае ввода в эксплуатацию средств измерений после длительного хранения;
 - в) при возникновении спорных вопросов по исправности средств измерений;
 - г) при выпуске средств измерений из производства или после ремонта.
- 45.** Совокупность операций, выполняемых с целью определения действительных метрологических характеристик средств измерений, называется:
- а) поверкой;
 - б) калибровкой;
 - в) аттестацией;
 - г) сертификацией.

46. Результаты калибровки удостоверяются:
- а) знаком, наносимым на средства измерений;
 - б) свидетельством о калибровке;
 - в) записью в эксплуатационном документе;
 - г) протоколом разногласий.

Измерение физических величин

47. Измерение ФВ — это совокупность операций по применению:
- а) соответствующих закономерностей;
 - б) технических средств, хранящих единицу ФВ;
 - в) известных зависимостей;
 - г) заданных параметров.
48. Погрешность средств измерений — это разность между:
- а) показанием средств измерений и истинным значением измеряемой величины;
 - б) показанием средств измерений и предельным значением измеряемой величины;
 - в) предельным значением измеряемой величины и ее действительным значением;
 - г) средним значением измеряемой величины и ее действительным значением.
49. Истинное значение ФВ — это значение, которое характеризует соответствующую ФВ:
- а) реальным образом в количественном отношении;
 - б) идеальным образом в количественном и качественном отношении;
 - в) реальным образом в количественном и качественном отношении;
 - г) идеальным образом в качественном отношении.
50. Действительное значение — это значение ФВ, полученное:
- а) экспериментальным путем;
 - б) расчетом;
 - в) путем округления номинального значения;
 - г) путем контроля калибрами.
51. Прямое измерение — это измерение, при котором искомое значение ФВ получают:
- а) на основании измерения других величин;
 - б) расчетом допускаемого значения;

- в) непосредственно;
- г) одновременным измерением двух или нескольких величин.

52. Косвенное измерение — это измерение, при котором искомое значение ФВ определяется на основании:
- а) результатов прямых измерений других ФВ, функционально связанных с искомой величиной;
 - б) результатов прямых измерений других ФВ, независимых от искомой величины;
 - в) многократных измерений этой величины;
 - г) однократных измерений этой величины.
53. Абсолютное измерение — это измерение, основанное на прямых измерениях одной или нескольких основных величин и использовании:
- а) известных закономерностей;
 - б) тригонометрических функций;
 - в) суммирования ФВ;
 - г) значений физических констант.
54. Относительное измерение — это измерение величины по отношению к ..., принимаемой за исходную:
- а) допускаемой;
 - б) действительной;
 - в) одноименной;
 - г) истинной.
55. Абсолютную погрешность измерения выражают:
- а) в единицах измерения;
 - б) единицах измеряемой величины;
 - в) единицах СИ;
 - г) единицах точности.
56. Относительную погрешность измерения выражают:
- а) в единицах измеряемой величины;
 - б) единицах точности;
 - в) процентах;
 - г) целых числах.
57. Систематической погрешностью измерения называется составляющая погрешности результата измерения:
- а) колеблющаяся при повторных измерениях одной и той же ФВ;
 - б) изменяющаяся при повторных измерениях одной и той же ФВ;
 - в) остающаяся постоянной или закономерно изменяющаяся при повторных измерениях одной и той же ФВ;

- г) зависящая от числа повторных измерений одной и той же физической ФВ.
- 58.** Систематическую погрешность можно исключить из результата измерения:
- частично;
 - ее интегрированием;
 - повторив измерение;
 - изменив правило округления.
- 59.** Случайной погрешностью измерения называется составляющая погрешности результата измерения, ... при повторных измерениях одной и той же ФВ:
- остающаяся постоянной;
 - изменяющаяся закономерно;
 - изменяющаяся случайным образом;
 - сохраняющаяся.
- 60.** Погрешность блока концевых мер, используемого для настройки прибора, является:
- систематической погрешностью результата измерения;
 - случайной погрешностью результата измерения;
 - периодической погрешностью результата измерения;
 - относительной погрешностью результата измерения.
- 61.** Погрешность, вызванная отклонением при измерениях рабочей температуры окружающей среды от нормальной, является ... погрешностью результата измерения:
- случайной;
 - систематической;
 - периодической;
 - статистической.
- 62.** Погрешность, вызванная колебанием при измерениях температуры окружающей среды, является ... погрешностью результата измерения:
- случайной;
 - систематической;
 - периодической;
 - независимой.
- 63.** Грубая погрешность измерения — это погрешность измерения, существенно превышающая:
- предельную погрешность;
 - дополнительную погрешность;
 - основную погрешность;
 - ожидаемую при данных условиях погрешность.
- 64.** Инструментальная погрешность — это составляющая погрешности измерения, зависящая:
- от погрешности применяемых средств измерений;
 - правил округления результатов измерений;
 - условий эксплуатации средств измерений;
 - количества наблюдений при измерении.
- 65.** Закон распределения случайной погрешности измерений устанавливает связь между возможными значениями случайной погрешности:
- и соответствующими им вероятностями появления этих погрешностей;
 - действительным значением случайной величины;
 - результатом измерений;
 - систематической погрешностью.
- 66.** Математическое ожидание m_x случайной погрешности измерения является мерой:
- рассеивания;
 - распределения;
 - положения;
 - измерения.
- 67.** Дисперсия D_x случайной погрешности измерения является мерой:
- рассеивания;
 - распределения;
 - положения;
 - измерения.
- 68.** Методами исключения постоянных систематических погрешностей являются:
- метод замещения;
 - метод рандомизации;
 - графический метод;
 - метод последовательных разностей.
- 69.** Методами обнаружения переменных систематических погрешностей являются:
- метод замещения;
 - метод рандомизации;
 - графический метод;
 - метод последовательных разностей.

70. Если результат измерений окончательный и дальнейшая обработка измерений не предусмотрена, используют характеристику погрешности измерений в виде:
- а) предельной погрешности;
 - б) интервальных границ;
 - в) статистических оценок;
 - г) закона распределения.

Обработка результатов измерений

71. Промахи (грубые погрешности):
- а) вычитают из результата измерений;
 - б) исключают из результата измерений;
 - в) не допускают при измерениях;
 - г) округляют.
72. Причиной возникновения промаха (грубой погрешности) может быть:
- а) погрешность блока конечных мер;
 - б) погрешность, вызванная износом измерительного источника;
 - в) неправильная запись результата измерения;
 - г) погрешность округления.
73. В результате многократного измерения, записанном в виде $A \pm \Delta$, P , величина Δ — это:
- а) отклонение результата измерения;
 - б) доверительные отклонения результата измерения;
 - в) доверительные границы погрешности измерения;
 - г) оценка отклонения результата измерения.
74. При многократных неравноточных прямых измерениях в качестве результата принимают:
- а) среднее арифметическое значение величины;
 - б) среднее взвешенное значение величины;
 - в) значение величины, полученное расчетом на основании измерения других величин;
 - г) полусумму максимального и минимального значения величины.
75. При многократных прямых измерениях с ограниченным числом единичных измерений для расчета доверительных границ случайной погрешности используют:
- а) аргумент функции Лапласа;
 - б) значения коэффициента Стьюдента;
 - в) значения критерия Диксона;
 - г) значения критерия Шовине.

76. Наиболее удобным критерием для оценки промахов (грубых погрешностей), не требующим знания среднего квадратического отклонения, является:
- а) критерий «трех сигм»;
 - б) критерий Фишера;
 - в) критерий Шовине;
 - г) критерий Диксона.

77. Для проверки равноточности двух рядов измерений используют дисперсионный критерий:
- а) Романовского;
 - б) Фишера;
 - в) Шовине;
 - г) Диксона.

78. При однократных прямых измерениях в простейшем случае в качестве погрешности результата измерения принимают:
- а) методическую погрешность;
 - б) субъективную погрешность;
 - в) дополнительную погрешность средства измерения;
 - г) основную погрешность средства измерения.

Средства измерений

79. Средство измерения, предназначенное для воспроизведения ФВ заданного размера, называется:
- а) калибром;
 - б) щупом;
 - в) образцом;
 - г) мерой.
80. Техническое средство, используемое при измерениях и имеющее нормированные метрологические свойства, называется:
- а) средством измерения;
 - б) средством контроля;
 - в) средством поверки;
 - г) средством экспертизы.
81. Для воспроизведения длины в промышленности используют:
- а) призматические угловые меры;
 - б) плоскопараллельные концевые меры;
 - в) цилиндры из сплава платины и иридия;
 - г) синусные линейки.

82. Ценой деления шкалы средства измерений называют:
- а) разность значений измеряемой величины, соответствующих двум соседним отметкам шкалы;
 - б) расстояние между двумя соседними отметками шкалы;
 - в) расстояние между двумя крайними отметками шкалы;
 - г) разность расстояний между отметками шкалы.
83. Диапазоном показаний средства измерений называют:
- а) разность между начальным и конечным значениями шкалы;
 - б) разность между начальным и действительным значениями шкалы;
 - в) расстояние между крайними отметками шкалы;
 - г) расстояние между начальной и конечной отметками шкалы.
84. Диапазон измерений средства измерений — это область значений измеряемой величины, для которой нормированы:
- а) цена деления и чувствительность средства измерений;
 - б) пределы измерения средства измерений;
 - в) допускаемые пределы погрешности средства измерений;
 - г) условия измерений.
85. Чувствительность средства измерений — это отношение:
- а) изменения измеряемой величины к соответствующему изменению сигнала на выходе средства измерений;
 - б) изменения сигнала на выходе средства измерений к вызывающему его изменению измеряемой величины;
 - в) цены деления средства измерений к изменению измеряемой величины;
 - г) цены деления средства измерений к его диапазону показаний.
86. Нормальными условиями измерений называют:
- а) совокупность диапазонов влияющих величин, установленных в действующем производстве;
 - б) условия измерений, принятые в действующем производстве;
 - в) условия, установленные метрологической службой предприятия;
 - г) совокупность диапазонов влияющих величин, установленных ГОСТ.
87. Погрешность средства измерений, установленную при нормальных условиях измерений, называют:
- а) основной;
 - б) предельной;
 - в) влияющей;
 - г) дополнительной.
88. Погрешность средства измерений, возникающая вследствие отклонения значений влияющих величин от нормальных, называют:
- а) допускаемой;
 - б) предельной;
 - в) дополнительной;
 - г) влияющей.
89. Допускаемые погрешности измерений линейных размеров установлены в зависимости:
- а) от допуска размера;
 - б) вида средства измерений;
 - в) условий измерений;
 - г) отклонения условий измерений от нормальных.
90. Предпочтительно назначение приемочных границ:
- а) смещенными внутрь поля допуска размера;
 - б) смещенными за пределы поля допуска размера;
 - в) совпадающими с предельными размерами;
 - г) совпадающими с номинальными размерами.
91. Влияние погрешности измерения на результаты разбраковки деталей при приемочном контроле оценивают числом:
- а) годных деталей;
 - б) неправильно принятых и неправильно забракованных деталей;
 - в) контролируемых деталей;
 - г) деталей, принятых как годные.
92. Вероятная величина выхода размера за предельные у неправильно принятых деталей зависит:
- а) от погрешности измерения;
 - б) допускаемых размеров;
 - в) номинального размера;
 - г) цены деления средства измерения.
93. Введение производственного допуска означает ... допуска, назначенного конструктором:
- а) увеличение;
 - б) уменьшение;
 - в) смещение;
 - г) расширение.
94. При выборе универсального средства измерений линейного размера необходимо, чтобы его диапазон измерений был:
- а) больше допуска размера;
 - б) меньше допуска размера;

- в) больше измеряемого размера;
 - г) меньше измеряемого размера.
- 95.** При выборе универсального средства измерений линейного размера необходимо, чтобы его диапазон показаний был:
- а) больше допуска размера;
 - б) меньше допуска размера;
 - в) больше измеряемого размера;
 - г) меньше измеряемого размера.
- 96.** При выборе универсального средства измерений линейного размера необходимо, чтобы предельная погрешность измерения выбранным средством измерения была:
- а) больше допускаемой погрешности измерений;
 - б) меньше допускаемой погрешности измерений;
 - в) равна допуску размера;
 - г) меньше допуска размера.
- 97.** Отказ средства измерений, при котором происходит выход метрологических характеристик за установленные пределы, называется:
- а) функциональным;
 - б) конструкторским;
 - в) технологическим;
 - г) метрологическим.
- 98.** Надежность средства измерений включает свойства:
- а) безотказности;
 - б) долговечности;
 - в) ремонтпригодности;
 - г) сохраняемости.

Качество измерительного процесса

- 99.** Точность измерений характеризуют:
- а) правильность результатов измерений;
 - б) прецизионность результатов измерений;
 - в) достоверность измерений;
 - г) системность измерений.
- 100.** Прецизионность результатов измерений включает в себя:
- а) смещение результатов измерений;
 - б) сходимостью результатов измерений;
 - в) воспроизводимостью результатов измерений;
 - г) системность измерений.

- 101.** Состояние измерительного процесса, при котором удалены все особые (неслучайные) причины изменчивости, называется:
- а) достоверностью измерительного процесса;
 - б) стабильностью измерительного процесса;
 - в) безотказностью измерительного процесса;
 - г) долговечностью измерительного процесса.
- 102.** Разница между предполагаемым истинным (опорным) значением параметра и наблюдаемым средним арифметическим значением этого параметра одного и того же образца называется:
- а) сходимостью;
 - б) смещением;
 - в) стабильностью;
 - г) воспроизводимостью.
- 103.** Перед оценкой сходимости и воспроизводимости результатов измерений необходимо:
- а) модернизировать технологический процесс;
 - б) модернизировать средство измерений;
 - в) исследовать измерительный процесс на стабильность;
 - г) исследовать приемлемость измерительного процесса.
- 104.** Близость результатов измерений одной и той же величины, полученных в одних и тех же условиях, но разными операторами, называется:
- а) смещением результатов измерений;
 - б) сходимостью результатов измерений;
 - в) воспроизводимостью результатов измерений;
 - г) достоверностью измерений.

Метрологическая экспертиза технической документации

- 105.** Задачами метрологической экспертизы технической документации являются оценка:
- а) рациональности номенклатуры измерительных параметров;
 - б) оптимальности требований к точности измерений;
 - в) контролепригодности конструкции;
 - г) качества выпускаемой продукции.
- 106.** При проверке правильности взаимной увязки допусков формы, расположения поверхностей и допусков на линейные размеры детали необходимо руководствоваться следующими правилами:
- а) допуски расположения поверхностей не должны быть больше допусков на линейные размеры;

- б) допуски расположения поверхностей должны быть больше допусков на линейные размеры;
- в) допуски формы поверхностей не должны превышать допусков расположения;
- г) допуски формы поверхностей должны превышать допуски расположения.

107. Результаты метрологической экспертизы технической документации оформляют в форме:

- а) списка замечаний и предложений;
- б) устных замечаний и предложений;
- в) экспертного заключения;
- г) нового технического задания на документацию.

108. Анализ и оценивание экспертами-метрологами правильности применения требований, правил и норм называют:

- а) поверкой;
- б) калибровкой;
- в) аттестацией;
- г) метрологической экспертизой.

Ответы к тестовым заданиям

Номер теста	От-вет	Номер теста	От-вет	Номер теста	От-вет	Номер теста	От-вет	Номер теста	От-вет	Номер теста	От-вет
1	б	21	г	41	а	61	б	81	б	101	б
2	в	22	а	42	г	62	а	82	а	102	б
3	б	23	в	43	б	63	г	83	а	103	в
4	а	24	в	44	в	64	а	84	в	104	в
5	а	25	б	45	б	65	а	85	б	105	а–в
6	б	26	а	46	а–в	66	в	86	г	106	а, в
7	в	27	б	47	б	67	а	87	а	107	а–в
8	г	28	г	48	а	68	а, б	88	в	108	г
9	б	29	б	49	б	69	в, г	89	а		
10	в	30	а	50	а	70	б	90	в		
11	в	31	б	51	в	71	б	91	б		
12	а	32	в	52	а	72	в	92	а		
13	в	33	в	53	г	73	в	93	б		
14	а	34	г	54	в	74	б	94	в		
15	б	35	а	55	б	75	б	95	а		
16	а	36	г	56	в	76	г	96	б		
17	б	37	в	57	в	77	б	97	г		
18	г	38	в	58	а	78	г	98	а–г		
19	в	39	в	59	в	79	г	99	а,б		
20	а–в	40	в	60	а	80	а	100	б,в		

Глоссарий

Безотказность — свойство средства измерений непрерывно сохранять работоспособное состояние в течение некоторого времени.

Влияющая величина ФВ — не измеряемая данным средством измерений, но оказывающая влияние на размер измеряемой величины и (или) результат измерений.

Воспроизведение единицы физической величины — совокупность операций по материализации единицы ФВ с наивысшей в стране точностью с помощью государственного первичного эталона.

Воспроизводимость результатов измерений — близость результатов измерений одной и той же величины, полученных в различных местах, разными методами, разными средствами, разными операторами, в разное время, но приведенных к одним и тем же условиям измерений (температуре, давлению, влажности и др.).

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

Диапазон измерений средства измерений — область значений величины, в пределах которой нормированы допускаемые пределы погрешности средства измерений.

Диапазон показаний средства измерений — область значений шкалы прибора, ограниченная начальным и конечным делениями шкалы.

Долговечность — свойство средства измерений сохранять работоспособное состояние до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонта.

Достоверность измерений — степень доверия к результату измерений, характеризующаяся вероятностью того, что истинное значение измеряемой величины находится в указанных пределах интервала результата измерения.

Единство измерений — состояние измерений, характеризующееся тем, что их результаты выражаются в узаконенных единицах, размеры которых в установленных пределах равны размерам единиц, воспроизводимых первичными эталонами, а погрешности результатов измерений известны и с заданной вероятностью не выходят за установленные пределы.

Значение физической величины — выражение размера ФВ в виде некоторого числа принятых для нее единиц.

Измерение абсолютное — измерение, основанное на прямых измерениях одной или нескольких основных величин и (или) использовании значений физических констант.

Измерение косвенное — измерение, при котором искомое значение ФВ определяют на основании результатов прямых измерений других ФВ, функционально связанных с искомой величиной.

Измерение многократное — измерение ФВ одного и того же размера, результат которого получен из нескольких следующих друг за другом измерений, т.е. состоящее из ряда однократных измерений.

Измерение однократное — измерение, выполненное один раз. Например, измерение конкретного момента времени по часам.

Измерение относительное — измерение отношения величины к одноименной величине, играющей роль единицы, или измерение величины по отношению к одноименной величине, принимаемой за исходную.

Измерение прямое — измерение, при котором искомое значение ФВ находят непосредственно по показаниям средства измерений.

Измерение физической величины — совокупность операций по применению технического средства, хранящего единицу ФВ, обеспечивающих нахождение соотношения (в явном или неявном виде) измеряемой величины с ее единицей и получение значения этой величины.

Измерения динамические — измерения изменяющейся по размеру ФВ.

Измерения метрологические — измерения, выполняющиеся при помощи эталонов с целью воспроизведения единиц ФВ для передачи их размера рабочим средствам измерений.

Измерения неравноточные — ряд измерений какой-либо величины, выполненных различающимися по точности средствами измерений и в различных условиях.

Измерения равноточные — ряд измерений какой-либо величины, выполненных одинаковыми по точности средствами измерений в одних и тех же условиях с одинаковой тщательностью.

Измерения совместные — одновременные измерения двух или нескольких разнородных величин для установления зависимости между ними.

Измерения совокупные — измерения одновременно нескольких одноименных величин, при которых искомые значения величин находят решением системы уравнений, полученных при измерении этих величин в различных сочетаниях.

Измерения статические — измерения ФВ, принимаемой в соответствии с конкретной измерительной задачей за неизменную на протяжении времени измерений.

Измерения технические — измерения, выполняемые рабочими средствами измерений, как правило, в производственных условиях.

Измерительная система — совокупность функционально объединенных мер, измерительных приборов, измерительных преобразователей, ЭВМ и других технических средств, размещенных в разных точках контролиру-

емого объекта с целью измерений одной или нескольких ФВ, свойственных этому объекту, и выработки измерительных сигналов в разных целях.

Измерительная установка — совокупность функционально объединенных мер, измерительных приборов, измерительных преобразователей и других устройств, предназначенных для измерения одной или нескольких ФВ, расположенная в одном месте.

Измерительный преобразователь — техническое средство с нормативными метрологическими характеристиками, служащее для преобразования измеряемой величины в другую величину или измерительный сигнал, удобный для обработки, хранения, дальнейших преобразований, индикации или передачи.

Измерительный процесс — процесс, преобразующий значение измеряемого параметра в результат измерения посредством использования ресурсов (средств измерительной техники и другого оборудования, оператора, окружающей среды и т.д.), регулируемый методикой выполнения измерения.

Истинное значение физической величины — значение ФВ, которое идеальным образом характеризует в качественном и количественном отношении соответствующую ФВ.

Калибровка средств измерений — совокупность операций, устанавливающих соотношение между значением величины, полученным с помощью данного средства измерений и соответствующим значением величины, определенным с помощью эталона с целью определения действительных метрологических характеристик этого средства измерений.

Класс точности средства измерения — обобщенная характеристика данного типа средств измерений, как правило, отражающая уровень их точности, выражаемая пределами допускаемых основной и дополнительных погрешностей, а также другими характеристиками, влияющими на точность.

Контроль — процесс определения соответствия значения параметра изделия установленным требованиям или нормам.

Масштабный преобразователь (усилитель) — преобразователь (усилитель напряжения, измерительный микроскоп, электронный усилитель), при использовании которого в результате преобразования физическая природа величины не изменяется, а функция преобразования является линейной.

Меры многозначные — меры, которые могут воспроизводить ряд размеров ФВ, часто даже непрерывно заполняющих некоторый промежуток между определенными границами.

Меры однозначные — меры, воспроизводящие ФВ одного размера.

Меры физической величины — средства измерений, предназначенные для воспроизведения и (или) хранения ФВ одного или нескольких заданных размеров, значения которых выражены в установленных единицах и известны с необходимой точностью.

Метод дифференциальный — метод измерений, при котором измеряемую величину сравнивают с однородной величиной, имеющей известное

значение, незначительно отличающееся от значения измеряемой величины, и при котором измеряют разность между этими двумя величинами.

Метод замещения — метод измерений, заключающийся в том, что измеряемую величину замещают в измерительной установке некой известной величиной, воспроизводимой мерой.

Метод измерений — прием или совокупность приемов сравнения измеряемой ФВ с ее единицей в соответствии с реализованным принципом измерения.

Метод измерений бесконтактный — метод измерений, основанный на том, что чувствительный элемент прибора не приводится в контакт с объектом измерений.

Метод измерений контактный — метод измерений, основанный на том, что чувствительный элемент прибора приводится в контакт с объектом измерений. Например, измерение диаметра отверстия нутромером.

Метод нулевой (метод полного уравновешивания) — метод сравнения с мерой, в котором результирующий эффект воздействия меры на сравниваемое устройство сводят к нулю. В этом случае значение измеряемой величины принимается равным значению меры.

Метод совпадений — метод измерений, в котором разность между измеряемой величиной и величиной воспроизводимой мерой измеряют, используя совпадение отметок шкал или периодических сигналов.

Метод сравнения с мерой — метод измерений, при котором измеряемую величину сравнивают с величиной, воспроизводимой мерой (например, при использовании в качестве меры гири определенной массы).

Метрологическая надежность — способность средства измерений сохранять установленные метрологические характеристики в течение определенного времени при определенных режимах и условиях эксплуатации.

Метрологические характеристики нормируемые — метрологические характеристики, устанавливаемые нормативно-техническими документами.

Метрологическая характеристика средства измерений — характеристика одного из свойств средства измерений, влияющая на результат измерения и на его погрешность.

Метрологическая экспертиза — анализ и оценка технических решений по выбору параметров, подлежащих измерениям, установлению требований к точности измерений и обеспечению методами и средствами измерений процессов разработки, изготовления, испытания, эксплуатации и ремонта продукции.

Метрологические характеристики действительные — метрологические характеристики, определяемые экспериментально.

Метрологическое обеспечение — установление и применение научных и организационных основ, технических средств, правил и норм, необходимых для достижения единства и требуемой точности измерений.

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

Наборы и магазины мер — объединение отдельных мер в различных сочетаниях для воспроизведения некоторых промежуточных или суммарных, но обязательно дискретных размеров величин.

Область значений влияющей величины нормальная — область значений влияющей величины, в пределах которой изменением результата измерения под ее воздействием можно пренебречь в соответствии с установленными нормами точности.

Область значений влияющей величины рабочая — область значений влияющей величины, в пределах которой нормируют дополнительную погрешность или изменение показаний средств измерений.

Оторное значение (предполагаемое истинное значение) — среднее арифметическое значение, полученное при многократном измерении ($n > 20$) параметра образца (детали) в метрологической лаборатории с использованием средств измерений более высокой точности, чем средства измерений измерительного процесса.

Отказ внезапный — отказ, возникающий неожиданно и проявляющийся в скачкообразном изменении одной или нескольких метрологических характеристик средства измерений.

Отказ метрологический — отказ средства измерений, при котором сохраняется его функционирование, но происходит выход метрологических характеристик за установленные пределы.

Отказ неметрологический — отказ средства измерений, обусловленный причинами, не связанными с изменением метрологических характеристик.

Отказ постепенный — отказ, проявляющийся в постепенном изменении одной или нескольких метрологических характеристик средства измерений.

Передача размера единицы — приведение размера единицы ФВ, хранимой поверяемым средством измерений, к размеру единицы, воспроизводимой или хранимой эталоном, осуществляемое при их поверке (калибровке).

Поверка внеочередная — поверка средства измерений, проводимая до наступления срока его очередной периодической поверки.

Поверка инспекционная — поверка, проводимая органом государственной метрологической службы при проведении государственного надзора за состоянием и применением средств измерений.

Поверка первичная — поверка, выполняемая при выпуске средств измерений из производства или после ремонта, а также при ввозе их из-за границы партиями.

Поверка периодическая — поверка средств измерений, находящихся в эксплуатации или на хранении, выполняемая через установленные межповерочные интервалы времени.

Поверка средств измерений — установление органом государственной метрологической службы (или другим официально уполномоченным органом, организацией) пригодности средств измерений к применению на основании экспериментально определяемых метрологических характеристик и подтверждения их соответствия установленным обязательным требованиям.

Поверочная схема государственная — поверочная схема, распространяющаяся на все средства измерений данной ФВ, имеющиеся в стране.

Поверочная схема локальная — поверочная схема, распространяющаяся на средства измерений данной ФВ, применяемые в регионе, отрасли, ведомстве или на отдельном предприятии (в организации).

Поверочная схема средств измерений — нормативный документ, устанавливающий соподчинение средств измерений, участвующих в передаче размера единицы от эталона рабочим средствам измерений с указанием методов и погрешностей при передаче.

Погрешность абсолютная — погрешность измерения, выраженная в единицах измеряемой величины.

Погрешность измерения — отклонение результата измерения от истинного значения измеряемой величины.

Погрешность измерения грубая (промах) — погрешность результата отдельного измерения, входящего в ряд измерений, которая для данных условий резко отличается от остальных результатов этого ряда.

Погрешность измерения инструментальная — составляющая погрешности измерения, обусловленная погрешностью применяемого средства измерений.

Погрешность измерения систематическая — составляющая погрешности результата измерения, остающаяся постоянной или закономерно изменяющаяся при повторных измерениях одной и той же ФВ.

Погрешность измерения случайная — составляющая погрешности результата измерения, изменяющаяся случайным образом при повторных измерениях, проведенных с одинаковой тщательностью, одной и той же ФВ.

Погрешность измерения субъективная — часть погрешности измерения, зависящая от оператора.

Погрешность метода измерения (методическая погрешность измерения) — составляющая систематической погрешности измерения, обусловленная несовершенством принятого метода измерений.

Погрешность относительная — погрешность измерения, выраженная отношением абсолютной погрешности измерения к действительному или истинному значению измеряемой величины.

Погрешность приведенная — относительная погрешность, выраженная в процентах от некоторого нормирующего значения.

Погрешность результата измерения (погрешность измерения) — отклонение результата измерения от истинного (действительного) значения измеряемой величины.

Погрешность средства измерений — разность между показанием средства измерений и истинным (действительным) значением измеряемой ФВ.

Погрешность средства измерений дополнительная — составляющая погрешности средства измерений, возникающая дополнительно к основной погрешности вследствие отклонения какой-либо из влияющих величин от нормального ее значения или вследствие ее выхода за пределы нормальной области значений.

Погрешность средства измерений основная — составляющая погрешности средства измерений, возникающая при нормальных условиях измерений.

Поправка — значение величины, вводимое в неисправленный результат измерения с целью исключения составляющих систематической погрешности.

Предельное состояние средства измерений — состояние средства измерений, при котором его дальнейшее применение по назначению недопустимо или нецелесообразно.

Прецизионность результатов измерений — степень близости друг к другу независимых результатов измерений, полученных в конкретных регламентированных условиях.

Приборы аналоговые — измерительные приборы, отсчетные устройства которых состоят из двух элементов — шкалы и указателя, причем один из них связан с подвижной системой прибора, а другой — с корпусом.

Приемочные границы — значения размеров, по которым производится приемка изделий. Их устанавливают с учетом допускаемой погрешности измерения.

Работоспособное состояние средства измерений — такое состояние средства измерений, при котором все его метрологические характеристики соответствуют нормированным значениям.

Размер физической величины — количественная определенность ФВ, присущая конкретному материальному объекту, системе, явлению или процессу.

Размерность — формализованное отражение качественного различия ФВ.

Результат измерения исправленный — значение величины, полученное при измерении и уточненное путем введения в него необходимых поправок на действие систематических погрешностей.

Результат измерения неисправленный — значение величины, полученное при измерении до введения в него поправок.

Ремонтпригодность — свойство средства измерений, заключающееся в приспособленности средства измерений к предупреждению и обнаружению причин возникновения отказов и поддержанию и (или) восстановлению работоспособного состояния путем проведения технического обслуживания и ремонта.

Свойство — философская категория, выражающая такую сторону объекта (тела, процесса, явления), которая обуславливает его различие или общность с другими объектами (явлениями, процессами) и обнаруживается в его отношении к ним.

Система физических величин — совокупность ФВ, образованная в соответствии с принятыми принципами, когда одни величины принимают за независимые, а другие определяют как функции независимых величин.

Сохраняемость — свойство средств измерений сохранять значения показателей безотказности, долговечности и ремонтпригодности в течение и после хранения и транспортирования.

Средство измерений — техническое средство, предназначенное для измерений, имеющее нормированные метрологические характеристики, воспроизводящее и (или) хранящее единицу ФВ, размер которой принима-

ют неизменным (в пределах установленной погрешности) в течение известного интервала времени.

Среднее арифметическое значение измеряемой величины — точечная оценка математического ожидания результатов измерений.

Среднее взвешенное значение измеряемой величины — величины, принимаемые при неравноточных измерениях с весами результатов равноточных измерений в качестве результата.

Средняя квадратическая погрешность (отклонение) результата измерений среднего арифметического — характеристика рассеивания средних арифметических значений.

Средняя квадратическая погрешность результатов единичных измерений в ряде измерений (средняя квадратическая погрешность) — среднее квадратическое отклонение результатов измерений, характеризующих рассеивание результатов единичных измерений около их среднего значения.

Средство измерений рабочее — средство измерений, предназначенное для измерений, не связанных с передачей размера единицы другим средством измерений.

Стабильность измерительного процесса (статистически управляемое состояние) — состояние измерительного процесса, при котором удалены все особые (неслучайные) причины изменчивости, т.е. наблюдаемая изменчивость может быть объяснена системой обычных (случайных) причин.

Стандартные образцы состава и свойств веществ и материалов — специально оформленные тела или пробы вещества определенного и строго регламентированного содержания, одно из свойств которых при определенных условиях является величиной с известным значением.

Сходимость результатов измерений (сходимость измерений) — близость друг к другу результатов измерений одной и той же величины, выполненных повторно одними и теми же средствами, одним и тем же методом в одинаковых условиях и с одинаковой тщательностью.

Точность измерений — качество измерений, отражающее близость их результатов к истинному значению измеряемой величины.

Условия измерений — совокупность влияющих величин, описывающих состояние окружающей среды, объекта и средств измерений.

Условия измерений нормальные — условия, характеризующие совокупностью значений или областей значений влияющих величин, при которых изменением результата измерений пренебрегают вследствие его малости.

Условия измерений предельные — условия, характеризующиеся экстремальными значениями измеряемой и влияющих величин, которые средство измерений может выдержать без разрушений и ухудшения его метрологических характеристик.

Условия измерений рабочие — условия, при которых значения влияющих величин находятся в пределах рабочих областей.

Физическая величина — одно из свойств физического объекта (физическая система, явление или процесс), общее в качественном отношении для многих физических объектов, но индивидуальное для каждого из них в количественном отношении.

Физическая величина основная — ФВ, входящая в систему величин и условно принятая в качестве независимой от других величин этой системы.

Физическая величина производная — ФВ, входящая в систему величин и определяемая через основные величины этой системы.

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

Цена деления шкалы средства измерений — разность значений величины, соответствующих двум соседним отметкам шкалы средства измерений.

Числовое значение физической величины — составная часть значения, т.е. отвлеченное число, входящее в значение величины.

Чувствительность средств измерений — свойство средств измерений, определяемое отношением изменения выходного сигнала средства измерений к вызывающему его изменению измеряемой величины.

Шкала интервалов (разностей) — шкала, допускающая дополнительно к соотношениям эквивалентности и порядка суммирование интервалов (разностей) между различными количественными проявлениями свойства.

Шкала наименований — шкала, элементы (ступени) которой характеризуются только соотношениями эквивалентности (совпадения, равенства, сходства) конкретных качественных проявлений свойств.

Шкала порядка (ранга) — шкала, элементы которой допускают логическую взаимосвязь элементов не только в виде отношений эквивалентности (как у шкал наименований), но и отношений порядка по возрастанию или убыванию количественного проявления измеряемого свойства.

Шкала физической величины — упорядоченная совокупность значений ФВ, служащая исходной основой для измерений данной величины.

Шкалы абсолютные — шкалы, обладающие всеми признаками шкал отношений, но дополнительно имеющие естественное однозначное определение единицы измерения и не зависящие от принятой системы единиц измерения.

Шкалы отношений — шкалы, к множеству количественных проявлений которых применимы соотношения эквивалентности, порядка и аддитивности, а следовательно операции вычитания, умножения и суммирования.

Эталон государственный первичный — первичный эталон, признанный решением уполномоченного на то государственного органа в качестве исходного на территории государства.

Эталон групповой — 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.

Эталон единицы физической величины — 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.

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

Эталон-копия — вторичный эталон, предназначенный для передачи размеров единиц рабочим эталонам.

Эталон международный — эталон, применяемый при проведении так называемых «круговых сличений эталонов» ряда стран.

Эталон национальный — эталон, в состав которого включаются средства измерений, с помощью которых воспроизводят и (или) хранят единицу ФВ, контролируют условия измерений и неизменность воспроизводимого или хранимого размера единицы. Данный термин применяют в случаях проведения сличения эталонов, принадлежащим отдельным государствам.

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

Эталон первичный — эталон, обеспечивающий воспроизведение единицы с наивысшей в стране (по сравнению с другими эталонами этой же единицы) точностью.

Эталон вторичный — эталон, получающий размер единицы непосредственно от первичного эталона данной единицы.

Эталон-свидетель — эталон, предназначенный для проверки сохранности и неизменности государственного первичного эталона и замены его в случае порчи или утраты.

Эталон сравнения — вторичный эталон, применяемый для сличения эталонов, которые по тем или иным причинам не могут быть непосредственно сличаемы друг с другом.

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

Литература

1. Анализ измерительных систем. MSA. Ссылочное руководство : пер. с англ. 3-е изд. Нижний Новгород : Приоритет, 2005.
2. *Архипов А.В.* Основы стандартизации, метрологии и сертификации : учебник / под общ. ред. В.М. Мишина. М. : ЮНИТИ-ДАНА, 2007.
3. *Брянский Л.Н., Двойников А.С.* Краткий справочник метролога. М. : Изд-во стандартов, 1991.
4. Выбор универсальных средств измерения линейных размеров до 500 мм (по применению ГОСТ 8.051–81) : РД 50-98–86. М. : Изд-во стандартов, 1987.
5. *Димов Ю.В.* Метрология, стандартизация и сертификация : учебник для вузов. 2-е изд. СПб. : Питер, 2004.
6. Единая система допусков и посадок СЭВ в машиностроении и приборостроении : справочник. В 2 т. Т. 2. Контроль деталей. 2-е изд., перераб. и доп. М. : Изд-во стандартов, 1989.
7. *Ефимов В.В.* Статистические методы в управлении качеством продукции : учеб. пособие. Ульяновск : УлГТУ, 2003.
8. *Крылова Г.Д.* Основы стандартизации, сертификации, метрологии : учебник. 3-е изд., перераб. и доп. М. : ЮНИТИ-ДАНА, 2007.
9. Метрологическое обеспечение, взаимозаменяемость, стандартизация : учебник / К.И. Гусев, Р.В. Медведева, Е.П. Мышелов, Е.А. Яковлев. М. : Машиностроение, 1992.
10. *Муслина Г.Р., Правиков Ю.М.* Измерение и контроль геометрических параметров деталей машин и приборов : учеб. пособие / под общ. ред. Л.В. Худобина. Ульяновск : УлГТУ, 2007.
11. *Муслина Г.Р., Правиков Ю.М.* Метрология, стандартизация и сертификация : учеб. пособие / под общ. ред. Л.В. Худобина. Ульяновск : УлГТУ, 2003.
12. *Правиков Ю.М., Муслина Г.Р.* Метрологическая экспертиза технической документации : методические указания к практическим занятиям. Ульяновск : УлГТУ, 2005.
13. *Правиков Ю.М., Муслина Г.Р.* Нормирование отклонений формы, расположения и шероховатости поверхностей деталей машин : учеб. пособие. 2-е изд., перераб., доп. Ульяновск : УлГТУ, 2002.
14. *Радкевич Я.М., Схиртладзе А.Г., Лактионов Б.И.* Метрология, стандартизация и сертификация : учебник. 2-е изд., доп. М. : Высш. шк., 2006.
15. *Рейх Н.И., Тутиченков А.А., Цейтлин В.Г.* Метрологическое обеспечение производства : учеб. пособие для ВИСМ / под ред. Л.К. Исаева. М. : Изд-во стандартов, 1987.
16. *Сергеев А.Г., Крохин В.В.* Метрология : учеб. пособие. М. : Логос, 2000.
17. *Сергеев А.Г., Латышев Н.В., Тегеря В.В.* Метрология, стандартизация и сертификация : учеб. пособие. 2-е изд., перераб. и доп. / М. : Логос, 2005.
18. *Синопальников В.А., Григорьев С.Н.* Надежность и диагностика технологических систем / М. : ИЦ МГТУ «Станкин», Янус-К, 2003.
19. Справочник технолога-машиностроителя : в 2 т. Т. 1 / под ред. А.М. Дальского, А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова, А.Г. Сулова. 5-е изд., перераб. и доп. М. : Машиностроение-1, 2001.
20. Средства контроля, управления и измерения линейных и угловых размеров в машиностроении : отраслевой каталог. М. : Каталог, 2004.
21. *Тартаковский Д.Ф., Ястребов А.С.* Метрология, стандартизация и технические средства измерений : учебник. М. : Высш. шк., 2001.
22. Точность и производственный контроль в машиностроении : справочник / И.И. Балонкина, А.К. Кутай, Б.М. Сорочкин, Б.А. Тайц : под общ. ред. А.К. Кутая, Б.М. Сорочкина. Л. : Машиностроение, 1983.
23. *Фрумкин В.Д., Рубичев Н.А.* Теория вероятностей и статистика в метрологии и измерительной технике. М. : Машиностроение, 1987.
24. *Чертов А.Г.* Единицы физических величин : учеб. пособие. М. : Высш. шк., 1977.
25. *Якушев А.И., Воронцов Л.Н., Федотов Н.М.* Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения : учебник. 6-е изд., перераб. и доп. М. : Машиностроение, 1987.