

Ю.М. Правиков, Г.Р. Муслина

МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВА

Учебное пособие

- метрологические службы России
- методы и средства измерения
- качество измерительного процесса

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»

Кнорус
Москва
2009

УДК 006(075.8)
ББК 30. 10я73
П 98

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»)

Правилов Ю.М.

П 98 Метрологическое обеспечение производства : учебное пособие /
Ю.М. Правилов, 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.

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

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 измерения	11
1.3. Метрологические службы РФ	15
1.4. Международные метрологические организации и обеспечение единства измерений в зарубежных странах	24
1.5. Ответственность за нарушение метрологических правил и норм	27
1.6. Государственный метрологический контроль и надзор	29
Контрольные вопросы	32
Глава 2. ЕДИНИЦЫ И СИСТЕМЫ ЕДИНИЦ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН ...	34
2.1. Физические величины	34
2.2. Международная система единиц физических величин	39
2.3. Соотношения единиц СИ с единицами других систем и внесистемными единицами	44
2.4. Основные правила написания обозначения единиц	45
Контрольные вопросы	47
Глава 3. ВОСПРОИЗВЕДЕНИЕ ЕДИНИЦ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН И ПЕРЕДАЧА ИХ РАЗМЕРОВ	48
3.1. Понятие об эталонах физических величин	48
3.2. Эталоны основных единиц СИ	51
3.3. Поверка средств измерений и поверочные схемы	54
3.4. Калибровка средств измерения	59
Контрольные вопросы	62
Глава 4. ИЗМЕРЕНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН	64
4.1. Понятие об измерении и контроле	64
4.2. Погрешности измерений	72
4.3. Исключение систематических погрешностей	80
4.4. Оценивание случайных погрешностей	85
4.5. Выбор характеристик погрешности	96
4.6. Исключение промахов	98
4.7. Правила округления и записи результатов измерений	101
Контрольные вопросы	102
Глава 5. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ	104
5.1. Многократные прямые измерения	104
5.2. Однократные измерения	112

5.3. Косвенные измерения	113
Контрольные вопросы	120
Глава 6. СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ	121
6.1. Виды средств измерений	121
6.2. Метрологические характеристики средств измерения	124
6.3. Выбор средств измерения геометрических параметров деталей	130
6.4. Контроль деталей гладких соединений	140
6.5. Метрологическая надежность средств измерения	148
Контрольные вопросы	159
Глава 7. КАЧЕСТВО ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА	161
Контрольные вопросы	168
Глава 8. МЕТРОЛОГИЧЕСКАЯ ЭКСПЕРТИЗА ТЕХНИЧЕСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ	169
8.1. Общие положения	169
8.2. Метрологическая экспертиза рабочей конструкторской документации	170
8.3. Метрологическая экспертиза технологической документации	186
Контрольные вопросы	187
Приложение 1. Значения интеграла вероятностей	188
Приложение 2. Значения критерия Фишера F_q для различных уровней значимости q	189
Приложение 3. Допускаемые погрешности измерений линейных размеров	190
Приложение 4. Допускаемые погрешности измерений линейных размеров с неуказанными допусками	191
Приложение 5. Допускаемые погрешности измерения отклонений формы и расположения поверхностей	192
Приложение 6. Предельные погрешности измерения наружных линейных размеров штангенинструментами	193
Приложение 7. Предельные погрешности измерения линейных размеров микрометрическими инструментами	194
Приложение 8. Предельные погрешности измерения внутренних линейных размеров универсальными измерительными средствами	195
Приложение 9. Предельные погрешности измерения линейных размеров и биений механическими средствами измерений	197
Приложение 10. Темы практических занятий и содержание расчетно- графических работ	200
Тестовые задания	201
Глоссарий	218
Литература	230

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

При изготовлении изделий требуемого качества возникает необходимость 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 в 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 веке 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 превратилась в привычную для нас минуту. Вавилонские сутки содержали 24 часа, 1 час – 60 минут, 1 минута – 60 секунд. 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 пядью, которая

равнялась $1/4$ аршина и представляла собой расстояние между концами большого и указательного пальцев взрослого человека.

Для осуществления более тесных контактов с зарубежными странами Петр I проводит реформу системы мер, приближая ее к английской системе. При этом дюйм и фут удачно вписались в русскую систему мер. Аршин (0,71 м) удлинили до 28 дюймов. При этом 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 формируется уже как наука. Проводятся научные исследования с целью повышения точности измерений и поисков естественных эталонов единиц. Появляются шкалы. Вводятся акты законодательной метрологии. В 1736 г. по решению Сената в России 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 Каменномостского Литейного двора.

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

В 1841 году 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 году 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.

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

В настоящее время государственные метрологические службы России, имеющие достаточно сложную структуру, проводят работы в области стандартизации и метрологии в стране непосредственно через созданные Госстандартом НИИ, центры метрологии и стандартизации (областные, краевые и республиканские) и территориальные лаборатории государственного надзора за стандартизацией и измерительной техникой (см. п. 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 лабораториях института 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 является извлечение количественной информации о свойствах объектов и процессов с заданной точностью и достоверностью. Средства метрологии – это совокупность средств измерений (СИ) 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 СИ;
- разработка методов оценки погрешностей, состояния СИ и контроля;
- практическое применение теории, методов и СИ и контроля.

Метрология делится на три самостоятельных и взаимодополняющих части [14]: теоретическая метрология, законодательная метрология и практическая метрология.

Предметом *теоретической метрологии* является разработка фундаментальных основ метрологии.

Предметом *законодательной метрологии* является установление обязательных технических и юридических требований по применению единиц ФВ, эталонов, методов и СИ, направленных на обеспечение единства и необходимой точности измерений в интересах общества.

Предметом *практической (прикладной) метрологии* являются 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, характеризующиеся 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.

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, как в сторону измерения сверхмалых значений, так и в сторону измерения 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 Государственной системы обеспечения единства измерений (ГСИ) 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*.

Назначение ГСИ – обеспечение единства измерений в стране, т. е. управление 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». Здесь же сформулированы цель и задачи ГСИ.

Цель ГСИ – создание общегосударственных правовых, нормативных, организационных, технических и экологических условий для решения задач по обеспечению единства измерений и представление 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 физических величин и передачи их размеров;
- установление системы единиц ФВ и шкал измерений, допускаемых к применению;
- установление основных понятий метрологии, унификация их терминов и определений;
- установление экономически рациональной системы государственных эталонов;
- создание, утверждение, применение и совершенствование государственных эталонов;
- установление систем (по видам измерений) передачи размеров единиц ФВ от государственных эталонов СИ, применяемым в стране;
- создание и совершенствование вторичных и рабочих эталонов, комплектных поверочных установок и лабораторий;
- установление общих метрологических требований к эталонам, СИ, методикам выполнения измерений, методикам поверки (калибровки) СИ 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: поверка СИ; испытания с целью утверждения типа СИ; лицензирование деятельности юридических и физических лиц по изготовлению, ремонту, продаже и прокату СИ;
- осуществление государственного метрологического надзора за выпуском, состоянием и применением СИ; эталонами 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 СИ, 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 РФ систем аккредитации;
- участие в работе международных организаций, деятельность которых связана с обеспечением единства измерений и подготовке к вступлению России в ВТО;
- организация подготовки и подготовка кадров метрологов;
- информационное обеспечение по вопросам обеспечения единства измерений;
- совершенствование и развитие ГСИ.

ГСИ состоит из трех подсистем: правовой, организационной и технической, структура которых показана на рис. 1.1.

Правовая подсистема ГСИ – это комплекс взаимосвязанных законодательных и подзаконных актов (см. рис. 1.1), объединяемых общей целевой направленностью и регламентирующих:

- 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;
- комплексы нормируемых метрологических характеристик СИ;
- методы установления и корректировки межповерочных (рекомендуемых межкалибровочных) интервалов;
- порядок проведения испытаний в целях утверждения типа СИ и сертификации СИ;
- порядок проведения поверки и калибровки СИ;
- порядок осуществления метрологического контроля и надзора;
- порядок лицензирования деятельности юридических и физических лиц по изготовлению, ремонту, продаже и прокату СИ;

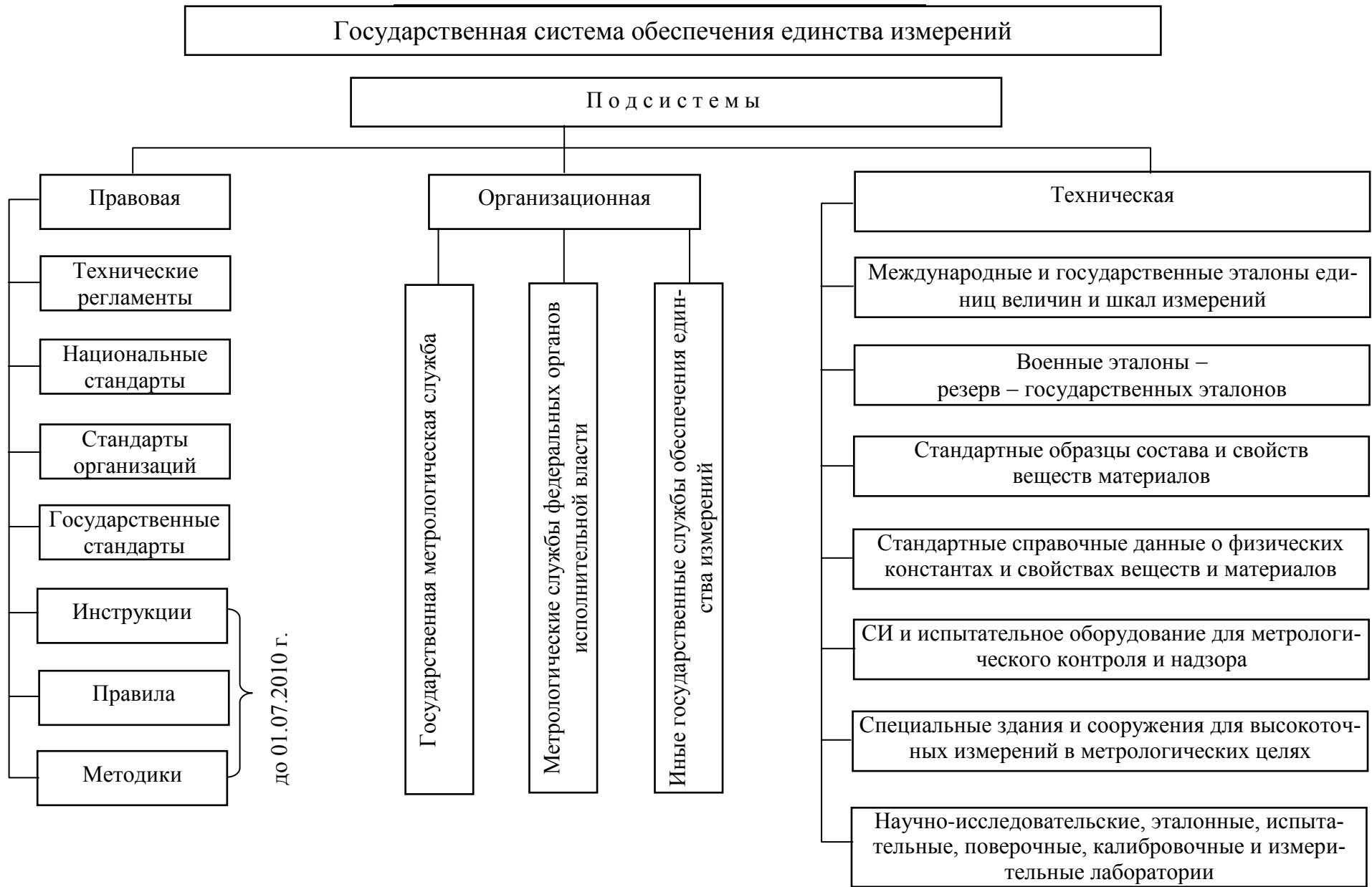


Рис. 1.1. Государственная система обеспечения единства измерений

- 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) СИ;
- методики выполнения измерений.

В соответствии с Федеральным законом «О техническом регулировании» (от 27.12.2002 г. № 184-ФЗ) нормативными документами в области обеспечения единства измерений являются технические регламенты, национальные стандарты и стандарты организаций (предприятий) (см. рис. 1.1). В течение переходного периода (до 1 июля 2010 г.) продолжают действовать государственные стандарты, инструкции, правила, методики и др. нормативные документы введенные в действие ранее.

Технические регламенты устанавливают обязательные требования к продукции, процессам производства и др., 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.

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

1.3. Метрологические службы РФ

Многие годы управление деятельностью по обеспечению единства измерений в России осуществлял Комитет Российской Федерации по стандартизации и метрологии (Госстандарт РФ). В 2004 г. Госстандарт РФ был преобразован в Федеральную службу по техническому регулированию и метрологии, а затем – в **Федеральное агентство по техническому регулированию и метро-**

логии (*Ростехрегулирование*). При этом функции Госстандарта РФ по принятию нормативных правовых актов в установленной сфере деятельности были переданы Министерству РФ по промышленности и энергетике (Минпромэнерго), которое в настоящее время решает следующие вопросы [2]:

- выработку государственной политики и нормативно-правовое регулирование в сфере технического регулирования и обеспечения единства измерений;

- координацию 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 СИ, подлежащих поверке; порядок представления СИ 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 и Ростехрегулирования.

Минпромэнерго 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 метрологии, утвержденного постановлением Правительства РФ от 17 июня 2004 г. № 294 и решает следующие задачи:

- реализация функций национального органа по стандартизации;

- обеспечение единства измерений;

- осуществление работ по аккредитации органов сертификации и испытательных лабораторий (центров);

- осуществление государственного контроля (надзора) за соблюдением требований технических регламентов и обязательных требований стандартов;
- создание и ведение федерального информационного фонда технических регламентов и стандартов и единой информационной системы по техническому регулированию;
- осуществление организационно-методического руководства по ведению Федеральной системы каталогизации продукции для федеральных государственных нужд;
- организация проведения работ по учету случаев причинения вреда вследствие нарушения требований технических регламентов;
- организационно-методическое обеспечение проведения конкурса на соискание Премии Правительства РФ в области качества и других конкурсов в области качества;
- оказание государственных услуг в сфере стандартизации, технического регулирования и метрологии.

Кроме того, Ростехрегулированию предоставлены полномочия, связанные с:

- лицензированием деятельности по изготовлению и ремонту СИ, а также государственным метрологическим контролем и надзором;
- контролем и надзором за соблюдением обязательных требований государственных стандартов и технических регламентов.

Ростехрегулирование осуществляет свою деятельность через свои территориальные органы и подведомственные организации [2], совокупность которых образует Государственную метрологическую службу (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 (г. Москва), Северо-Западное (г. Санкт-Петербург), Южное (г. Ростов-на-Дону), Приволжское (г. Нижний Новгород), Уральское (г. Екатеринбург), Сибирское (г. Новосибирск) и Дальневосточное (г. Хабаровск).

МТУ Ростехрегулирования выполняют следующие функции:

- осуществляют государственный метрологический надзор за выпуском, состоянием и применением СИ, аттестованными методиками выполнения измерений, эталонами единиц величин, соблюдением метрологических правил и норм;
- осуществляют государственный метрологический надзор за количеством товаров, отчуждаемых при совершении торговых операций;



Рис. 1.2. Структура метрологических служб РФ

- осуществляют государственный метрологический надзор за количеством фасованных товаров в упаковках любого вида при их расфасовке и продаже;
- выполняют функции государственной метрологической службы на территории соответствующего федерального округа в части осуществления государственного метрологического надзора;
- осуществляют контроль за соблюдением соискателями лицензий и лицензиатами лицензионных требований и условий, определенных Положением о лицензировании деятельности по изготовлению и ремонту СИ;
- осуществляют в пределах компетенции государственный контроль (надзор) за соблюдением требований технических регламентов;
- осуществляют, 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;
- осуществляют в соответствии с законодательством РФ производство по делам об административных правонарушениях;
- применяют предусмотренные законодательством РФ меры воздействия к юридическим лицам и индивидуальным предпринимателям за нарушение установленных требований;
- осуществляют сбор и обработку информации о случаях причинения вреда вследствие нарушения требований технических регламентов, а также информируют приобретателей, изготовителей и продавцов по вопросам государственного контроля (надзора) за соблюдением требований технических регламентов;
- рассматривают жалобы и обращения юридических лиц и граждан и принимают решения по вопросам, входящим в их компетенцию;
- информируют заинтересованных лиц по вопросам, связанным с осуществлением государственного контроля и надзора в области обеспечения единства измерений и технического регулирования;
- осуществляют иные функции, предусмотренные законодательством РФ и относящиеся к их компетенции.

К подведомственным ГМС организациям, 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).

ФГУП представлены научно метрологическими центрами, такими как ВНИИ метрологической службы (ВНИИМС), ВНИИ метрологии им. Д.И. Менделеева (ВНИИМ, г. Санкт-Петербург), ВНИИ стандартизации и сертификации в машиностроении (ВНИИНМАШ, г. Москва), Российским научно-техническим центром информации по стандартизации, метрологии и оценке соответствия (СТАНДАРТИНФОРМ), 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. Так, например, ВНИИМ им. Д.И. Менделеева специализируется на эталонах единиц длины, массы, а также теплофизических, магнитных величин и других величин. ВС НИИФТРИ (Восточно-Сибирский научно-исследовательский институт физико-технических и радиотехнических измерений) занимается эталонами единиц радиотехнических, магнитных и акустических величин, единиц времени, частоты, низких температур, твердости и др. ВНИИОФИ (Всероссийский научно-исследовательский институт оптико-физических измерений) специализируется на создании, совершенствовании и хранении единиц величин в области фотометрии, радиометрии, спектрорадио- и спектрофотометрии, колориметрии и т.д.

ФГУ представлены в первую очередь Центрами стандартизации и метрологии (ЦСМ), назначение которых – выполнение на закрепленной территории (республике в составе РФ, крае, области) следующих функций:

- поверку СИ при выпуске их из производства и ремонта, при ввозе по импорту и эксплуатации;
- испытания СИ и игровых автоматов с целью утверждения типа;
- контроль за соответствием выпускаемых и применяемым СИ и игровых автоматов утвержденным типам;

- участие в аккредитации метрологических служб юридических лиц на право поверки СИ;
- сбор информации о количестве СИ, поверенных аккредитованными метрологическими службами юридических лиц на закрепленной территории;
- аттестацию 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;
- оценку состояния измерений в испытательных и измерительных лабораториях на предприятиях закрепленной территории;
- сертификацию и калибровку СИ, разработку и аттестацию методик измерений, метрологическую экспертизу нормативных документов;
- первичную аттестацию испытательного оборудования;
- анализ результатов работ по обеспечению единства измерений на закрепленной территории;
- изготовление эталонов и стандартных образцов;
- методическую 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 экспертную оценку продукции (товаров, работ, услуг);
- организацию и проведение межлабораторных сравнительных испытаний продукции (товаров);
- формирование и ведение фонда нормативных документов по стандартизации, обеспечению единства измерений, оценке соответствия, аккредитации;
- учетную регистрацию каталожных листов на товарную продукцию;
- распространение периодических изданий Ростехрегулирования;
- предоставление в установленном порядке информации полномочному представителю Президента РФ в соответствующем федеральном округе, Ростехрегулирования, 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 стандартиза-

ции метрологии и сертификации (ДПО «АСМС») и Федеральный центр каталогизации (ФЦК). ФГУ ДПО «АСМС» занимается повышением квалификации, профессиональной переподготовкой специалистов по программам дополнительного профессионального образования в области технического регулирования, менеджмента качества, обеспечение 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 (НИИССАГОПРОДУКТ), 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 вышеназванных метрологических служб в организационную подсистему ГСИ входят метрологические службы федеральных органов исполнительной власти и юридических лиц, созданные и создаваемые в соответствии с «Типовым положением о метрологической службе государственных органов управления РФ и юридических лиц» (ПР 50-732-93).

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 «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 СИ, автоматизированного контрольно-измерительного оборудования, эталонов, развитие системы калибровки и т.п.;

- проведение постоянной метрологического контроля путем калибровки СИ и своевременного представления СИ на поверку;

- надзор за соблюдением метрологических правил и норм, состоянием и применением СИ, аттестованными медиками выполнения измерений, эталонами и т.д.

Для решения указанных задач МСЮЛ должны обладать определенными правами, к важнейшим из которых следует отнести:

- право выдавать структурным подразделениям юридического лица обязательные предписания, направленные на предотвращение, прекращение или устранение нарушений метрологических правил и норм;

- право вносить предложения руководителю юридического лица об отмене нормативных документов, приказов, распоряжений и указаний в области метрологического обеспечения, противоречащих федеральным метрологическим правилам и нормам;

- право вносить предложения руководителю юридического лица по совершенствованию и обеспечению качества работ в области метрологического обеспечения;

- право 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 т.п. и подготовка предложений по их приобретению;

- участие в разработке и изготовлении СИ, методик выполнения измерений и т.д.;

- обеспечение соответствия применяемых СИ требуемым параметрам измерительного контроля;

- постоянное проведение метрологического контроля и надзора;

- подготовка и аттестация кадров;
- 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 СИ 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 являются определяющими этот уровень. История создания и развития международных метрологических организаций, основные этапы которой приведены ниже, 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 Международной системы единиц. 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. ГКМВ созывается не реже одного раза в 4 года с целью утверждения программ научно-практической деятельности МБМВ и выборов МКМВ. Место проведения генеральных конференций — г. 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 – реализация решений ГКМВ, проведение текущих исследований в области метрологии и подготовка материалов и решений к предстоящей генеральной конференции. Для этих целей в составе МКМВ действуют 10 консультативных комитетов: по системам единиц; определению метра; определению секунды; определению 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 ВНИИФТРИ. Основное направление деятельности МКМВ – расширение практики сличений национальных эталонов с целью установления их эквивалентности.

Международное бюро мер и весов – она из старейших международных организаций, созданная в 1879 г. МБМВ в то время 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 мира. МБМВ 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 1955 г. в связи с очевидной необходимостью разработки международной нормативно-правовой базы единства измерений 24 государства (включая СССР) 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.

МОЗМ имеет статус наблюдателя при Комитете по техническим барьерам в торговле Всемирной торговой организации. 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 метрологиче-

ским характеристикам СИ, методикам выполнения измерений, единицам величин, показателям точности и т.д.; 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 4 года. В работе Конференции могут принимать участие не только представители стран – участниц Конвенции, но также представители неприсоединившихся стран и международных организаций, связанных с решением метрологических задач. Решения МОЗМ не являются обязательными, а носят характер рекомендаций. В частности, в октябре 2004 г. принят документ МД1 «Элементы закона по метрологии», который рекомендует основные унифицированные положения для разработки и принятия соответствующих национальных законов и в их числе семь видов государственного метрологического надзора.

Рекомендации МОЗМ принимаются в виде международных документов (МД), предназначенных для рабочих органов МОЗМ, и международных рекомендаций (МР), предназначенных для стран – членов Конвенции. Россию в МОЗМ представляют Ростехрегулирование и другие министерства. 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 – содействие международному сотрудничеству и обмену научной и технической информацией. Высший орган ИМЕКО – Генеральный совет, исполнительный орган – Секретариат (г. Будапешт). ИМЕКО проводит работы в 17 технических комитетах по отдельным направлениям метрологии.

В Центральной и Восточной Европе действует *Организация сотрудничества государственных метрологических организаций стран Центральной и Восточной Европы (КООМЕТ)*. КООМЕТ (штаб-квартира – г. Братислава) образована в 1991 г. на базе Секции по метрологии СЭВ и в настоящее время насчитывает 14 стран-участниц. В 2000 г. КООМЕТ переименован в *Евро-Азиатское сотрудничество государственных метрологических учреждений*. КООМЕТ осуществляет сотрудничество стран-участниц 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 СИ 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 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 в 1989 г. с целью координации деятельности национальных метрологических служб в области законодательной метрологии для устранения препятствий в торговле в рамках ЕС и объединяет 15 стран.

Между странами-членами 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 СИ, 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 РФ в соответствии со статьей 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 ответственность наступает административная, гражданско-правовая, уголовная или дисциплинарная.

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 СИ.

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 статьями 19.5 и 19.19, часть 3 Кодекса РФ об административных нарушениях.

Статья 19.5 указанного Кодекса «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 статьи 19.19 предусматривает наложение административного штрафа на должностных и юридических лиц за: нарушение правил поверки СИ; требований аттестованных методик выполнения измерений; требований к состоянию эталонов, установленных единиц величин или метрологических правил и норм в торговле; а также выпуск, продажу, прокат или применение СИ, типы которых не утверждены или применение не поверенных СИ.

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.

Дисциплинарная ответственность за нарушение метрологических правил и норм определяется решением администрации (организации) на основании Кодекса законов о труде.

1.6. Государственный метрологический контроль и надзор

Виды и сферы распространения государственного контроля и надзора за состоянием и применением СИ (государственного метрологического контроля и надзора) установлены Законом «Об обеспечении единства измерений». В соответствии с этим законом государственному контролю и надзору подлежат СИ, используемые в жизненно важных для государства сферах деятельности, к которым 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 РФ;
- испытания и контроль качества продукции в целях определения соответствия обязательным требованиям;
- измерения, проводимые по поручению органов суда, государственных органов управления РФ;
- регистрация национальных и международных спортивных результатов.

В остальных сферах экономики (а это в основном производственные сферы) 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 СИ;
- поверку СИ, в том числе эталонов ;
- лицензирование деятельности юридических и физических лиц по изготовлению, ремонту, продаже и прокату СИ.

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

Утверждение типа СИ осуществляется для новых марок (типов) СИ, выпускаемых предприятиями или ввозимых по импорту, и включает:

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

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

Процедуре утверждения типа подвергают типовые представители СИ. Соответствие СИ утвержденному типу на территории РФ 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 СИ;
- при внесении в конструкцию СИ или технологию их изготовления изменений, влияющих на нормированные метрологические характеристики;
- при истечении срока действия сертификата об утверждении типа.

Поверку СИ, 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 СИ. Порядок проведения поверки регламентируют ПР 50. 2. 006-94 «Виды и методы поверки, правила оформления и аннулирования результатов поверки», приведены в разделе 3.3.

Лицензирование деятельности юридических и физических лиц по изготовлению, ремонту, продаже и прокату СИ осуществляется органами ГМС. Лицензия выдается на срок не более 5 лет и действительна на всей терри-

тории РФ. Лицензия на право изготовления СИ выдается на срок действия сертификата об утверждении типа СИ.

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 проводит орган ГСМ, выдавший лицензию.

Государственный метрологический надзор осуществляется:

- за выпуском, составлением и применением СИ, аттестованными методиками выполнения измерений, эталонами единиц времени, соблюдением метрологических правил и норм на предприятиях;
- за количеством товаров, отчуждаемых при совершении торговых операций;
- за количеством фасованных товаров в упаковках любого вида при их расфасовке и продаже.

Государственный метрологический надзор осуществляют органы ГМС в соответствии с нижеуказанными правилами.

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

- наличие и полноту перечня СИ, подлежащих государственному либо коммерческому надзору и контролю;
- соответствие состояния СИ и условий их эксплуатации установленным техническим требованиям;
- наличие сертификата об утверждении типа СИ;
- 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 СИ, предприятием, занимающимся этими видами деятельности;
- наличие документа, подтверждающего право проведения поверки СИ силами метрологической службы юридического лица;

- наличие документов, подтверждающих органами ГМС аттестацию лиц, осуществляющих поверку СИ, в качестве поверителей;
- правильность хранения и применения эталонов, используемых для поверки СИ в соответствии с нормативными документами.

ПР 50.2.002-94 определяют 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.

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 СИ, контроля за правильностью выполненных измерений. В этом случае нарушениями метрологических правил и норм также считается использование СИ, не соответствующих типу, не поверенных, с нарушенным клеймом, дающих неправильные показания.

ПР 50.2.002-94 устанавливают 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. Дайте определение понятиям: 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 РФ является Ростехрегулирование?
10. Какие вопросы обеспечения единства измерений решает Минпромэнерго?
11. Каковы задачи Ростехрегулирования?
12. Какие межрегиональные территориальные управления, осуществляющие контрольно-надзорные функции, Вы знаете и каковы их функции?
13. Какие подведомственные ГМС организации Вы знаете?
14. Какие государственные службы находятся в ведении Ростехрегулирования?
15. Что такое МСЮЛ и каковы ее функции?
16. Какие международные метрологические организации Вы знаете?
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 СИ?
21. В каких случаях проводят испытания СИ на соответствие утвержденному типу?
22. В каких случаях органы ГМС проводят поверку СИ?
23. Назовите объекты государственного метрологического надзора.

ЕДИНИЦЫ И СИСТЕМЫ ЕДИНИЦ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

2.1. Физические величины

Множество окружающих нас физических объектов обладает различными качествами и свойствами. *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. 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*. ФВ, входящая в систему величин и условно принятая в качестве независимой от других величин этой системы называется *основной ФВ*. *Производная ФВ* – это ФВ, входящая в систему величин и определяемая через основные величины этой системы.

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

$$\dim l = L; \quad \dim m = M; \quad \dim t = T.$$

При определении размерности производных величин руководствуются следующими правилами:

- размерности правой и левой частей уравнения не могут не совпадать, т.к. сравниваться между собой могут только одинаковые свойства;
- алгебра размерностей мультипликативна, т.е. состоит из одного единственного действия – умножения;
- размерность произведения нескольких величин равна произведению их размерностей. Так, если зависимость между значениями величин Q, A, B, C имеет вид $Q = ABC$, то $\dim Q = \dim A \cdot \dim B \cdot \dim C$;
- 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 правильности 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:

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

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

Пример 2.1. Необходимо определить размерность мощности N по уравнению $N = F \cdot \ell / t$, где F – действующая сила; ℓ – длина плеча приложения силы; t – время приложения силы.

Действующая сила определяется по уравнению $F = m \cdot a$, 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

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

2. Определим размерность действующей силы, учитывая, что размерность массы обозначается M

$$\dim F = M \cdot L \cdot T^{-2}.$$

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

$$\dim N = M \cdot L \cdot T^{-2} \cdot L/T = M \cdot L^2 \cdot T^{-3}.$$

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

Размер физической величины – 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. Значение Q , следовательно, 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 ФВ Q с размерами многозначной ме-

ры (понятие «многозначная мера» см. п. 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», и являющейся одной из метрологических характеристик СИ. 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 – отношение, в котором свойство X у различных объектов A и B оказываются одинаковыми или неодинаковыми;
- порядка – отношение, в котором данное свойство X у различных объектов оказывается больше или меньше;
- аддитивности – отношение, когда одинаковые свойства различных объектов могут суммироваться.

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

Шкала наименований – шкала, элементы (ступени) которой характеризуются только соотношениями эквивалентности (совпадения, равенства, сходства) конкретных качественных проявлений свойств.

Эти 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.

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.

Полученный при этом упорядоченный ряд называют ранжированным рядом, 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 французского *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) – шкала, допускающая дополнительно к соотношениям эквивалентности и порядка суммирование интервалов (разностей) между различными количественными проявлениями свойства. Шкала интервалов состоит из одинаковых интервалов, имеет единицу измерения и произвольно выбранное начало – нулевую точку. К таким шкалам относится летоисчисление 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.

Шкала 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 являются 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 $q_2 = q_1 [Q_1] / [Q_2]$.

Абсолютные шкалы. 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 первом разделе, 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.Ф. Гауссом в 1832 г. В качестве основных в этой системе были приняты: единица длины – миллиметр, единица массы – миллиграмм, единица времени – секунда. Эту систему единиц называли *абсолютной*.

В 1881 г. по предложению В. Томсона (Кельвина) 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.

В начале XX века итальянский ученый Джорджи 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 прошлом веке широко использовалась в технике (механике, теплотехнике) система единиц МКГСС. Основными единицами системы являются: единица длины – метр; единица силы – килограмм-сила и единица времени – секунда. Существенным недостатком технической системы является то, 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.

В 1960 г. на XI Генеральной конференции по мерам и весам была принята единая универсальная система единиц, получившая название «Международная система единиц» (*Systeme International*), сокращенно *SI* (СИ). В Российской Федерации система единиц СИ регламентирована ГОСТ 8.417 «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.

Угловые единицы (радиан и стерadian) введены в качестве дополнительных. Это связано с тем, что эти единицы не могут быть введены в число

основных, т.к. это затруднило бы трактовку размерностей величин, связанных с вращением (дуги окружности, площади круга и т.д.). Считать дополнительные угловые единицы производными также нельзя, т.к. они не зависят от выбора основных единиц. Действительно, при любых единицах длины размеры радиана и стерadiana остаются неизменными.

Таблица 2.1

Основные и дополнительные единицы физических величин системы СИ

Величина			Единица		
Наименование	Размерность	Рекомендуемое обозначение	Наименование	Обозначение	
				Русское	Международное
О с н о в н ы е					
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	Θ	T	кельвин	К	K
Количество вещества	N	n, ν	моль	моль	mol
Сила света	J	j	кандела	кд	cd
Д о п о л н и т е л ь н ы е					
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	$L \cdot T^{-1}$	метр в секунду	$m \cdot s^{-1}$
Угловая скорость	T^{-1}	радиан в секунду	$rad \cdot s^{-1}$
Ускорение	$L \cdot T^{-2}$	метр на секунду в квадрате	$m \cdot s^{-2}$
Угловое ускорение	T^{-2}	радиан на секунду в квадрате	$rad \cdot s^{-2}$

Таблица 2.3

Производные единицы системы СИ, имеющие специальное название

Величина		Единица		
Наименование	Размерность	Наименование	Обозначение	Выражение через единицы СИ
Частота	T^{-1}	герц	Гц	s^{-1}

Сила, вес	$L M T^{-2}$	ньютон	Н	$м \cdot кг \cdot с^{-2}$
Давление, механическое напряжение	$L^{-1} M T^{-2}$	паскаль	Па	$м^{-1} \cdot кг \cdot с^{-2}$
Энергия, работа, количество теплоты	$L^2 M T^{-2}$	джоуль	Дж	$м^{-2} \cdot кг \cdot с^{-2}$
Мощность	$L^2 M T^{-3}$	ватт	Вт	$м^2 \cdot кг \cdot с^{-3}$
Количество электричества	$T I$	кулон	Кл	$с \cdot А$
Электрическое напряжение, электродвижущая сила	$L^2 M T^3 I^1$	вольт	В	$м^2 кг \cdot с^{-3} А^{-1}$
Электрическая емкость	$L^2 M^1 T^4 I^2$	фарад	Ф	$м^2 \cdot кг^{-1} \cdot с^4 \cdot А^2$
Электрическое сопротивление	$L^2 M T^3 T^2$	ом	Ом	$м^2 \cdot кг \cdot с^{-3} \cdot А^{-2}$
Электрическая проводимость	$L^2 M^1 T^3 I^2$	сименс	См	$м^2 \cdot кг^{-1} \cdot с^3 \cdot А^2$
Поток магнитной индукции	$L^2 M T^2 I^1$	вебер	Вб	$м^2 \cdot кг \cdot с^{-2} \cdot А^{-1}$
Магнитная индукция	$M T^{-2} I^1$	тесла	Тл	$кг \cdot с^{-2} \cdot А^{-1}$
Индуктивность	$L^2 M T^2 I^2$	генри	Гн'	$м^2 \cdot кг \cdot с^{-2} \cdot А^{-2}$
Световой поток	J	люмен	лм	$кд \cdot ср$
Освещенность	$L^{-2} J$	люкс	лк	$м^{-2} \cdot кд \cdot ср$
Активность радионуклида	T^{-1}	беккерель	Бк	$с^{-1}$
Поглощенная доза ионизирующего излучения	$L^2 T^{-2}$	грей	Гр	$м^2 \cdot с^{-2}$
Эквивалентная доза излучения	$L^2 T^{-2}$	зиверт	Зв	$м^2 \cdot с^{-2}$

Производная единица является **когерентной** (от латинского *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 $F = m \cdot a$, 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:

- допускаемые наравне с единицами СИ (табл. 2.4), например, единица массы – тонна; плоского угла – градус, минута, секунда; объема – литр и др.;
- допускаемые к применению в специальных областях, например, электрон-вольт – единица энергии в физике;
- временно допускаемые к применению наравне с единицами СИ, например, карат – единица массы в ювелирном деле и др.;
- 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.	$1,66057 \cdot 10^{-27}$ кг (приблизительно)
Время	минута	мин	60 с
	час	ч	3600 с
	сутки	сут	86400 с
Плоский угол	градус	...°	$(\pi/180) = 1,745329... \cdot 10^{-2}$ рад
Наименование величины	Единица		
	Наименование	Обозначение	Соотношение с единицей СИ
	минута	...'	$(\pi/10800) = 2,908882... \cdot 10^{-4}$ рад
	секунда	..."	$(\pi/648000) = 4,848137... \cdot 10^{-6}$ рад
	град	град	$(\pi/200)$ рад
Объем	литр	л	10^{-3} м ³
Длина	астрономическая единица	а.е.	$1,45598 \cdot 10^{11}$ м (приблизительно)
	световой год	св. год	$9,4605 \cdot 10^{15}$ м (приблизительно)
	парсек	пк	$3,0857 \cdot 10^{16}$ м (приблизительно)
Оптическая сила	диоптрия	дптр	1 м ⁻¹
Площадь	гектар	га	10^4 м ²
Энергия	электрон-вольт	эВ	$1,45598 \cdot 10^{11}$ 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 10^3 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>N</i>	Т	10^{-3}	милли	<i>m</i>	м
10^9	гига	<i>G</i>	Г	10^{-6}	микро	μ	мк
Множитель	Приставка	Обозначение приставки		Множитель	Приставка	Обозначение приставки	
		международное	русское			международное	русское
10^6	мега	<i>M</i>	М	10^{-9}	нано	<i>n</i>	н
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* нам известна;

– в полученном выражении произвести алгебраические действия как с числами, так и наименованиями основных единиц системы B ;

– если же переводимая производная единица системы A выражается через другие производные единицы той же системы, соотношение которых с соответствующими единицами системы B известно, то достаточно выразить переводимую единицу через производные единицы этой же системы, а затем последние – через соответствующие единицы системы B и выполнить алгебраические действия.

Пример 2.2. Необходимо 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. Необходимо 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

$$1 \text{ ат} = 9,81 \text{ Н}/(10^{-2} \text{ м})^2 = 9,81 \text{ Н}/10^{-4} \text{ м}^2 = 9,81 \cdot 10^4 \text{ Н/м}^2.$$

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

Пример 2.4. Необходимо 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

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

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

2.4. Основные правила написания обозначений единиц

В соответствии с ГОСТ 8.417 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 Н; 20 °С. Исключение составляют надстрочные символы: правильно 90° и неправильно 90 °.

3. Обозначения единиц, наименования которых образованы фамилиями ученых, пишут с прописной (заглавной) буквы. например, единица силы – Ньютон (Н), единица мощности – ватт (Вт).

4. 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 «х». Например, правильная запись: $N \cdot m$, Н · м; $A \cdot m^2$, А · м²; $Pa \cdot s$, Па · с; неправильная: Nm , Нм; $A \cdot m^2$; $A \times m^2$; Pas , Пас.

Допускается 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).

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

6. 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: $(100,0 \pm 0,1) \text{ kg}$; $(100,0 \pm 0,1) \text{ кг}$; $50 \text{ g} \pm 1 \text{ g}$; $50 \text{ г} \pm 1 \text{ г}$; неправильно: $100,0 \pm 0,1 \text{ kg}$; $100,0 \pm 0,1 \text{ кг}$; $50+1 \text{ г}$; $50+1 \text{ г}$.

7. 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.

8. 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. Дайте определение ФВ.
2. Как обозначается размерность ФВ?
3. Что такое размер ФВ?
4. Приведите основное уравнение измерения.
5. Дайте определение шкалы ФВ.
6. Назовите основные типы шкал. Приведите примеры использования шкал.
7. Дайте определение системы единиц ФВ.
8. Назовите основные единицы международной системы единиц ФВ.
9. Приведите примеры производных единиц международной системы единиц ФВ.
10. Что такое когерентная производная единица ФВ?
11. Как пишут обозначения единиц, наименования которых образованы фамилиями ученых? Приведите примеры.
12. 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 СИ одной и той же величины. Это достигается путем точного воспроизведения и хранения в специализированных учреждениях установленных единиц ФВ и передачи их размеров применяемым СИ.

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 СИ, 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 СИ.

Согласно ГОСТ 8.057 ГСИ. «Эталоны единиц физических величин. Основные понятия». **Эталон единицы физической величины** – СИ (или комплекс СИ), предназначенное для воспроизведения и (или) хранения единицы и передачи ее размера нижестоящим по поверочной схеме СИ 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 суще-

ствующего 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 СИ, нижестоящих по поверочной схеме (см. п. 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 – эталон, обеспечивающий 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 СИ, 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 **национальный эталон**. Термин национальный эталон применяют в случаях проведения сличения эталонов, принадлежащим 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 обеспечение передачи размеров единиц всем применяемым в стране СИ используются вторичные эталоны.

Вторичный эталон – эталон, получающий размер единицы непосредственно от первичного эталона данной единицы. Вторичные эталоны по метрологическому назначению делятся на эталоны-свидетели, эталоны-копии, эталоны сравнения 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 основные назначения – 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, не всегда является его физической копией.

Рабочий эталон – эталон, предназначенный для передачи размера единицы рабочим СИ.

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 5 разрядов (см п. 6.1).

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

Одиночный эталон – эталон, в составе которого имеется одно СИ (мера, измерительный прибор, эталонная установка) для воспроизведения и (или) хранения единицы.

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

Эталонный набор – эталон, состоящий из совокупности СИ, 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 – эталон, обладающий наивысшими метрологическими свойствами (в данной лаборатории, организации, на предприятии), от которого передают размер единицы подчиненным эталонам и имеющимся СИ. Исходным эталоном в стране служит первичный эталон, исходным эталоном для республики, региона, министерства (ведомства) или предприятия может быть вторичный или рабочий эталон. Вторичный или рабочий эталон, являющийся исходным эталоном для министерства (ведомства) нередко называют ведомственным эталоном.

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

3.2. Эталоны основных единиц СИ

Эталонная база России имеет в своем составе 114 государственных первичных эталонов и более 250 вторичных эталонов единиц ФВ [16]. Из них 52 находятся во Всероссийском научно-исследовательском институте метрологии им. Д. И. Менделеева, в том числе эталоны метра, килограмма, Ампера, Кельвина и радиана; 25 – во Всероссийском научно-исследовательском институте физико-технических и радиотехнических измерений, в том числе эталоны единиц времени и частоты.

Единица длины – метр. Как отмечалось в первом разделе, при введении метрической системы за единицу длины – метр была принята одна десятимиллионная часть четверти Парижского меридиана. В 1799 г. На основе произве-

денных измерений 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. 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 РФ для воспроизведения метра принято расстояние, проходимое светом в вакууме за $1/299792458$ 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 $1/86400$ 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. В 1967 г. XIII Генеральная конференция по мерам и весам приняла 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 $1 \cdot 10^{-10} - 1 \cdot 10^8 \text{ с}$.

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 электростатометрии. 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 электростатометрии.

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 $0,0002\text{ }^{\circ}\text{C}$.

С 1990 г. размер единицы термодинамической температуры определяется с помощью термодинамической практической шкалы МТШ-90.

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

Единица количества вещества – моль. Моль – это количество вещества системы, содержащей столько же структурных элементов частиц, сколько атомов содержится в 12 г углерода-12 (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. В 1979 г. на XVI Генеральной конференции мер и весов было принято определение кандела. Кандела – это сила света в заданном направлении источника, испускающего монохроматическое излучение частотой $540 \cdot 10^{12}\text{ Гц}$, энергетическая сила света которого в этом направлении составляет $1/683\text{ Вт/ср}$.

Современный государственный эталон канделы имеет диапазон номинальных значений от 30 до 110 кд . С 1967 г. в качестве источника света рассматривается излучение полного излучателя, представляющего модель абсолютно черного тела. В настоящее время модель абсолютно черного тела представляет собой 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 стерadianа в качестве единиц международной системы нельзя признать удачным [15]. Радиан и стерadian применяют 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.). Поэтому на практике для измерения плоских углов пользуются **внесистемной единицей** – градусом и десятичными долями 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 подвергают СИ, используемые в сферах деятельности (см. п. 1.6), где государственный метрологический контроль и надзор являются обязательными.

Поверка СИ – это установление органом государственной метрологической службы (или другим официально уполномоченным органом, организацией) пригодности СИ 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 «ГСИ. Поверка средств измерения. Организация и порядок прове-

дения». В правилах установлено, что поверку СИ осуществляют органы государственной метрологической службы, государственные научные метрологические центры, а также аккредитованные метрологические службы юридических лиц.

Аккредитованная Метрологическая служба имеет право:

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

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

Первичная поверка – поверка, выполняемая при выпуске СИ из производства или после ремонта, а также при ввозе СИ из-за границы партиями, при продаже.

Периодическая поверка – поверка СИ, 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 СИ и продолжительностью от нескольких месяцев до нескольких лет. Необходимость поверки обусловлена возможностью утраты СИ метрологических показателей при эксплуатации или хранении.

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

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

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

Если СИ 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 СИ и более точного рабочего эталона.

Меры (понятие «мера» см. п. 6.1) *могут быть поверены следующим образом:*

1. Способом сличения с более точной мерой посредством компарирующего прибора (компаратора). Сличение мер с помощью компаратора осуществляется, как правило, методом замещения (см. п. 4.1).

2. Измерением 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 СИ.

3. Калибровкой, 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 СИ) и поверяемого СИ. Если при поверке вводят поправки для исключения систематической погрешности (см. п. 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 СИ осуществляют в соответствии с поверочной схемой, устанавливающей систему передачи ФВ от государственного эталона рабочим СИ.

Поверочная схема СИ – это нормативный документ, устанавливающий соподчинение СИ, участвующих в передаче размера единицы от эталона рабочим СИ с указанием методов и погрешностей при передаче.

Различают поверочные схемы государственные и локальные.

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

Локальная поверочная схема – поверочная схема, распространяющаяся на СИ данной ФВ, применяемые в регионе, отрасли, ведомстве или на отдельном предприятии (в организации). Локальная поверочная схема утверждается руководителем предприятия или организации, в которых используется данная поверочная схема, по согласованию с органами государственной метрологической службы, осуществляющими для них поверку исходных эталонов, включенных в поверочную схему.

Структура государственной поверочной схемы приведена на рис. 3.2. Наименование эталонов и рабочих СИ расположены в прямоугольниках (для государственного эталона прямоугольник двухконтурный). Здесь же указаны метрологические характеристики для данной ступени схемы. В нижней части схемы расположены рабочие СИ, 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. Наименование методов поверки расположены в овалах, в которых также указывается допускаемая погрешность метода поверки.

Правила построения поверочных схем и оформления чертежей поверочных схем приведены в ГОСТ 8.061 «ГСИ. Поверочные схемы. Содержание и построение».

На рис. 3.3 приведен пример локальной поверочной схемы для средств измерения длины микрометрическими инструментами и штанген-инструментами.

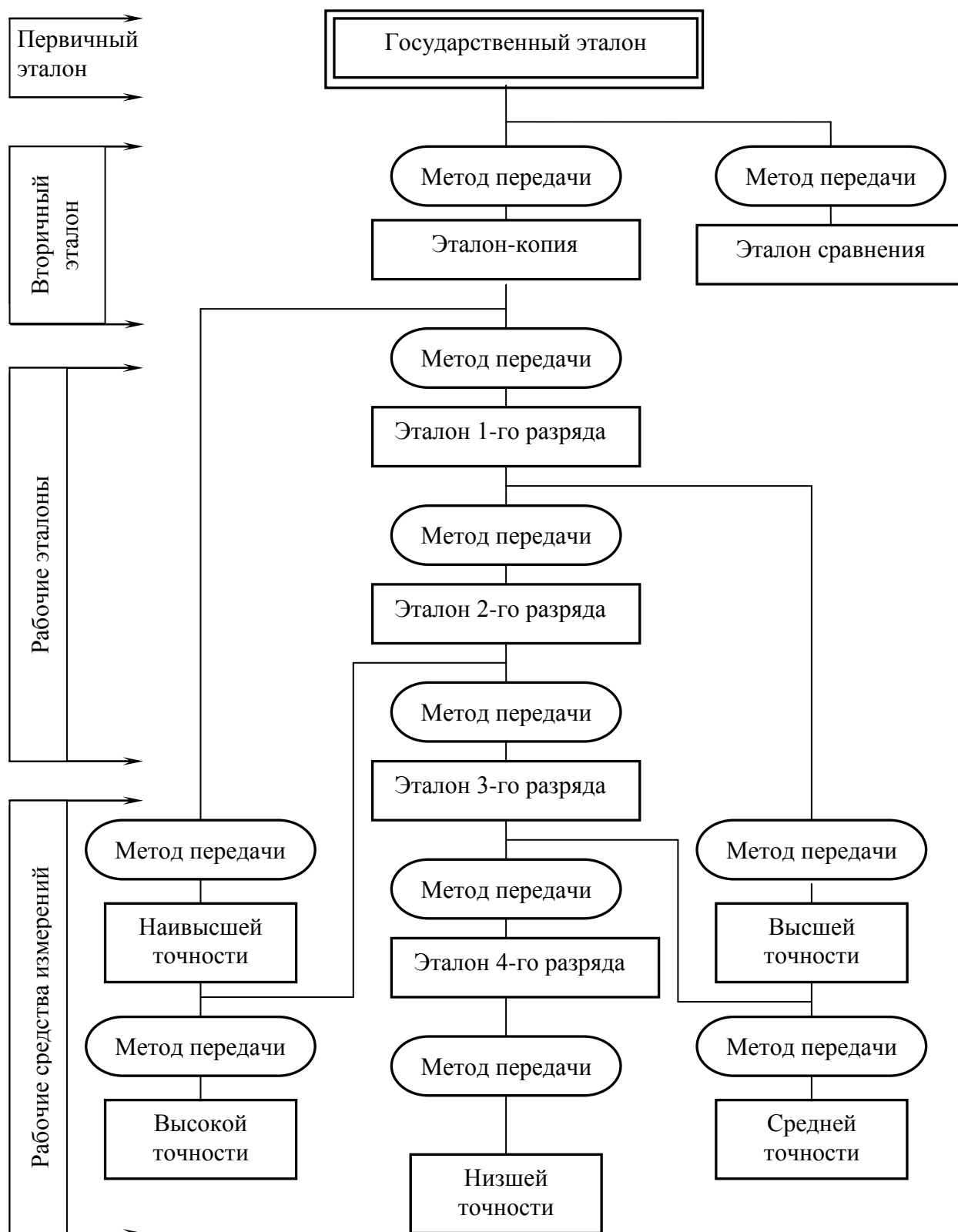


Рис. 3.2. Общий вид государственной поверочной схемы

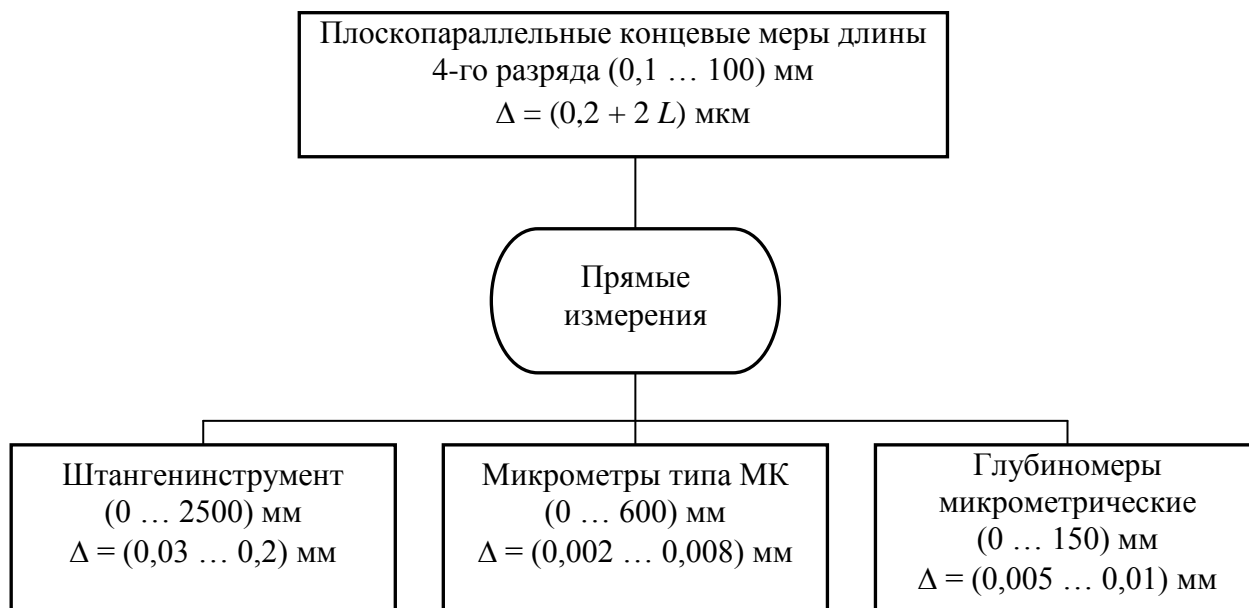


Рис. 3.3. Локальная поверочная схема для средств измерения длины:

Δ – погрешность СИ, L – числовое значение длины в метрах

3.4. Калибровка средств измерения

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

Калибровка средств измерения – совокупность операций, устанавливающих соотношение между значением величины, полученным с помощью данного СИ и соответствующим значением величины, определенным с помощью эталона с целью определения действительных метрологических характеристик этого СИ.

Результаты калибровки позволяют определить действительные значения измеряемой величины, показываемые СИ, 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 СИ, или свидетельством о калибровке, а также записью в эксплуатационных документах. Свидетельство о калибровке представляет собой документ, удостоверяющий

факт и результаты калибровки СИ, который выдается организацией, осуществляющей калибровку.

Первое отличие калибровки от поверки, как это следует из определений, – неустановленность ее исполнителя. Второе отличие состоит в том, что поверка должна дать однозначный ответ о соответствии или несоответствии СИ установленным требованиям, а калибровка предусматривает определение действительных значений метрологических характеристик и (или) пригодности СИ к применению. На основе результатов калибровки СИ 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.

Основные направления деятельности РСК:

- регистрация органов, осуществляющих аккредитацию метрологических служб юридических лиц на право проведения калибровочных работ;
- аккредитация метрологических служб юридических лиц на право проведения калибровочных работ;
- калибровка СИ;
- 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 [9]

В состав РСК входят:

- метрологические службы юридических лиц, аккредитованные на право калибровки СИ с использованием эталонов, подчиненных государственным эталонам единиц величин;
- государственные научные метрологические центры (метрологические институты Ростехрегулирования России) и органы Государственной метрологической службы, зарегистрированные в РСК как аккредитующие органы, имеющие право аккредитовывать метрологические службы юридических лиц на право калибровки СИ;
- Ростехрегулирование РФ, являющееся центральным органом РСК, координирующим деятельность субъектов РСК;

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

– совещательный орган РСК – Совет РСК, образованный Ростехрегулированием России 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 Государственной метрологической службы 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 СИ, применяемые при калибровке в соответствии с установленными правилами. Они призваны обеспечить передачу размера единиц от государственных эталонов калибруемым СИ;

– актуализированные документы, регламентирующие организацию и проведение калибровочных работ. К ним относятся документ на область аккредитации, документация на СИ и калибровки, нормативные документы ГСИ на калибровку, процедуры калибровки и использования ее данных;

– профессионально подготовленный и квалифицированный персонал;

– помещения, удовлетворяющие нормативным требованиям.

Результаты калибровки удостоверяются калибровочным знаком, наносимым на СИ, или свидетельством о калибровке, а также записью в эксплуатационные документы.

Контрольные вопросы

1. В чем заключается воспроизведение единицы ФВ?
2. Что такое эталон единицы ФВ?
3. Какими признаками должен обладать эталон?
4. Назовите основные виды эталонов.
5. Опишите государственные эталоны длины и массы.

6. Для чего предназначена поверочная схема?
7. Какие поверочные схемы различают?
8. Что такое поверка СИ?
9. Назовите основные способы и методы поверки.
10. Какие соотношения используют между допускаемыми погрешностями образцового (эталона) и поверяемого СИ?
11. Назовите виды поверок.
12. Что такое калибровка СИ?
13. В чем отличие между поверкой и калибровкой СИ?
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 измерением 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. Первая аксиома метрологии относится к ситуации перед измерением и говорит 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. Вторая аксиома метрологии относится к процедуре 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. Третья аксиома метрологии 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. Вследствие 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 – совокупность операций по применению технического средства, хранящего единицу ФВ, обеспечивающих нахож-

дение 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 делятся на технические и метрологические.

Технические измерения проводятся рабочими СИ, как правило, в производственных условиях.

Метрологические измерения выполняются при помощи эталонов с целью воспроизведения единиц ФВ для передачи их размера рабочим СИ. Например, измерения при поверке СИ.

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

В практике наиболее часто используют прямые измерения.

Прямое измерение – измерение, при котором искомое значение ФВ находят непосредственно по показаниям СИ. Уравнение измерения имеет 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

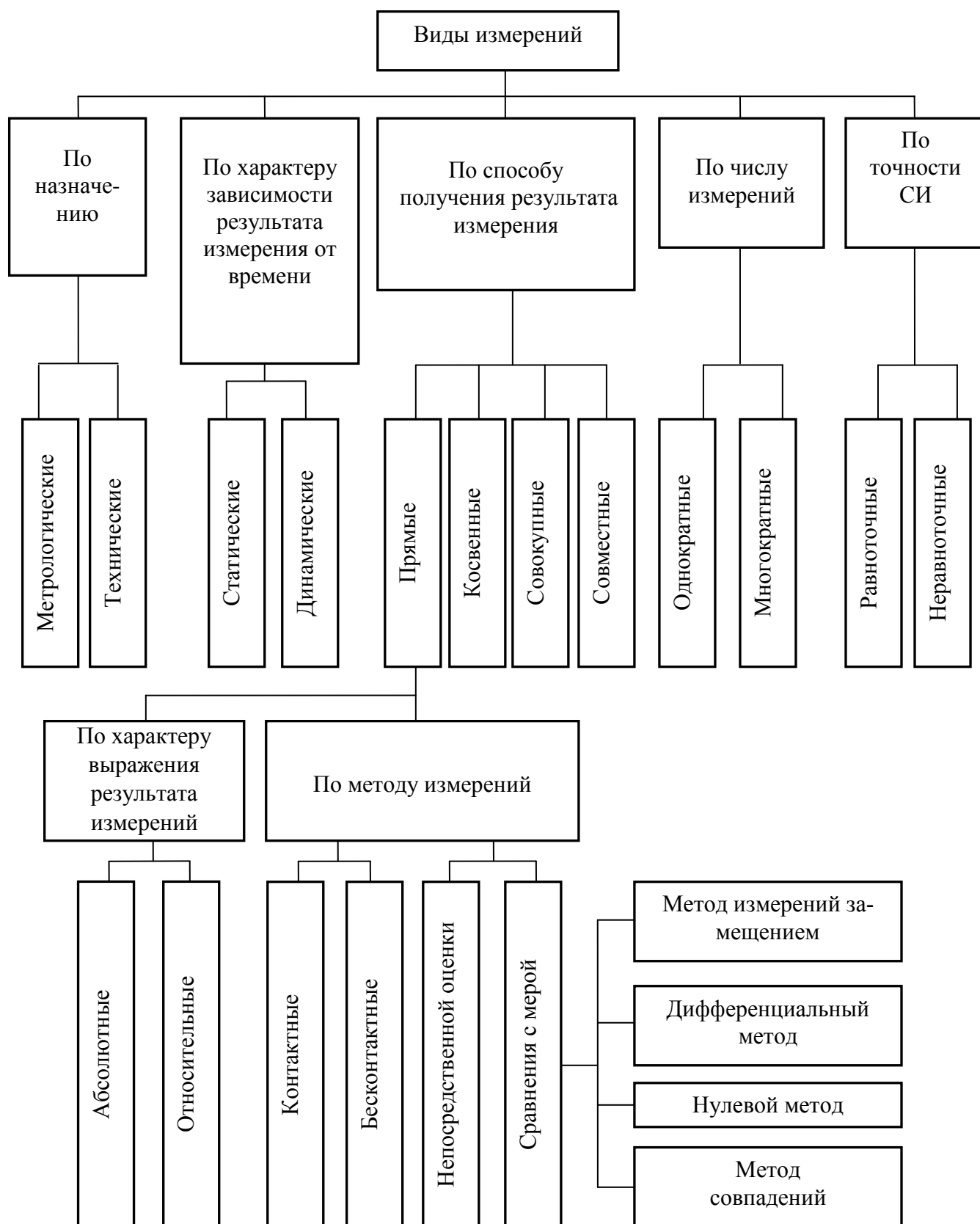


Рис. 4.1. Классификация измерений по видам

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.

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 термопарой температуры печи при закалке детали с фиксацией результатов по шкале самописца.

В зависимости от характера выражения результата измерения разделяются на абсолютные и относительные.

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 как определение величины в ее единицах.

Примером абсолютных измерений может служить определение штанген-инструментом длины или диаметра детали в мм, 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 как теоретическое обоснование принципов измерения, так и разработка приемов применения СИ. Метод измерения определяется устройством СИ.

Для оптимального решения измерительной задачи важна классификация методов измерений по совокупности приемов и принципов использования СИ. 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 СИ, которое проградуировано в соответствующих единицах. Измерения этим методом проводятся быстро и просто и не требуют высокой классификации 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) СИ 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, незначительно отличающееся от значения измеряемой величины, и при котором измеряют разность между этими двумя величинами.

Примером дифференциального метода является определение линейного размера детали на оптиметре или с помощью измерительной головки, установленной на штативе, после настройки прибора на нуль по блоку концевых мер

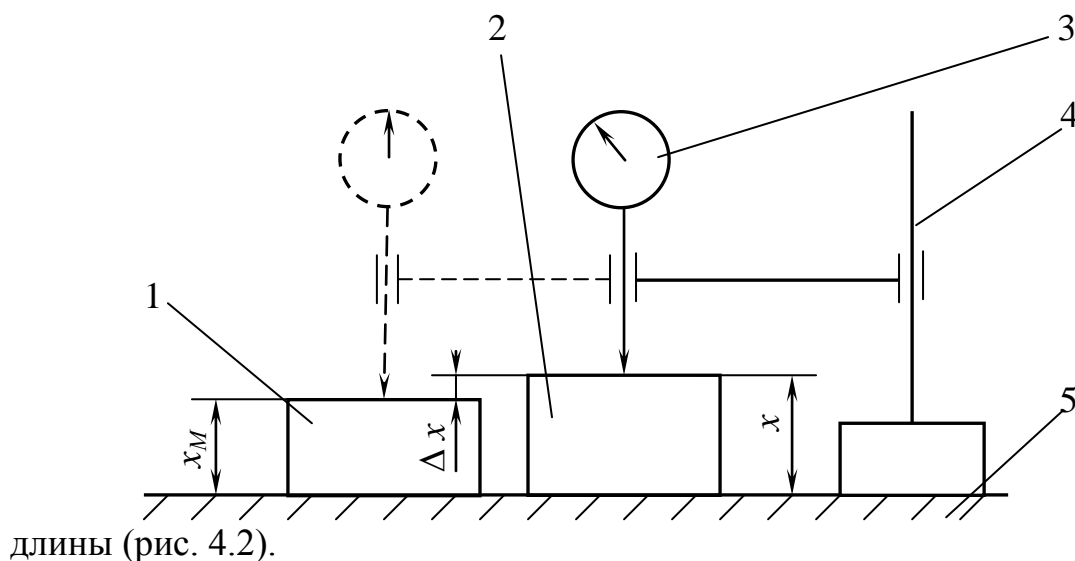


Рис. 4.2. Схема измерения линейного размера детали дифференциальным методом (сравнением с мерой): 1 – блок концевых мер длины, 2 – измеряемая деталь, 3 – измерительная головка, 4 – штатив, 5 – поверочная плита

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 уравнивания) – 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).

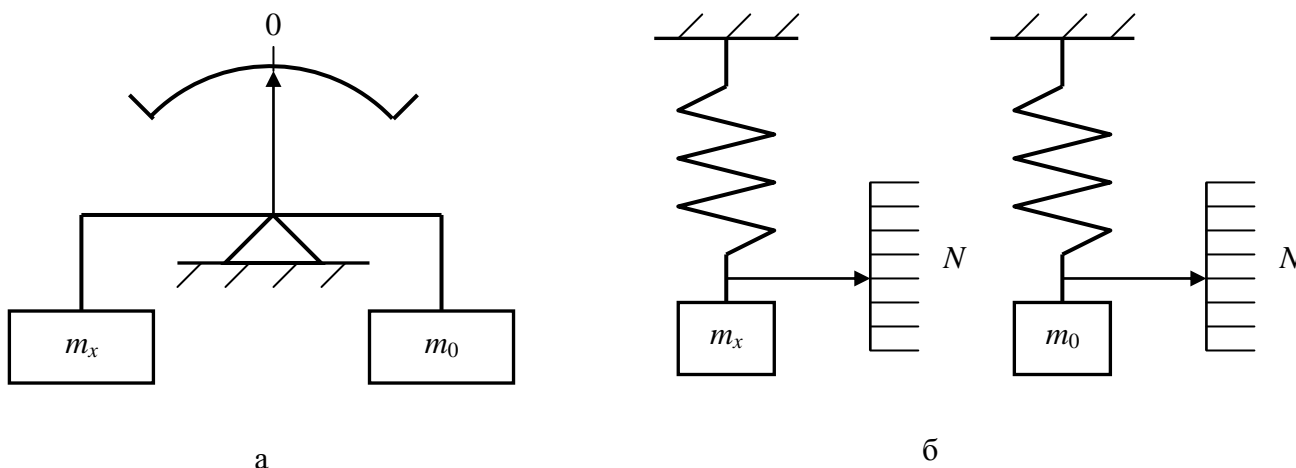


Рис. 4.3. Схемы взвешивания: а – по нулевому методу; б – по методу замещения

Метод замещения заключается в том, что измеряемую величину замещают в измерительной установке некой известной величиной, воспроизводимой мерой. Преимущество метода замещения заключается 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. В этом случае $m_x = m_0$.

В методе совпадений разность между измеряемой величиной и величиной воспроизводимой мерой измеряют, используя совпадение 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 принятой модели и метода измерения, заметно не сказывалось на результирующей погрешности измерения. Как правило, методическая погрешность не должна превышать 30 % от суммарной погрешности измерения [17]. При выборе метода измерения необходимо учитывать и экономические соображения: чрезмерное завышение точности метода измерения, как правило, приводит к необоснованным затратам.

По связи с объектом различают контактный и бесконтактный метод измерений.

Контактный метод измерений - метод измерений, основанный на том, что чувствительный элемент прибора приводится в контакт с объектом измерений. Например, измерение диаметра отверстия нутромером.

Бесконтактный метод измерений - метод измерений, основанный на том, что чувствительный элемент прибора не приводится в контакт с объектом измерений. Например, измерение параметров шероховатости поверхности с помощью микроинтерферометра.

При обработке результатов измерений важно знать, является ли измерение однократным или многократным, равноточным или неравноточным.

Однократное измерение - измерение, выполненное один раз. Например, измерение конкретного момента времени по часам.

Многократное измерение - измерение ФВ одного и того же размера, результат которого получен из нескольких следующих друг за другом измерений, т.е. состоящее из ряда однократных измерений.

Равноточные измерения - ряд измерений какой-либо величины, выполненных одинаковыми по точности СИ 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 (ошибкой), 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 – это значение ФВ, которое идеальным образом характеризует в качественном и количественном отношении соответствующую ФВ. Оно не зависит от средств нашего познания и является той абсолютной истиной, к которой мы стремимся, пытаясь выразить ее в виде числового значения. Поскольку «истинное значение» получить невозможно, то на практике его заменяют «действительным значением».

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

Результат измерения ФВ – значение ФВ, полученное путем ее измерения.

Погрешность результата измерения (погрешность измерения) – 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. Поэтому любая классификация погрешностей измерения, в том числе и приведенная в данном пособии, является достаточно условной.

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

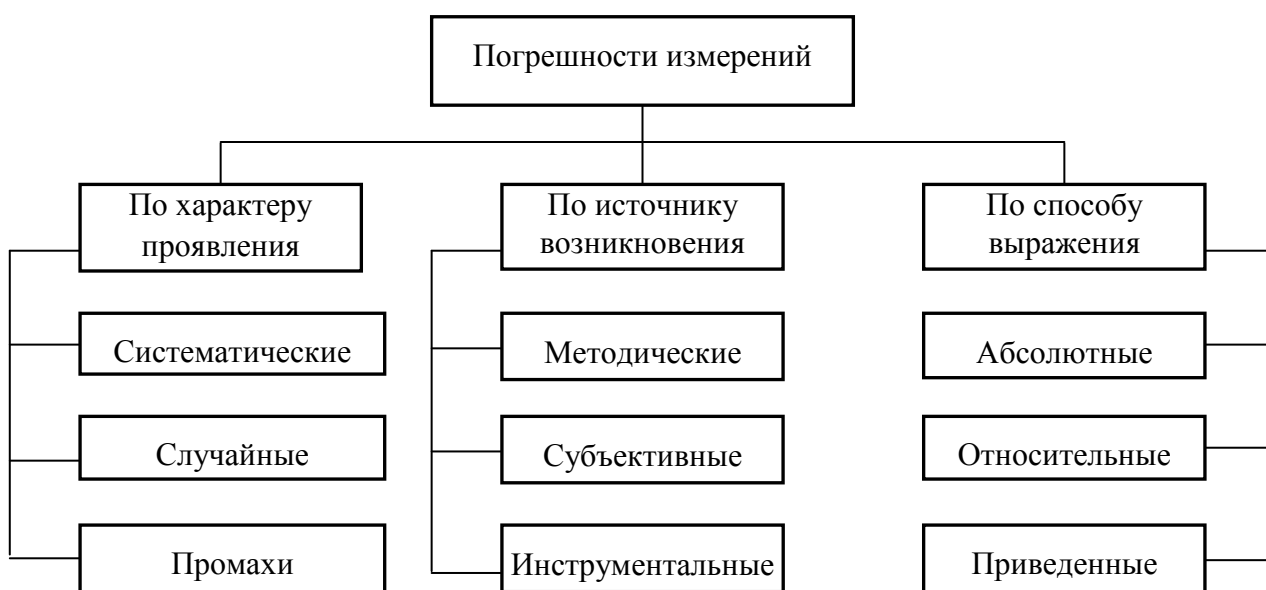


Рис. 4.4. Классификация погрешностей измерения

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

Абсолютную погрешность определяют как разность $\Delta = x - x_d$, 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, например, различных размеров. Например, погрешность измерения $\Delta = 0,01$ мм при измерении длины $L = 100$ мм соответствует достаточно высокой точности измерений, а при $L = 1$ мм – низкой.

Относительная погрешность – это погрешность измерения, выраженная отношением абсолютной погрешности измерения к действительному или истинному значению измеряемой величины.

Относительную погрешность в долях или в процентах находят из отношений:

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

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 так же ранжировать погрешности измеряемой величины с различными размерностями и числовыми значениями.

Однако относительная погрешность измерения не может быть использована для нормирования погрешности некоторых СИ (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 СИ, т.е.

$$x_N = x_{max}.$$

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

Систематическая погрешность измерения – 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 СИ при отклонении температуры от нормальной области значений. Примером сис-

тематической переменной погрешности, закономерно изменяющейся при повторных измерениях одной и той же ФВ, (рис. 4.5) является погрешность, например, вызванная износом измерительного наконечника СИ при контактных измерениях.

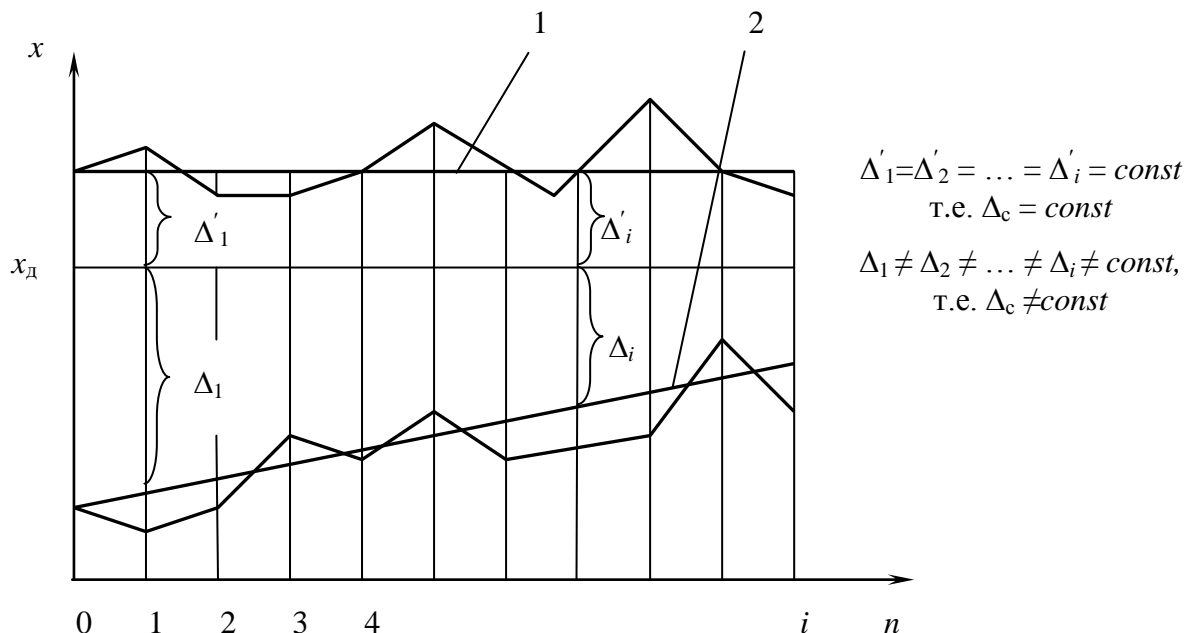


Рис. 4.5. Систематические погрешности Δ_c : 1 – постоянная, 2 – переменная; n – номер повторяемого измерения; Δ_i и Δ'_i – систематические погрешности i -го измерения

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 систематических случайные погрешности нельзя исключить из результата измерения путем введения поправок, однако их можно существенно уменьшить путем увеличения числа единичных измерений. Причин вызывающих случайные погрешности большое количество. К ним относятся такие как, 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 СИ, метод измерения и оператор, проводящий измерения. В связи с этим в зависимости от источника возникновения различают инструментальные, методические и субъективные погрешности.

Инструментальная погрешность измерения – это составляющая погрешности измерений, обусловленная погрешностью применяемого СИ.

Погрешность метода измерения (методическая погрешность измерения) – это составляющая систематической погрешности измерений, обусловленная несовершенством принятого метода измерений.

Она обусловлена: ограниченной точностью расчетных формул, положенных в основу измерений; влиянием приема использования СИ; экстраполяцией 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 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 СИ 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. Поэтому 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]:

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

Δ_1 – погрешность СИ; 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 $\Delta_1 - \Delta_5$.

Под погрешностями $\Delta_1 - \Delta_4$ понимают предельную погрешность, включающую неисключенную систематическую и случайную составляющие. Погрешность СИ Δ_1 :

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

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

Методическую погрешность измерения Δ_2 можно определить по 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, например, 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

$$\Delta_3 = \Delta_t = \sqrt{\Delta_{t_1}^1 + \Delta_{t_2}^2}, \quad (4.8)$$

где Δ_{t_1} , Δ_{t_2} – соответственно систематическая и случайная погрешность от температурных деформаций:

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

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

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 СИ и объекта измерения; α_{max} – максимальный по величине коэффициент линейного расширения (материала элемента СИ или объекта измерения).

Погрешность от чрезмерного измерительного усилия Δ_4 вызвана упругими деформациями установочных узлов СИ 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. СИ 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 СИ, 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 $\varnothing 80 \text{ н}6 \left(\begin{smallmatrix} +0,039 \\ +0,020 \end{smallmatrix} \right)$ вкладыша из антифрикционного алюминиевого сплава предусмотрена скоба рычажная СР100 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 минут 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.

Необходимо 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 $\varnothing 80 \text{ н6}$ в соответствии с ГОСТ 8.051 составляет 5 мкм (см. приложение 3).

1. В соответствии с РД 50-98-86 [4] предельная погрешность измерения $\varnothing 80$ 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, определяем 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].

$$\text{Тогда} \quad \Delta_{t_1} = 80 \cdot 5 (0,011 - 0,024) = 5,2 \text{ мкм},$$

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

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

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

3. Погрешность измерения определяем по формуле 4.5

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

Таким образом погрешность измерения $\varnothing 80 \text{ н6}$ скобой рычажной $\Delta = 5,4$ мкм больше допускаемой погрешности измерения $\delta = 5,0$ мкм, что недопус-

тимо. 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 введением 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 СИ. Снизить погрешность измерения можно путем устранения влияния колебания температуры (например, термоизоляцией), вибраций и т.п.

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

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 **исправленный результат 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 СИ.

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 СИ, 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. Необходимо определить поправку, которую необходимо внести в показания прибора, используя набор плоскопараллельных концевых мер длины. Такой же результат (25,75 мм) получаем при измерении штангенциркулем блока концевых мер размером $x_M = 25,65$ мм.

Тогда $x = 25,65$ мм, а систематическая погрешность штангенциркуля равна

$$\Delta_c = 25,75 - 25,65 = 0,1 \text{ мм.}$$

Таким образом, поправка, которую необходимо ввести в показания штангенциркуля

$$\Delta_n = -\Delta_c = -0,1 \text{ мм.}$$

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

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

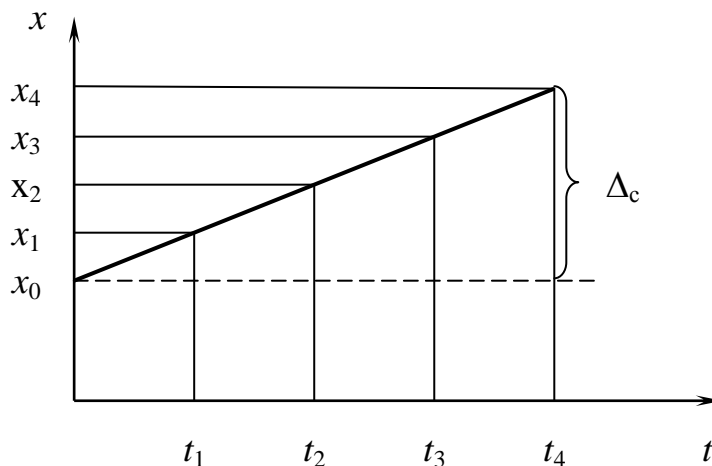


Рис. 4.6. Линейное изменение систематической погрешности

Способ последовательных разностей предусматривает определение дисперсии результатов измерений двумя способами:

– обычным

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

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

– вычислением суммы квадратов последовательных (в порядке последовательности измерений) разностей $(x_{i+1} - x_i)^2$

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

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 значения 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.

Таблица 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 табл. 4.2 приведены результаты измерений через равные промежутки времени диаметра отверстия нутромером индикаторным. Используя способ последовательных разностей, необходимо определить присутствие в ряду измерений систематической погрешности.

1. Среднее арифметическое значение измеряемой величины

$$\bar{x} = \frac{352,44}{11} = 32,04 \text{ мм.}$$

2. Оценку дисперсии определяем по формуле (4.15)

$$S_x^2 = \frac{0,0032}{10} = 0,0003 \text{ мм.}$$

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
4	32,02	−0,01	0,0001	−0,02	0,0004
5	32,04	+0,01	0,0001	0,0	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. Определяем значение Q^2 по формуле (4.16)

$$Q^2 = \frac{0,0043}{20} = 0,0002 \text{ мм.}$$

4. Рассчитываем критерий Аббе по формуле (4.17)

$$V = \frac{0,0002}{0,0003} = 0,67.$$

5. Так как для всех уровней значимости $V > V_q$ (в соответствии с табл. 4.1 для $n = 11$ $V_{0,001} = 0,26$; $V_{0,01} = 0,40$; $V_{0,05} = 0,55$), 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 $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$. 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

№ 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

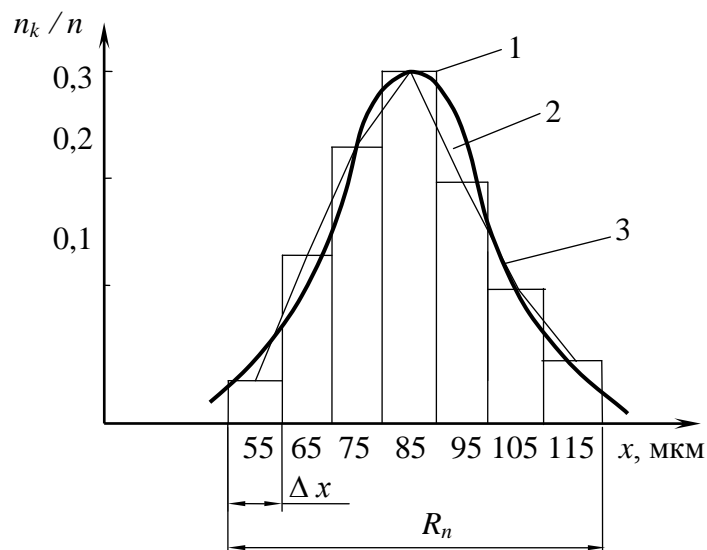


Рис. 4.7. Гистограмма (1), практическая (2) и теоретическая (3) кривые распределения

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 означает, 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 $3f(x)$ (см. рис. 4.7), называемую кривой плотности распределения вероятностей случайной величины, а уравнение описывающие её – дифференциальным законом распределения (в нашем 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 даёт 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 её 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 выражается 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 выражений

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

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

Значение m_x характеризует положение центра группирования случайных величин, около которого располагаются, например, результаты единичных измерений. При отсутствии 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 её 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 4), 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.

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

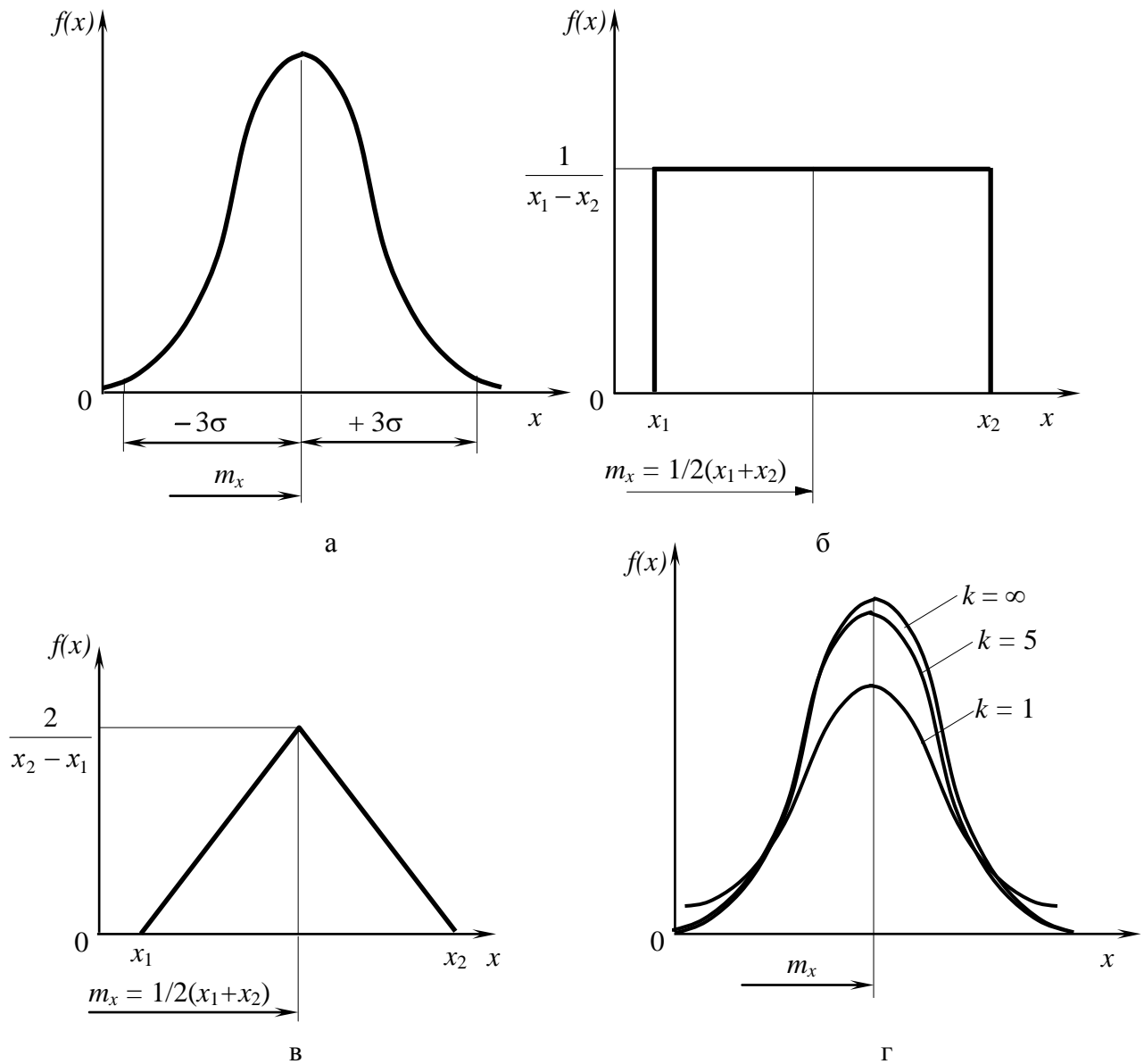


Рис 4.8. Распределения случайной величины: а – нормальное (Гаусса);
б – равномерное; в – равнобедренного треугольника (Симпсона);
г – Стьюдента при числе степеней свободы $k = n - 1$, равных 1,5 и ∞

$$\Phi_0(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^z e^{-0,5z^2} dz. \quad (4.23)$$

Для нее справедливы следующие равенства:

$$\begin{aligned} \Phi_0(0) &= 0; \quad \Phi_0(-z) = -\Phi_0(z); \\ \Phi_0(-\infty) &= -0,5; \quad \Phi_0(+\infty) = 0,5. \end{aligned}$$

Значения функции Лапласа $\Phi_0(z)$ приведены в приложении 1. Используя эти значения, можно определить вероятность того, что случайная величина x находится в пределах интервала $m_x \pm Z\sigma$. 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 квантования^{*)} в цифровых приборах, округления при расчетах, показаний стрелочных СИ.

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.

^{*)} Дискретное (скачкообразное) изменение измеряемой величины на выходе прибора при плавном изменении входной величины.

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

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

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. Поэтому 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 числа 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, определение 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 x_i – результат i -го единичного измерения; n – количество единичных измерений.

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 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, повторив заново серию единичных измерений этой же величины, мы получили бы новое значение среднего арифметического \bar{x} . Повторив многократно серии измерений и, вычисляя каждый раз их среднее арифметическое значение, принимаемое за результат измерений, мы убедимся 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 стремится 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).

СКП 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

(4.37)

$$S_{x\Sigma}^2 = \sum_{i=1}^n S_{x_i}^2.$$

СКО 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 называют такие погрешности, которые вызваны одной общей причиной, например, изменением температуры или вибрациями. Обычно принимают коэффициент корреляции равным $\pm 1,0$ и СКО суммируются 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_H до x_B

$$P \{x_H < x < x_B\} = 1 - q,$$

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, доверительный интервал симметричен относительно точечной оценки \bar{x} и определяется из таблиц значений интегральной функции Лапласа $\Phi_0(z)$:

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

где z_p – аргумент функции Лапласа $\Phi_0(z)$, отвечающий вероятности $P/2$. Величина $\pm z_p S_{\bar{x}}$ называется доверительными границами 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, $S_x = 0,13$ мм. Необходимо определить доверительный интервал результата измерений, если закон распределения – нормальный, а доверительная вероятность $P = 0,95$.

1. По формуле (4.36) находим СКП результата измерений среднего арифметического

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

2. По таблице, приведенной в приложении 1, находим для

$$\frac{P}{2} = \Phi_0(z_p) = 0,475 \text{ аргумент функции Лапласа } z_p = 1,96.$$

Следовательно, доверительный интервал результата измерений

$$(19,95 - 0,02 \cdot 1,96) < x < (19,95 + 0,02 \cdot 1,96) \text{ мм}$$

или

$$19,91 \text{ мм} < x < 19,99 \text{ мм.}$$

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. Поэтому, при ограниченном числе измерений, определяя доверительный интервал, рекомендуется определять его с использованием распределения 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 равна

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

где $f(t)$ – функция распределения Стьюдента (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. п. 5.1).

4.5. Выбор характеристик погрешности

Используемые в метрологии и технических измерениях характеристики погрешности измерений 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, фиксируемым 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, являются их информативность. Указанным требованиям удовлетворяют рассмотренные выше 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 сигма»**. 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_T определяют по табл. 4.4.

Таблица 4.4

Значения $\beta_T = f(n, q)$ [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 $\beta \geq \beta_T$ результат измерения x_i исключают («отбрасывают»), так как этот результат является промахом.

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

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

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

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

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 $n = 12$. Последний результат $x_{12} = 12,80$ мм вызывает сомнение. Принимаем $P = 0,95$, тогда $q = 1 - P = 0,05$.

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

$$\beta = \frac{|\bar{x} - x_{12}|}{S} = \frac{|12,38 - 12,80|}{0,15} = 2,8.$$

Для $n = 12$ и $q = 0,05$ $\beta_T = 2,52$ (см. табл. 4.4). То есть $\beta \geq \beta_T$ и результат $x_i = x_{12} = 12,80$ мм необходимо «отбросить», так как он является промахом.

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

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 $n = 6$. Первый результат $x_1 = 30,12$ мм вызывает сомнение.

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

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

что больше, чем $1,7 S = 0,146$ 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. Последний результат вызывает сомнения.

Для крайнего члена этого ряда (15 мкм) критерий Диксона

$$K_D = \frac{15 - 12}{15 - 10} = 0,6.$$

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

4.7. Правила округления и записи результатов измерений [3]

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

Пример 4.9. 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

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

2. Погрешность, возникающая в результате вычислений, не должна превышать 10 % суммарной погрешности измерений. Поэтому, 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. При определении числа знаков при вычислении погрешностей измерений следует учитывать, что погрешность определения значения погрешности достаточно велика, порядка 30 % при $n = 10$ и порядка 15 % при $n = (20 - 25)$, поэтому, при $n \leq 10$ следует оставлять одну значащую цифру, если она больше 3-х, и две, если первая из них меньше 4-х.

Пример 4.11. Если $n = 10$, $S_{\bar{x}} = 0,523$ оставляем значения $S_{\bar{x}} = 0,5$; если при $n = 10$ $S_{\bar{x}} = 0,253$ оставляем значения $S_{\bar{x}} = 0,25$.

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

Контрольные вопросы

1. Сформулируйте основные аксиомы метрологии.
2. Дайте определение измерения ФВ.
3. Назовите основные виды измерений.
4. Назовите основные методы измерений.
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. Назовите критерии для исключения промахов.
16. Дайте определение исправленного результата измерения.
17. Приведите формулы для суммирования скорректированных и нескорректированных погрешностей.
18. В каких случаях для расчета доверительного интервала результата измерения используют распределение Стьюдента?
19. Назовите основные характеристики погрешностей измерения, область их применения.
20. Назовите 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 $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$, 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 следующие этапы:

- исключение из результатов измерений известных систематических погрешностей;
- вычисление среднего арифметического значения \bar{x} измеряемой величины из n единичных результатов;
- вычисление средней квадратической погрешности единичных измерений в ряду измерений S_x ;
- исключение промахов (грубых погрешностей измерений);
- вычисление средней квадратической погрешности результата измерений среднего арифметического $S_{\bar{x}}$;
- проверку гипотезы о принадлежности результатов измерений нормальному закону;
- вычисление доверительных границ случайной погрешности результата измерений $\pm \varepsilon$;
- вычисление доверительных границ неисключенной систематической погрешности результата измерений $\pm \theta$;
- вычисление доверительных границ погрешности результата измерений $\pm \Delta$;

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

Известные систематические погрешности исключают введением в результат измерений соответствующих поправок, численно равных систематическим погрешностям, но противоположным им по знаку (см. п. 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} определяют по формуле (4.33).

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

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

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

Гипотезу о принадлежности результатов измерений нормальному закону проверяют с помощью критериев ω^2 или χ^2 , если число измерений $n > 50$; если $15 < n < 50$, используют составной критерий [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)

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 формуле

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

Доверительные границы неисключенной систематической погрешности измерения, если можно выделить ее составляющие θ_j , определяют 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 неисключенной систематической погрешности; θ_j – границы j -ой составляющей этой погрешности.

Таблица 5.2

Значения коэффициента k (ГОСТ 8.207)

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 неисключенной систематической погрешности принимают той же, что и при вычислении доверительных границ случайной погрешности результата измерения.

В соответствии с ГОСТ 8.207, суммирование неисключенной 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 пренебрегают* и принимают, что доверительные границы погрешности результата измерения $\Delta = \varepsilon$.

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

2. Если отношение $\frac{\theta}{S_{\bar{x}}} > 8,0$, то случайной погрешностью по сравнению с неучтенной систематической пренебрегают* и принимают, 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 СИ $\Delta_{\text{СИ}}$, 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 разделе 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 $\varnothing 30 h9_{(-0,052)}$ 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. Необходимо определить, является ли результат $x_1 = 29,94$ мм промахом, найти и записать в стандартной форме результат измерений (доверительная вероятность $P = 0,95$).

1. Определяем среднее арифметическое значение измеряемой величины

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

2. Определяем СКП единичных измерений

$$S_x = \sqrt{\frac{1}{7-1} (0,024^2 + 0,014^2 + 0,004^2 + 0,006^2 + 0,006^2 + 0,016^2 + 0,016^2)} = 0,015 \text{ мм.}$$

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

$$\beta = \frac{|29,964 - 29,94|}{0,015} = 1,6.$$

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

4. Определяем СКП результата измерений среднего арифметического значения

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

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

$$\varepsilon = \pm 2,447 \cdot 0,0057 = \pm 0,014 \text{ мм.}$$

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 пренебрегаем и принимаем доверительные границы погрешности результата измерений

$$\Delta = \varepsilon = \pm 0,014 \text{ мм.}$$

7. Результат измерений записываем 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 неравноточных 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 неравноточных измерений.

Тогда при неравноточных измерениях с весами результатов равноточных измерений g_i в качестве результата принимают *среднее взвешенное значение* величины, определяемое по формуле

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

где \bar{x}_i – среднее арифметическое ряда равноточных измерений:

$$\begin{aligned}
 \bar{x}_1 &= \frac{1}{n_1} \sum_{j=1}^{n_1} x_{1j}; \\
 \bar{x}_2 &= \frac{1}{n_2} \sum_{j=1}^{n_2} x_{2j}; \\
 &\dots\dots\dots \\
 \bar{x}_i &= \frac{1}{n_i} \sum_{j=1}^{n_i} x_{ij}; \\
 \bar{x}_m &= \frac{1}{n_m} \sum_{j=1}^{n_m} x_{mj},
 \end{aligned}
 \tag{5.8}$$

где x_j – единичное измерение в ряду равноточных измерений ($j = 1, 2, \dots, n$);
 n_1, n_2, \dots, n_m – число измерений в i -м ряду равноточных измерений ($i = 1, 2, \dots, m$);
 m – число рядов равноточных измерений ($i = 1, 2, \dots, m$).

Вес результата i -го ряда равноточных измерений определяют по формуле

$$g_i = \frac{n_i}{S_{x_i}^2} C, \tag{5.9}$$

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

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

СКП результата измерений среднего взвешенного значения $S_{\bar{x}_B}$ определяют по формуле

$$S_{\bar{x}_B} = \sqrt{\frac{C}{\sum_{i=1}^m g_i}}. \tag{5.10}$$

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

Пример 5.2. Произведены три серии измерений одного и того же диаметра вала $\varnothing 16 \text{ h9}_{(-0,043)}$ СИ различной точности: микрометром гладким, микро-

метром 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. Необходимо найти и записать в стандартной форме результат измерений.

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

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

Учитывая, что $g_1 + g_2 + g_3 = 1,0$, находим $C = \frac{1}{0,5 + 2 + 0,22} = 0,368$. 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. Определяем по формуле (5.7) среднее взвешенное значение средних арифметических

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

3. Определяем по формуле (5.10) СКП результат измерений среднего взвешенного значения

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

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

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

5. Учитывая, что неучтенные систематические погрешности отсутствуют, принимаем $\Delta = \varepsilon$ и результат измерений записываем в виде

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

Для проверки равноточности двух рядов измерений используют дисперсионный критерий Фишера [15]. 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 – соответственно число измерений в первом и во втором ряду измерений, 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.

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

Критерий Фишера $F = \frac{0,6^2}{0,2^2} = 9$. Полученное значение F больше $F_q = 3,44$

для $q = 0,05$ и $k_1 = k_2 = 8$ (см. приложение 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 СИ 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 слу-

чайные 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 СИ соответствуют установленным нормам.

При однократных измерениях возможно образование инструментальной, методической и субъективной погрешностей. Если последние две погрешности не превышают 15 % погрешности СИ, тогда погрешность измерения принимают равной погрешности используемого СИ [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 СИ $\Delta_{СИ}$, определяемой по нормативно-технической документации. Тогда результат измерения записывают в виде

$$A = x_{СИ} \pm \Delta_{СИ} ; P, \quad (5.12)$$

где $x_{СИ}$ – результат (среднее арифметическое значение из 2-3 единичных измерений), зафиксированный СИ.

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. п. 6.2).

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

Среднее арифметическое измеряемого размера $x_{СИ} = 50,15$ 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

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

где b_i – постоянные коэффициенты.

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

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

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 $S(\bar{a}_i)$ – среднее квадратическое отклонение 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

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

где t_p – коэффициент Стьюдента, соответствующий доверительной вероятности P и числу степеней свободы f , вычисляемому по формуле

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

где 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 $S_{\bar{A}}$, а неисключенную погрешность определяют по 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 $\Delta a_i = a_i - \bar{a}_i$ – отклонение единичного результата измерения от его среднего арифметического значения; $\frac{\partial f}{\partial a_i}$ – первая производная от функции f по аргументу a_i , вычисляемая в точке $f(\bar{a}_1, \bar{a}_2, \dots, \bar{a}_m)$; 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 $S(\bar{a}_i)$ – среднее квадратическое отклонение случайных погрешностей результата измерений a_i -го аргумента.

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

Результат измерений вычисляют по 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 вычисляют 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 вычисляют 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 при косвенных измерениях с линейной зависимостью между оцениваемой величиной и измеряемыми аргументами.

Методика определения результата измерения при косвенных измерениях в случае, когда функция f представляет собой ряды отдельных значений измеряемых аргументов, а погрешности измерений аргументов коррелированы между собой подробно изложена в [2].

В технических измерениях для определения результата и погрешности измерения можно использовать более простой подход, основанный на методе математического программирования, сводящий аналитическую задачу к вычис-

лительной [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 $a = 30 \pm 0,005$ мм, 0,95; длина прилежащего катета $b = 64 \pm 0,005$ мм, 0,95.

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

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

$$\alpha_{min} = \arctg \frac{29,995}{64,005} = 26^{\circ}51';$$

$$\alpha_{max} = \arctg \frac{30,005}{63,995} = 26^{\circ}52'.$$

2. По формулам (5.24), (5.25) находим

$$\bar{\alpha} = (26^{\circ}51' + 26^{\circ}52')/2 = 26^{\circ}51'30'';$$

$$\Delta_{\bar{\alpha}} = (26^{\circ}51' - 26^{\circ}52')/2 = 30''.$$

3. Результат измерения запишем в виде

$$\alpha = 26^{\circ}51'30'' \pm 30'', 0,95.$$

Пример 5.6 [15]. Необходимо 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.

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

$$F_m = \frac{S_{m_2}^2}{S_{m_1}^2} = \frac{0,06^2}{0,04^2} = 2,25.$$

По приложению 2 находим критическое значение критерия Фишера 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 $F_V = 4,0 > F_q = 3,3$ (см. приложение 2), ряды измерений объема неравноточны.

Следовательно, среднее значение массы \bar{m} можно рассчитать как среднее арифметическое из масс двух образцов, т.е.

$$\bar{m} = \frac{\bar{m}_1 + \bar{m}_2}{2} = \frac{9,12 + 11,86}{2} = 10,49 \text{ г},$$

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 :

$$g_1 = \frac{n_{V_1} \cdot C}{S_{V_2}^2} = \frac{10 \cdot C}{(0,08)^2} = 0,16 \cdot 10^4 C;$$

$$g_2 = \frac{n_{V_2} \cdot C}{S_{V_1}^2} = \frac{12 \cdot C}{(0,04)^2} = 0,75 \cdot 10^4 C.$$

Полагая $g_1 + g_2 = 1$, находим

$$C = \frac{1}{(0,16 + 0,75) \cdot 10^4} = 1,1 \cdot 10^{-4} \text{ и } g_1 = 0,18; g_2 = 0,82.$$

Теперь, воспользовавшись формулой (5.7), определим

$$\bar{V}_B = \frac{g_1 \bar{V}_1 + g_2 \bar{V}_2}{g_1 + g_2} = \frac{0,18 \cdot 1,16 + 0,82 \cdot 1,56}{0,18 + 0,82} = 1,49 \text{ см}^2.$$

Следовательно, действительное значение плотности материала может быть оценено как

$$\bar{\rho} = \frac{\bar{m}}{\bar{V}_B} = \frac{10,49}{1,49} = 7,04 \text{ г/см}^3.$$

Определим теперь среднее квадратическое отклонение погрешности этой оценки. Для этого предварительно определим значения частных производных функции $\rho = m/V$ по ∂m и ∂V при $m = \bar{m}$ и $V = \bar{V}_B$:

$$\left(\frac{\partial \rho}{\partial m} \right)_0 = \frac{1}{\bar{V}_B} = \frac{1}{1,49} = 0,67 \frac{1}{\text{см}^3};$$

$$\left(\frac{\partial \rho}{\partial V} \right)_0 = -\frac{\bar{m}}{\bar{V}_B^2} = -\frac{10,49}{(1,49)^2} = -4,72 \frac{\text{г}}{\text{см}^6}$$

По формулам (4.37) и (5.10) дисперсии погрешностей оценок

$$S_m^2 = \frac{1}{4}(S_{m_1}^2 + S_{m_2}^2) = \frac{1}{4}\left(\frac{1}{n_{m_1}} \cdot S_{m_1}^2 + \frac{1}{n_{m_2}} \cdot S_{m_2}^2\right) = \frac{1}{4}\left(\frac{(0,04)^2}{16} + \frac{(0,06)^2}{12}\right) = 1 \cdot 10^{-4} \text{ г}^2;$$

$$S_{\bar{V}}^2 = \frac{C}{g_1 + g_2} = 1,1 \cdot 10^{-4} \text{ см}^6.$$

Теперь, воспользовавшись формулой 5.23, подсчитаем оценку среднего квадратического отклонение погрешности результата косвенных измерений

$$S_{\bar{p}} = \sqrt{(0,67)^2 \cdot 10^{-4} + (-4,72)^2 \cdot 1,1 \cdot 10^{-4}} = 0,05 \text{ г/см}^3.$$

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{p} были объединены четыре ряда результатов измерений – (m_1, m_2, V_1, V_2) , мы можем с вероятностью $P = 0,95$ утверждать, что действительное значение плотности материала, из которого изготовлены образцы, находится в пределах от $7,04 - 2 \cdot 0,05 = 6,94 \text{ г/см}^3$ до $7,04 + 2 \cdot 0,05 = 7,14 \text{ г/см}^3$.

Контрольные вопросы

1. Приведите методику обработки многократных прямых равноточных измерений.
2. В каком виде представляются результаты многократных измерений?
3. Как суммируются неисключенные систематические и случайные погрешности?
4. Как производится проверка равноточности измерений?
5. Приведите методику обработки многократных прямых неравноточных измерений.
6. Назовите условия, при которых возможны однократные измерения.
7. Приведите возможную форму записи результата однократного измерения.
8. Опишите методику обработки результатов косвенных измерений.

СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

6.1. Виды средств измерений

Технической основой метрологического обеспечения являются СИ. **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 СИ, 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 СИ от технического средства.

По метрологическому назначению СИ делятся на эталоны (см. п. 3.1) и рабочие СИ.

Рабочее средство измерений – это СИ, предназначенное для измерений, не связанных с передачей размера единицы другим СИ. Рабочее СИ предназначено для измерения размеров величин, необходимых в разнообразной деятельности человека.

Все СИ 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 [6]. Меры, воспроизводящие ФВ одного размера, называются **однозначными**. **Многозначные меры** могут воспроизводить ряд размеров ФВ, часто даже непрерывно заполняющих некоторый промежуток между определенными границами. 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 образцы 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 °С, золото – 1064,43 °С.

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 и т.д. разрядов). 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 термопары, усилители, преобразователи давления.

Измерительные преобразователи, как правило, входят в состав какого-либо измерительного прибора (измерительной установки, измерительной системы и др.) или применяются вместе с СИ. В состав большинства современных средств измерения и контроля линейных размеров, отклонений формы, расположения и шероховатости поверхностей деталей входят электроконтактные, пневмоэлектроконтактные, индуктивные, емкостные и др. 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 СИ, 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 с целью 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 системы 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 измерения

Для обеспечения единства измерений и взаимозаменяемости СИ характеристики их метрологических свойств (метрологические характеристик) нормируются и регламентируются стандартами. **Метрологическая характеристика СИ** – это характеристика одного из свойств СИ, влияющая на результат измерения и на его погрешность. Метрологические характеристики, устанавливаемые нормативно-техническими документами, называют **нормируемыми метрологическими характеристиками**, а определяемые экспериментально – **действительными метрологическими характеристиками**. На основании сравнения нормируемых и действительных метрологических характеристик дают заключение о пригодности СИ при поверке. Сравнение нормируемых метрологических характеристик различных СИ позволяет осуществить выбор необходимого СИ для конкретных условий измерения.

Номенклатура метрологических характеристик зависит от назначения СИ, условий и режимов эксплуатации и других факторов. Наиболее широко используемые в практике технических измерений метрологические характеристики СИ приведены в табл. 6.1.

Таблица 6.1

Метрологические характеристики средств измерения (по РМГ 29-99)

Метрологические характеристики		Примеры
Наименование	Определение	
1	2	3
Цена деления шкалы	Разность значений величины, соответствующих двум соседним отметкам шкалы СИ	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 СИ	См. рис. 6.1

Окончание табл. 6.1

1	2	3
Чувствительность средства измерений	Свойство СИ, определяемое отношением изменения выходного сигнала этого СИ к вызывающему его изменению измеряемой величины	Абсолютную чувствительность определяют по формуле $S = \Delta \ell / \Delta x,$ где $\Delta \ell$ – измерение сигнала на выходе, Δx – изменение измеряемой величины
Погрешность средства измерения	Разность между показанием СИ и истинным (действительным) значением измеряемой ФВ	—
Класс точности средства измерения	Обобщенная характеристика данного типа СИ, 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

Основной метрологической характеристикой СИ является его погрешность. На погрешность измерения и погрешность СИ большое влияние оказывают **условия измерений** [16] – совокупность влияющих величин, описывающих состояние окружающей среды, объекта и средства измерений. **Влияющая величина** – это ФВ, не измеряемая данным СИ, 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 СИ проявляется в изменении его метрологических характеристик.

В зависимости от диапазона значений влияющих величин различают нормальные, рабочие и предельные условия измерений.

Нормальные условия измерений – это условия, характеризуемые совокупностью значений или областей значений влияющих величин, при которых изменением результата измерений пренебрегают вследствие его малости.

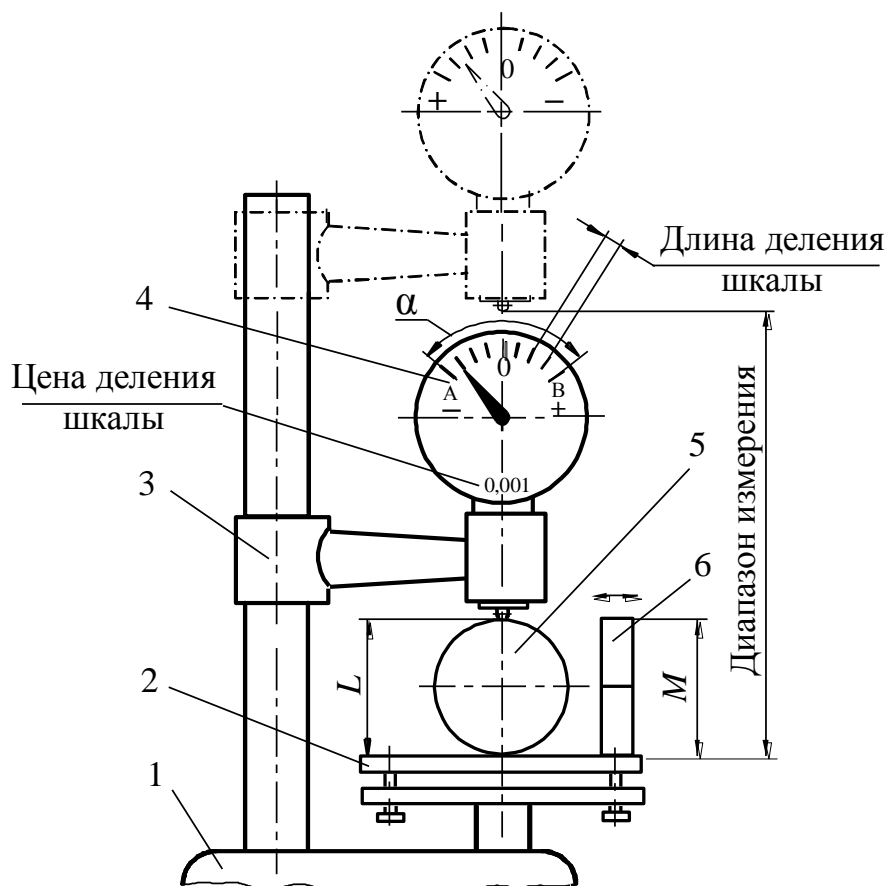


Рис. 6.1. Схема, поясняющая основные параметры средства измерения [20]:

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

Область значений влияющей величины, в пределах которой изменением результата измерения под ее воздействием можно пренебречь, в соответствии с установленными нормами точности, называется **нормальной областью значений влияющей величины**. Нормальные условия измерений устанавливаются нормативными документами на СИ конкретного типа. Номинальные значения некоторых влияющих величин при нормальных условиях измерений, а также перечень основных влияющих величин при измерении линейных и угловых размеров приведены в табл. 6.2 и 6.3.

Таблица 6.2

Номинальные значения влияющих величин при нормальных условиях выполнения линейных и угловых измерений (по ГОСТ 8.050)

Влияющая величина	Значение
1. Температура окружающей среды, °С	20
2. Атмосферное давление, кПа (мм рт. ст.)	101,3 (760)
3. Относительная влажность окружающего воздуха, %	58
4. Ускорение свободного падения, м/с ²	9,8
5. 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
6. Положение плоскости измерения углов	Горизонтальное
7. Относительная скорость движения внешней среды	0
8. Частота возмущающих гармонических вибраций, действующих на средства и объект измерения, не должна превышать, Гц	30

Таблица 6.3

Основные влияющие величины при выполнении линейных и угловых измерений (по МИ 88-76)

Средства измерения	Влияющие величины
Механические, оптико-механические	Температура, вибрации, ориентация в пространстве отсчетного устройства
Пневматические	Температура, вибрации, ориентация в пространстве отсчетного устройства, атмосферное давление
Интерференционные	Температура, атмосферное давление, влажность воздуха, вибрации, запыленность, содержание CO ₂

При нормальных условиях измерений определяется **основная погрешность СИ**.

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 СИ, называется **рабочей областью значений влияющей величины**.

Дополнительной погрешностью СИ называется составляющая погрешности СИ, возникающая дополнительно к основной погрешности вследствие отклонения какой-либо из влияющих величин от нормального ее значения или вследствие ее выхода за пределы нормальной области значений. Например, при измерении рычажной скобой стального вала диаметром 30 мм с допуском по 7-му качеству в соответствии с ГОСТ 8.050 допустимое отклонение температуры рабочего пространства от нормального значения (20 °С) составляет ± 2 °С. Отклонение температуры за пределы 20 ± 2 °С приведет к дополнительной погрешности измерения.

Предельные условия измерений – это условия, характеризующиеся экстремальными значениями измеряемой и влияющих величин, которые СИ может выдержать без разрушений и ухудшения его метрологических характеристик.

Учет всех нормируемых метрологических характеристик СИ 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. Поэтому для получения информации о возможной погрешности СИ используют нормирование обобщенных метрологических характеристик СИ 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 СИ данного типа. Классы точности присваивают СИ при их разработке на основании исследований и испытаний представителей партии СИ 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 СИ обозначаются условными знаками (буквами, цифрами). Для СИ, пределы допускаемой основной погрешности которых выражают в форме приведенной погрешности или относительной погрешности в соответ-

ствии 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 \surd . 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 – бóльший по модулю из пределов измерения для СИ с нулем посередине), x – показание СИ, C и d – соответственно, приведенные погрешности, реализуемые в конце и в нулевой точке диапазона измерения (в процентах).

Пример 6.1. Отсчет по шкале прибора с пределами измерения 0-10 А и равномерной шкалой составил 5 А. Пренебрегая другими видами погрешностей измерения, необходимо определить пределы допускаемой абсолютной погрешности этого отсчета при использовании СИ 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 $x_N = 10$ (бóльший по модулю у пределов измерений) абсолютная погрешность

$$\Delta = \pm \frac{\gamma \cdot x_N}{100} = \pm \frac{0,5 \cdot 10}{100} = \pm 0,05 \text{ А.}$$

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

$$\Delta = \pm \frac{x \cdot \delta_x}{100} = \pm \frac{5 \cdot 0,5}{100} = \pm 0,025 \text{ А.}$$

3. Классом точности 0,02/0,01 задана относительная погрешность измерения, определяемая по формуле (6.1)

$$\delta_x = \pm \frac{\Delta}{x} \cdot 100\% = \pm \left[C + d \left(\frac{x_k}{x} - 1 \right) \right] \cdot 100\% .$$

Абсолютная погрешность измерения для $C = 0,02$; $d = 0,01$, $x_k = 10$ А (бóльший по модулю у пределов измерений) отсчета $x = 5$ А

$$\Delta = \pm \left[0,02 + 0,01 \left(\frac{10}{5} - 1 \right) \right] \cdot \frac{5}{100} = \pm 0,0015 \text{ А}.$$

В отличие от большинства электроизмерительных приборов для СИ геометрических параметров деталей выражают пределы допускаемых погрешностей в форме абсолютных погрешностей (см. п. 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

$$\Delta_{\ell im} = \pm (a + b|x|), \quad (6.2)$$

где $\Delta_{\ell im}$ – предел допускаемой абсолютной погрешности; 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 $\Delta_{\ell im}$ (мкм) определяется по формуле

$$\Delta_{\ell im} = \pm (2 + L/600),$$

где L – измеряемый размер, мм.

6.3. Выбор средств измерения геометрических параметров деталей

При выборе СИ (инструментов и приборов) учитывают совокупность метрологических характеристик, эксплуатационных и экономических показателей.

Для производственных измерений наиболее значимыми являются следующие метрологические характеристики СИ: диапазон измерений; диапазон показаний; погрешность измерительных приборов и инструментов.

К эксплуатационным показателям относятся характеристики, определяющие качество выполнения СИ заданных функций, и в первую очередь – это надежность СИ. Под надежностью СИ понимают сохранение нормируемых метрологических характеристик СИ в период эксплуатации, хранения или транспортирования.

Экономические показатели включают: стоимость СИ, продолжительность их работы до повторной установки, продолжительность их работы до ремонта, время, затрачиваемое на установку и сам процесс измерения, необходимая квалификация оператора.

На выбор СИ влияет и характер производства. В массовом и крупносерийном производстве с большой программой выпуска и ограниченной номенклатурой измеряемых изделий используют высокопроизводительные механизированные и автоматизированные средства измерения и контроля. Применяют также специальные контрольные приспособления и жесткие предельные калибры. Универсальные СИ применяют, как правило, для наладки оборудования.

В серийном производстве применяют специальные контрольные приспособления, жесткие предельные калибры и реже – универсальные СИ.

В мелкосерийном и единичном производстве преимущественно используют универсальные СИ, 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 СИ является соответствие его метрологической характеристики следующим условиям:

- диапазон измерения СИ должен быть больше измеряемого размера;
- диапазон показаний СИ должен быть больше измеряемого размера;
- предельная погрешность измерения с помощью выбранного СИ должна быть меньше допускаемой погрешности измерения δ .

Значения допускаемых погрешностей измерения δ установлены (приложение 3) в зависимости от допусков и номинальных размеров измеряемых изделий ГОСТ 8.051. Погрешности, допускаемые при измерении линейных размеров до 500 мм. В соответствии с этим ГОСТ значения δ определены для качеств 2–17 и приняты равными: $0,2 T$ (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 не только погрешности СИ, 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, устанавливают 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).

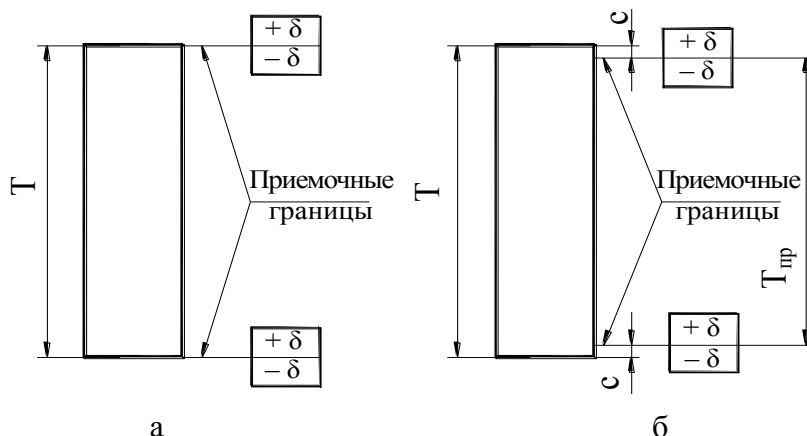


Рис. 6.2. Расположение приемочных границ: а - без назначения производственного допуска; б - производственный допуск определен в зависимости от параметра разбраковки C

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 рис. 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 $y(\sigma_{\text{тех}}, \sigma_{\text{мет}})$, появляются области вероятностей m и n , обуславливающие выход размера за границу допуска на величину c . Таким образом, чем точнее технический процесс (меньше отношение $IT/\Delta_{\text{мет}}$), тем меньше неправильно принятых деталей по сравнению с неправильно забракованными.

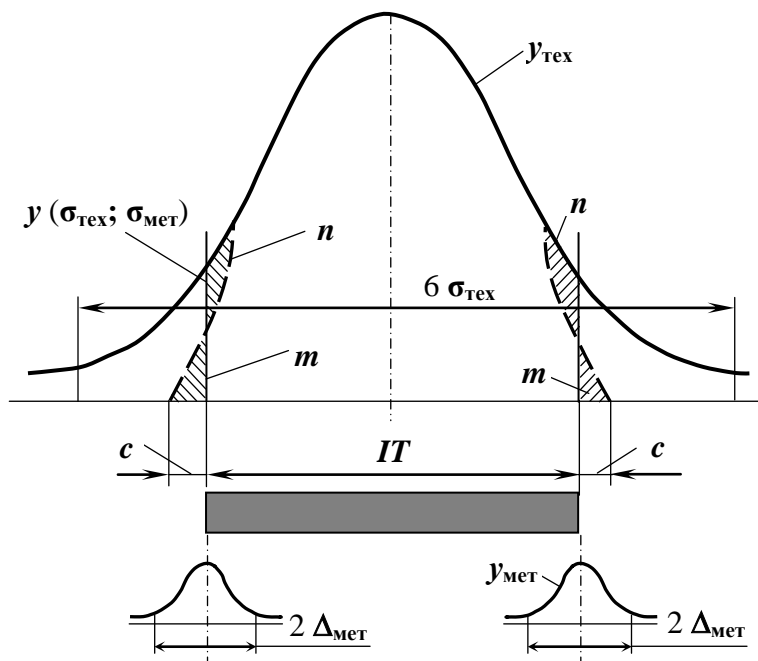


Рис. 6.3. Кривые распределения контролируемых параметров, построенные с учетом погрешностей измерения

Влияние погрешности измерения на результаты разбраковки деталей (по ГОСТ 8.051) показано на рис. 6.4, позволяющем определить вероятное количество 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. 6.5 значения параметров m , n , c даны в зависимости от относительной погрешности измерения $A_{\text{мет}} = (\sigma_{\text{тех}}/IT) \cdot 100$, % и относительной точности изготовления $IT/\sigma_{\text{тех}}$ (где $\sigma_{\text{тех}}$ – среднее квадратическое отклонение погрешности измерения; $\sigma_{\text{тех}}$ – среднее квадратическое отклонение 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).

Для определения параметров m , g , c рекомендуется (ГОСТ 8.051) принимать $A_{\text{мет}}$, равное 16 % для квалитетов 2 – 7, 12 % – для квалитетов 8 и 9 и 10 % – для квалитетов 10 и грубее. Если точность технологического процесса

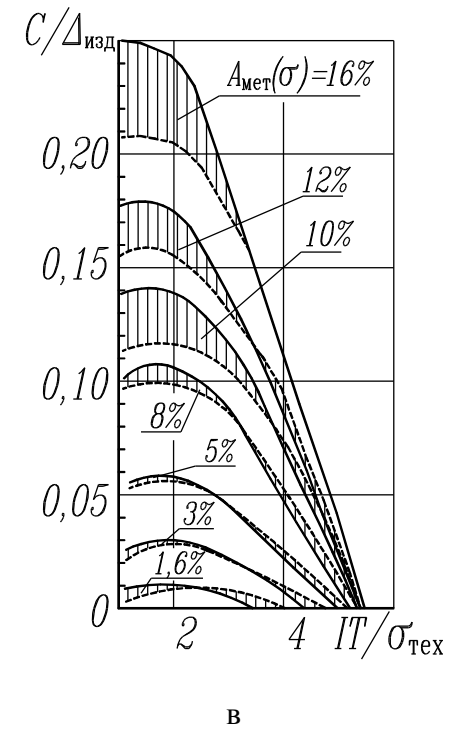
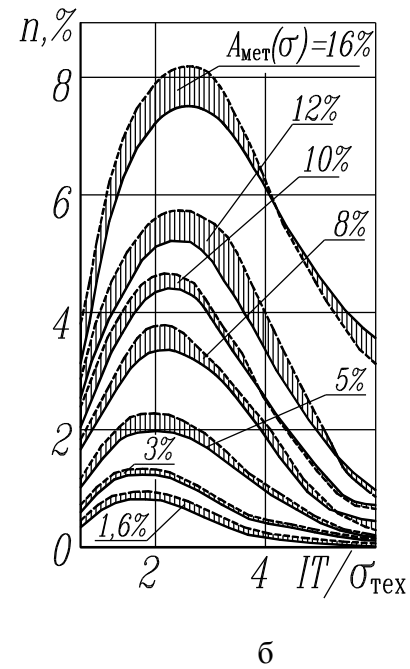
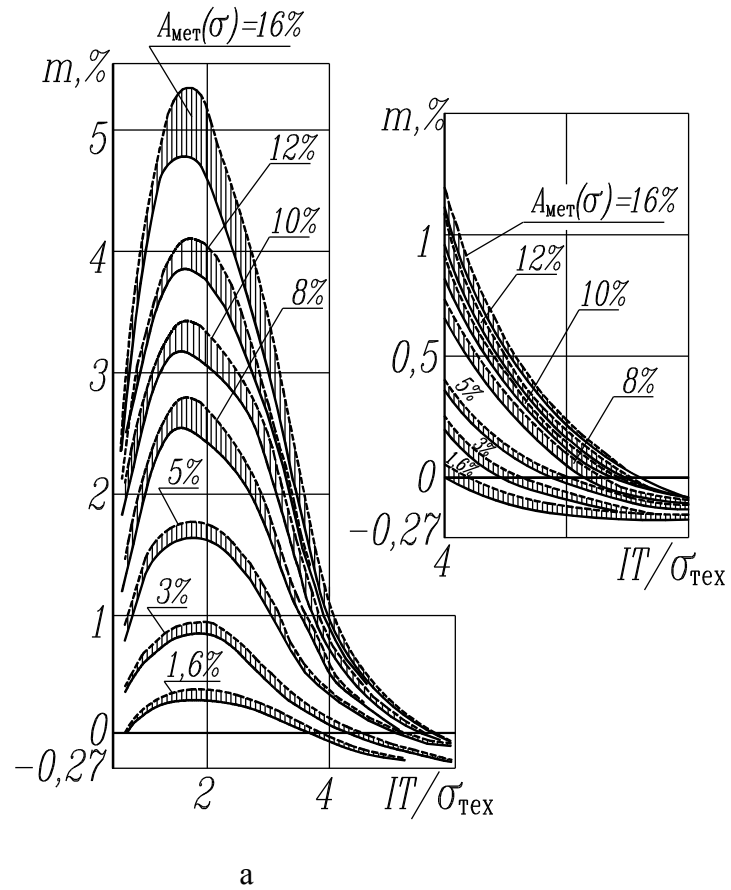


Рис. 6.4. Графики для определения: а – количества (в процентах от общего количества измеряемых деталей) неправильно принятых деталей m ; б – количества неправильно забракованных деталей n ; в – возможного перехода за границы поля допуска размеров неправильно принятых деталей c (ГОСТ 8.051)

Таблица 6.4

Предельные значения параметров разбраковки (ГОСТ 8.051)*

Относительная погрешность измерения $A_{\text{мет}}, \%$	Вероятное количество неправильно принятых деталей $m, \%$	Вероятное количество забракованных деталей $n, \%$	Относительный выход за границу допуска у неправильно принятых деталей c/IT
1,6	От 0,37 до 0,39	От 0,7 до 0,75	0,01
3	От 0,87 до 0,9	От 1,2 до 1,3	0,03
5	От 0,16 до 1,7	От 2,0 до 2,25	0,06
8	От 2,6 до 2,8	От 3,4 до 3,7	0,1
10	От 3,1 до 3,5	От 4,5 до 4,75	0,14
12	От 3,75 до 4,1	От 5,4 до 5,8	0,17
16	От 5,0 до 5,4	От 7,8 до 8,25	0,25
Примечание. Первые значения m и n соответствуют распределению погрешностей измерения по нормальному закону, вторые – по закону равной вероятности			

изготовления детали неизвестна (неизвестно значение $\sigma_{\text{тех}}$), определяют предельное значение параметров m , n и c по рис. 6.4 или по табл. 6.4.

В выборе СИ участвуют [4, 7] 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 СИ с учетом условий измерений.

Конструкторы первоначально назначают допуск на геометрический размер детали исходя из служебного назначения изделия. После этого по табл. (приложение 3) находят допускаемую погрешность измерения δ и далее по табл. 6.4 или графикам (см. рис. 6.4) определяют количество неправильно принятых деталей (риск потребителя). Если по условиям работы изделия количество 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, то есть два способа уменьше-

ния этого влияния: во-первых, можно выбрать более точный квалитет (уменьшить допуск), уменьшая 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 (количество неправильно забракованных деталей), являющихся риском производителя. Если полученные результаты признаются удовлетворительными, то выбор конкретного СИ предоставляется метрологической службе, в чьи обязанности это входит. Если результаты признаны неудовлетворительными, то изменяют технологический процесс или вводят производственный допуск.

Метрологи осуществляют выбор конкретного СИ 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 (см. табл. 6.2, 6.3) отличаются от установленных в ГОСТ 8.050 или нормативных документах на СИ конкретного вида, необходимо нормировать функции влияния, т.е. указывать зависимости показаний СИ от влияющих величин и на основе этого вносить поправки в показания СИ.

Для упрощения процесса выбора конкретного СИ можно использовать номограммы, помещенные на рис. 6.5 и 6.6. Затем по табл. приложений 6 – 9 проверяют соответствие метрологических характеристик ориентировочно выбранного СИ принятым условиям измерения.

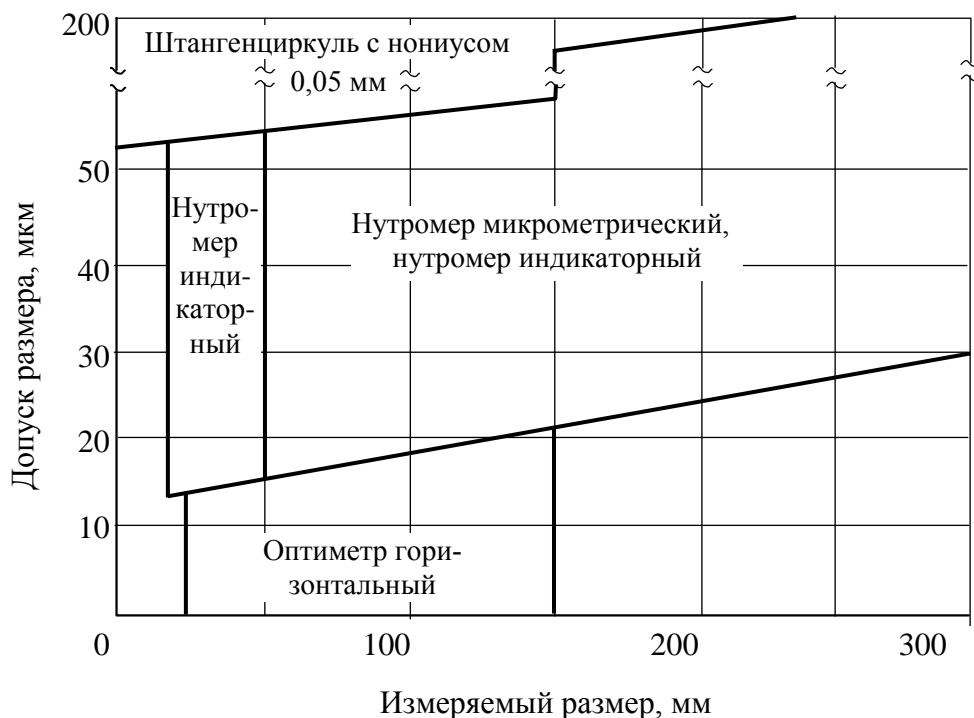


Рис. 6.5. СИ для измерения размеров наружных гладких поверхностей

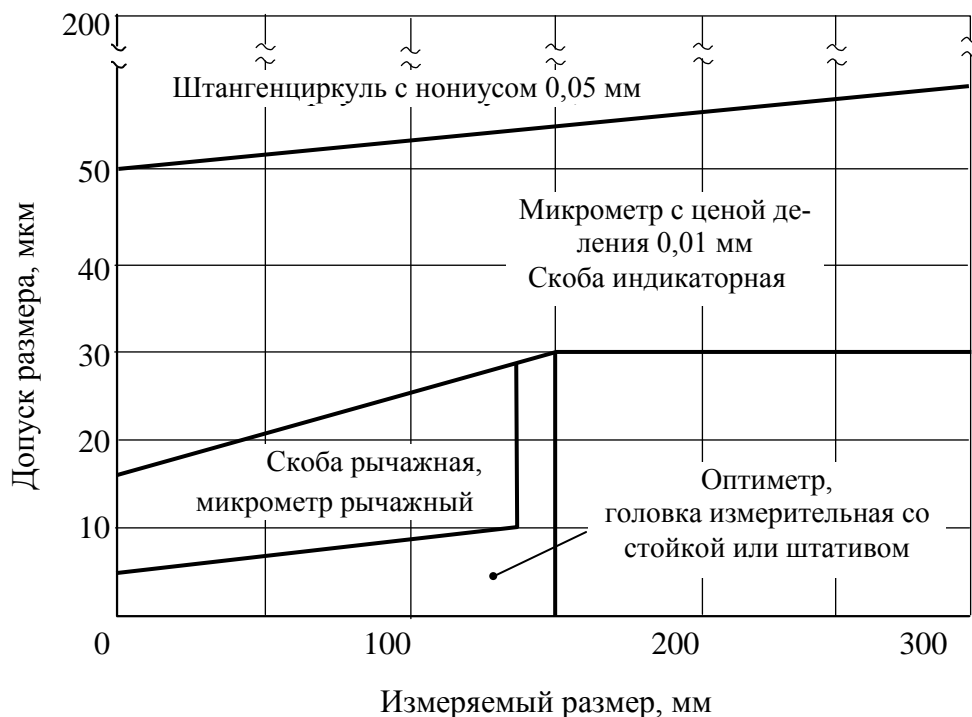


Рис. 6.6. СИ для измерения размеров внутренних гладких поверхностей

Пример 6.2. Исходя из эксплуатационных требований шейка вала под подшипник качения должна быть изготовлена $\varnothing 20\ k6 \begin{smallmatrix} +0,015 \\ +0,002 \end{smallmatrix}$. $IT = 0,013$ мм. Необходимо установить приемочные границы и привести результаты разбраковки деталей. Точность технологического процесса неизвестна.

1. Устанавливаем приемочные границы, совпадающие с предельными размерами вала. В этом случае вероятно, что m деталей будут неправильно приняты, а n – неправильно отбракованы.

2. Для измерения вала 6-го квалитета рекомендуется принимать относительную погрешность $A_{мет(σ)} = 0,16\ T$. Тогда $m = (5 - 5,4)\ \%$, а $n = (7,8 - 8,25)\ \%$ в зависимости от закона распределения погрешности измерения (см. табл. 6.4). При этом возможный выход за границы поля допуска размеров неправильно принятых деталей

$$c = 0,25 \cdot T = 0,25 \cdot 0,013 = 0,0034\ \text{мм.}$$

Результаты разбраковки деталей заносим в табл. 6.5.

Таблица 6.5

Результаты разбраковки деталей

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 количество 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, вводим производственный допуск.

2. Так как точность технологического процесса неизвестна, устанавливаем приемочные границы в соответствии с ГОСТ 8.051, смещенные относительно предельных размеров на величину

$$c' = \frac{\delta}{2} = 0,002 \text{ мм.}$$

Тогда производственный допуск $T_{\text{пр}}$ (см. рис. 15, б)

$$T_{\text{пр}} = T - 2 \cdot c' = 0,013 - 2 \cdot 0,002 = 0,009 \text{ мм.}$$

Размер вала при изготовлении детали должен быть не более $\varnothing 20,013$ мм и не менее $\varnothing 20,004$ мм.

Пример 6.3. Необходимо выбрать универсальное СИ вала по условиям примера 6.2.

1. Устанавливаем допускаемую погрешность измерения (см. приложение 3). Для $\varnothing 20 \text{ k6}$ $\delta = 0,004$ мм.

2. Выбираем универсальное СИ для измерения вала с таким размером (см. рис. 6.4). Для измерения вала с диаметром 20 мм и допуском $IT = 0,013$ мм можно использовать микрометр рычажный.

3. Определяем метрологическую характеристику микрометра рычажного по приложению 7, а также предельную погрешность Δ_{lim} измерения им в принятых условиях, одновременно проверяя выполнение условий, изложенных на стр. 125-126. Этим условиям удовлетворяет микрометр МР-25 (ГОСТ 4381), метрологическая характеристика и условия использования которого приведены в табл. 6.6.

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. Необходимо выбрать универсальное СИ 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 $\Delta_{\text{ф1}} = 5$ мкм.

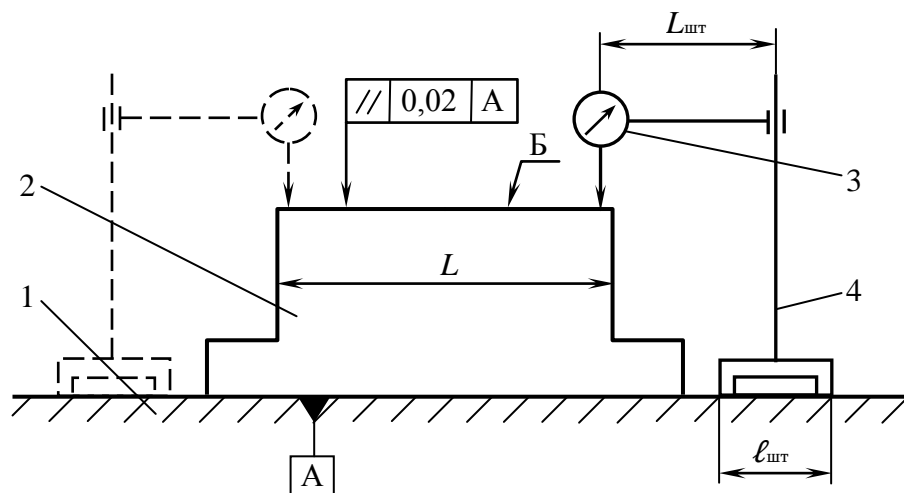


Рис. 6.7. Схема измерения отклонения от параллельности:
1 – поверочная плита; 2 – измеряемая деталь; 3 – СИ; 4 – штатив

Таблица 6.6

**Метрологическая характеристика и условия использования
микрометра рычажного МР-25**

Наименование СИ, 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 кл. точн.	5

Базовая поверхность имеет характер вогнутости.

Деталь 2 устанавливают базовой поверхностью на плиту 1 (см. рис. 6.7). При помощи СИ 3, закрепленного на штативе 4, снимают показания в крайних точках измеряемой поверхности. Зону $= 0,01 L$ мм вдоль краев измеряемой поверхности во внимание не принимают.

1. Определяем погрешность измерения Δ отклонения от параллельности по формуле (4.5), учитывая, что влияющие величины находятся в нормальной области значений (см. п. 6.2)

$$\Delta = \sqrt{\Delta_{\text{СИ}}^2 + \Delta_{\text{М}}^2},$$

где $\Delta_{\text{СИ}}$ – основная погрешность СИ; $\Delta_{\text{М}}$ – методическая погрешность измерения.

$$\Delta_{\text{М}} = \sqrt{\Delta_{\text{М}_1}^2 + \left(\Delta_{\text{М}_2} \cdot \frac{L_{\text{шт}}}{\ell_{\text{шт}}} \right)^2},$$

где $\Delta_{\text{М}_1}$ – отклонение от плоскостности измеряемой поверхности; $\Delta_{\text{М}_2}$ – отклонение от плоскостности поверочной плиты.

2. Устанавливаем по приложению 5 допускаемую погрешность измерения δ , соответствующую допуску параллельности $T = 20$ мкм, $\delta = 7$ мкм.

3. Выбираем штатив ШМ-ПН-М (ГОСТ 10197) с длиной основания $\ell_{\text{шт}} = 250$ мм и вылетом $L_{\text{шт}} = 125$ мм, а также поверочную плиту 0-го класса точности с отклонением от плоскостности рабочей поверхности $\Delta_{\phi_2} = 5$ мкм [20].

4. Определяем методическую погрешность измерения, принимая $\Delta_{\text{М}_1} = \Delta_{\phi_1} = 5$ мкм (по условию), $\Delta_{\text{М}_2} = \Delta_{\phi_2} = 5$ мкм

$$\Delta_{\text{М}} = \sqrt{5^2 + \left(5 \cdot \frac{125}{250} \right)^2} = 5,6 \text{ мкм.}$$

5. Определяем допускаемую погрешность СИ, принимая $\Delta = \delta$

$$\Delta_{\text{СИ}} = \sqrt{\delta^2 - \Delta_{\text{М}}^2} = \sqrt{7^2 - 5,6^2} = 4,2 \text{ мкм.}$$

Таким образом, для измерения отклонения от параллельности с допуском $T = 20$ мкм по предложенной схеме измерения (см. рис. 6.7) необходимо использовать СИ с погрешностью не более 4,2 мкм. Этому условию удовлетворяют головки рычажно-зубчатые типа ИГ с ценой деления 0,001 и 0,002 мм (см. приложение 9).

6. Выбираем в качестве СИ головку рычажно-зубчатую 2ИГ (ГОСТ 18833) с ценой деления 0,002 мкм и предельной погрешностью $\Delta_{\text{СИ}} = 3$ мкм.

6.4. Контроль деталей гладких соединений

Контроль деталей в диапазоне размеров до 500 мм с допусками от *IT6* до *IT17*, особенно в массовом и крупносерийном производствах, наиболее часто

осуществляют калибрами. Валы и отверстия с допусками точнее $IT6$ 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).

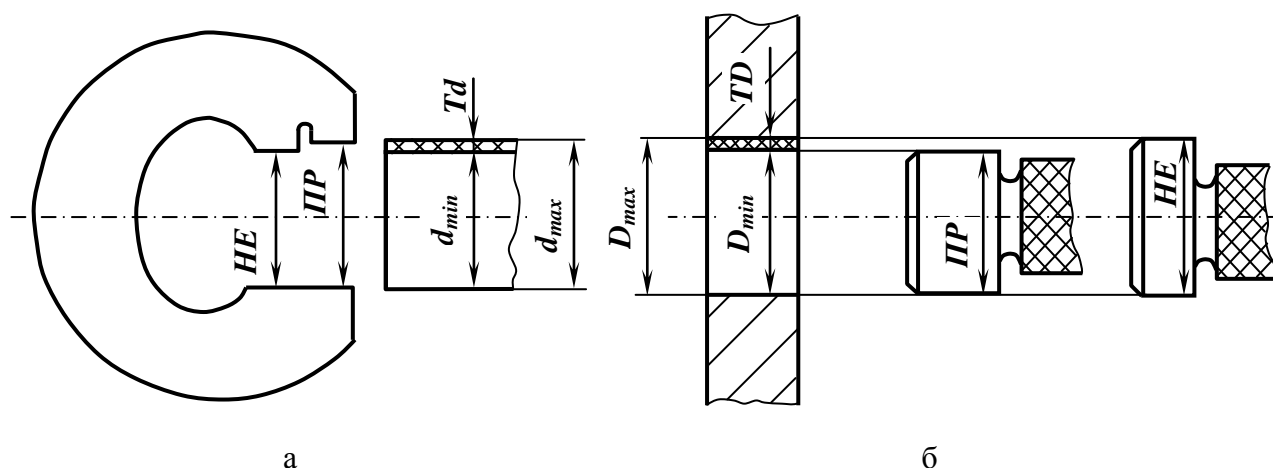


Рис. 6.8. Схемы контроля деталей: а – вала скобой; б – отверстия пробками

Рабочие калибры ПР и НЕ предназначены для контроля изделий в процессе их изготовления. Этими калибрами пользуются рабочие и контролеры ОТК завода-изготовителя, причем контролеры применяют частично изношенные калибры ПР и новые калибры НЕ.

При контроле калибрами деталь считают годной, если проходной калибр (проходная сторона калибра) под действием собственного веса или усилия, примерно равного ему, 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 применяют 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 регулируемыми и нерегулируемыми. 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 дешевы, 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) (табл. 6.7).

Таблица 6.7

**Допуски и координаты средин полей допусков калибров, мкм
(ГОСТ 24853)**

Квалитет допус-ка 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	<i>Z</i>	1	1,5	1,5	2	2	2,5	2,5	3	4	
	<i>Y</i>	1	1	1	1,5	1,5	2	2	3	3	
	<i>Z</i> ₁	1,5	2	2	2,5	3	3,5	4	5	6	
	<i>Y</i> ₁	1,5	1,5	1,5	2	3	3	3	4	4	
	<i>H</i>	1,2	1,5	1,5	2	2,5	2,5	3	4	5	<i>IT</i> 1
	<i>H</i> ₁	2	2,5	2,5	3	4	4	5	6	8	<i>IT</i> 2
	<i>H</i> _{<i>p</i>}	0,8	1	1	1,2	1,5	1,5	2	2,5	3,5	<i>IT</i> 1
7	<i>Z, Z</i> ₁	1,5	2	2	2,5	3	3,5	4	5	6	
	<i>Y, Y</i> ₁	1,5	1,5	1,5	2	3	3	3	4	4	
	<i>H, H</i> ₁	2	2,5	2,5	3	4	4	5	6	8	<i>IT</i> 2
	<i>H</i> _{<i>p</i>}	0,8	1	1	1,2	1,5	1,5	2	2,5	3,5	<i>IT</i> 1
8	<i>Z, Z</i> ₁	2	3	3	4	5	6	7	8	9	
	<i>Y, Y</i> ₁	3	3	3	4	4	5	5	6	6	
	<i>H</i>	2	2,5	2,5	3	4	4	5	6	8	<i>IT</i> 2

	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.
2. Расшифровка обозначений допусков и координат средин полей допусков приведена в табл. 6.8.

Координаты средин полей допусков калибров отсчитывают от соответствующих предельных размеров изделий (табл. 6.8). 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 контралибров к ним отсчитывают от наибольшего предельного размера вала, а непроходных калибров – от наименьшего предельного размера 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 допуском 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.

Таблица 6.8

Схемы расположения полей допусков калибров
для номинальных размеров до 180 мм (ГОСТ 24853)

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 – координата середины поля допуска проходного калибра; Y , Y_1 – допустимый выход размера изношенного проходного калибра за границу поля допуска соответственно отверстия и вала.

Расчет предельных размеров калибров выполняют по формулам табл. 6.9. 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. 6.9).

Таблица 6.9

**Формулы для расчета исполнительных размеров калибров
с размерами до 180 мм (ГОСТ 24853)**

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	$d_{min} - H_1 / 2$	$+H_1$	$d_{min} + H_p / 2$	$-H_p$

Примечание. Размеры округляют до целого микрометра в сторону уменьшения производственного допуска. $^{*)}$ – Второе отклонение поля допуска калибра равно нулю.

Пример 6.5. Необходимо 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 [7] находим предельные отклонения контролируемых отверстия и вала: $ES = +46$ мкм; $EI = 0$; $es = +15$ мкм; $ei = -15$ мкм.

– Строим схему полей допусков отверстия и вала (рис. 6.9).

– По табл. 6.7 для отверстия $\varnothing 55H8$ определяем 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.

– Строим схемы расположения полей допусков калибров (см. рис. 6.9).

– Рассчитываем предельные размеры отверстия и вала:

$$D_{max} = D + ES = 55,046 \text{ мм}; \quad D_{min} = D + EI = 55,0 \text{ мм};$$

$$d_{max} = d + es = 55,015 \text{ мм}; \quad d_{min} = d + ei = 54,985 \text{ мм}.$$

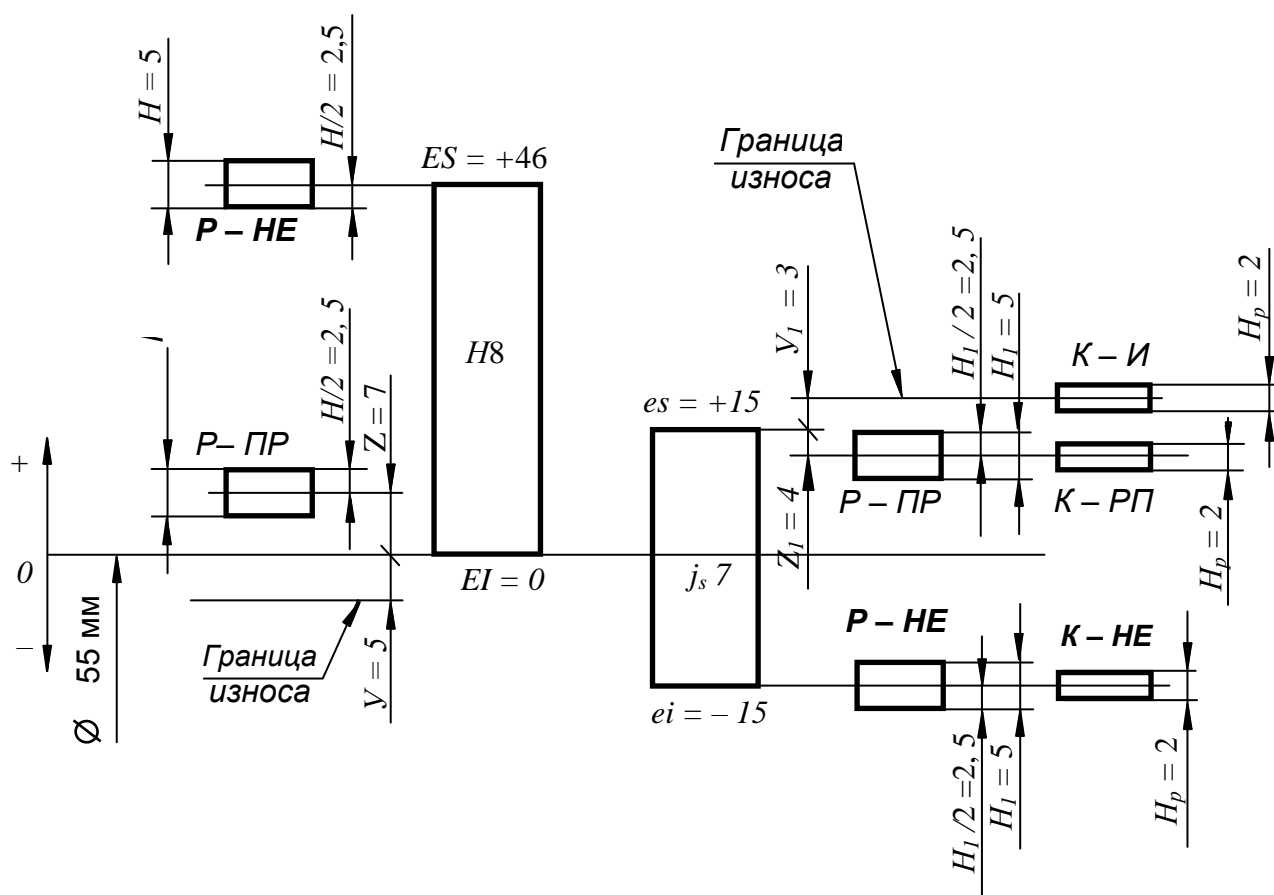


Рис. 6.9. Схемы полей допусков калибров для контроля деталей соединения $\varnothing 55 H8/js7$

– Рассчитываем предельные и исполнительные размеры калибров-пробок (см. табл. 6.9):

наибольший размер проходного нового калибра-пробки

$$PP_{max} = D_{min} + Z + H/2 = 55,000 + 0,007 + 0,005/2 = 55,0095 \text{ мм};$$

наименьший размер проходного нового калибра-пробки

$$PP_{min} = D_{min} + Z - H/2 = 55,000 + 0,007 - 0,005/2 = 55,0045 \text{ мм};$$

наименьший размер изношенного проходного калибра-пробки

$$PP_{изн} = D_{min} - Y = 55,000 - 0,005 = 54,995 \text{ мм}.$$

Если калибр-пробка ПР имеет указанный или меньший размер, его нужно изъять из эксплуатации.

Наибольший размер непроходного нового калибра-пробки

$$HE_{max} = D_{max} + H/2 = 55,046 + 0,005/2 = 55,0485 \text{ мм}.$$

Наименьший размер непроходного нового калибра-пробки

$$HE_{min} = D_{max} - H/2 = 55,046 - 0,005/2 = 55,0435 \text{ мм}.$$

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.

– Рассчитываем предельные и исполнительные размеры калибров-скоб:

наименьший размер проходного нового калибра-скобы

$$PP_{min} = d_{max} - Z_1 - H_1/2 = 55,015 - 0,004 - 0,005/2 = 55,0085 \text{ мм};$$

наибольший размер проходного нового калибра-скобы

$$PP_{max} = d_{max} - Z_1 + H_1/2 = 55,015 - 0,004 + 0,005/2 = 55,0135 \text{ мм};$$

наибольший размер изношенного проходного калибра-скобы

$$PP_{изн} = d_{max} + Y_1 = 55,015 + 0,003 = 54,018 \text{ мм}.$$

мм, округленный – 55,008^{+0,005} мм;

Если калибр-скоба ПР имеет указанный или больший размер, его нужно изъять из эксплуатации.

Наибольший размер непроходного калибра-скобы

$$HE_{max} = d_{max} + H_1/2 = 54,985 + 0,005/2 = 54,9875 \text{ мм}.$$

Наименьший размер непроходного калибра-скобы

$$HE_{min} = d_{max} - H_1/2 = 54,985 - 0,005/2 = 54,9825 \text{ мм}.$$

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 измерения

Одним из основных показателей качества СИ, 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, ремонтов, хранения и транспортирования. Под термином «объект» в теории надежности понимается предмет определенного целевого назначения, например, измерительная система и ее элементы, СИ и его элементы. Надежность не может быть общей для всех видов техники. Она всегда конкретна, особенно в отношении численных значений показателей надежности.

Для СИ особо важна **метрологическая надежность** – способность СИ сохранять установленные метрологические характеристики в течение определенного времени при определенных режимах и условиях эксплуатации.

Основным понятием теории надежности является **отказ**. Отказы СИ делятся [16] на неметрологические и метрологические.

Неметрологическим называется **отказ СИ**, обусловленный причинами, не связанными с изменением метрологических характеристик СИ. Такие отказы, как правило, являются следствием ошибок при конструировании, изготовлении или назначении условий эксплуатации СИ, носят главным образом явный характер и могут быть обнаружены без поверки СИ. Например, отказ электродвигателя в приборе для измерения кинематической точности зубчатых колес.

Метрологический отказ – отказ СИ, при котором сохраняется его функционирование, но происходит выход метрологических характеристик за установленные пределы. Например, если погрешность микрометра гладкого МК-25 класса точности 1 составляет $\Delta_{СИ} = \pm 0,003$ 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. **Работоспособное состояние СИ** – это такое состояние, при котором все его метрологические характеристики соответствуют нормированным значениям. Для сложных СИ и измерительных систем принято их выделение промежуточных состояний, например, предельное состояние. **Предельное состояние** – это состояние СИ, при котором его дальнейшее применение по назначению недопустимо или нецелесообразно. Как

правило, переход СИ в предельное состояние происходит раньше возникновения отказа. Типичным критерием предельного состояния СИ, например, оснащенного подвижными узлами и направляющими, является 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 ремонты СИ, 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 СИ. Причинами его обычно бывают износ, старение и др. постепенно нарастающие изменения в деталях и узлах СИ. Время наступления постепенного отказа функционально связано с интенсивностью физико-механических процессов, происходящих при работе СИ. По характеру проявления постепенные отказы являются скрытыми и могут быть выявлены только при поверках СИ.

Надежность СИ является комплексным (обобщенным) понятием, включающим свойства безотказности, долговечности, ремонтпригодности (для ремонтпригодных и восстанавливаемых СИ) и сохраняемости (рис. 6.10).

Безотказность – это свойство СИ непрерывно сохранять работоспособное состояние в течение некоторого времени. Оно характеризуется двумя состояниями: работоспособным и неработоспособным. Безотказность является определяющим свойством надежности для неремонтируемых СИ или их деталей.

Долговечность – это свойство СИ сохранять работоспособное состояние до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонта. Для неремонтируемых СИ свойства безотказность и долговечность совпадают, т.к. первый их отказ приводит к потере работоспособности. Ремонтируемое СИ после отказа может быть восстановлено. Таким

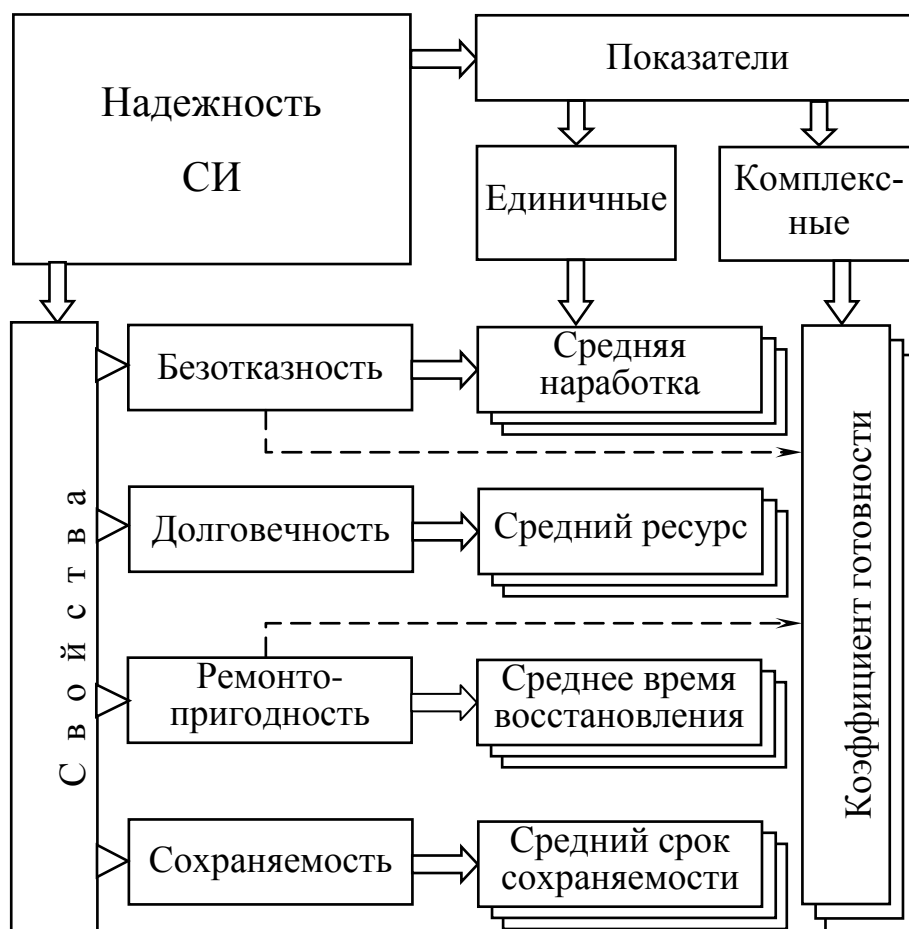


Рис. 6.10. Свойства и показатели надежности СИ

образом, различие свойств безотказности и долговечности в том, что безотказность – это свойство СИ непрерывно сохранять работоспособность, а долговечность – это свойство СИ сохранять работоспособность с возможными перерывами для ремонта.

После отказа метрологические характеристики ремонтпригодного СИ путем его ремонта или соответствующих регулировок могут быть возвращены в допустимые границы. Поэтому одним из свойств надежности является ремонтпригодность. **Ремонтпригодность** – это свойство СИ, заключающееся в приспособленности СИ к предупреждению и обнаружению причин возникновения отказов и поддержанию и (или) восстановлению работоспособного состояния путем проведения технического обслуживания и ремонта.

Изменение метрологических характеристик СИ возможно не только при эксплуатации, но и после длительного хранения или транспортирования. Поэтому введено понятие **сохраняемости** – свойства СИ сохранять значения показателей безотказности, долговечности и ремонтпригодности в течение и после хранения и транспортирования.

Одной из основных изменяющихся во время эксплуатации метрологических характеристик СИ является погрешность измерения. Поэтому в дальнейшем под метрологическим отказом СИ будем понимать выход погрешности измерения за допускаемые пределы. Факт нахождения погрешности измерения в допускаемых пределах устанавливают при поверке СИ. Текущие значения погрешности измерения зависят от множества случайных факторов, возникающих при эксплуатации СИ. В связи с этим случайный характер будет иметь и время выхода погрешности измерения за допускаемые пределы.

Рассмотрим схему формирования погрешности измерения во времени и возникновение отказа СИ (рис. 6.11). Изменение погрешности СИ во времени носит нестационарный случайный характер [16] и может пойти по одной из реализаций модуля погрешности Δ_i случайной функции $\Delta(t)$. Начало координат функции $\Delta(t)$ смещено в точку Δ_0 , соответствующую начальной (на момент поверки или аттестации) погрешности СИ. В каждый момент времени t_i погрешность характеризуется некоторым законом распределения плотности вероятностей $f(\Delta, t_i)$, центр которого находится на кривой $\Delta_{cp}(t)$. Верхняя и нижняя границы погрешностей СИ могут быть представлены в виде некоторых квантильных границ (квантиль – это значение случайной величины, соответствующее заданной вероятности), внутри которых заключена большая часть погрешностей, реализуемых с доверительной вероятностью P .

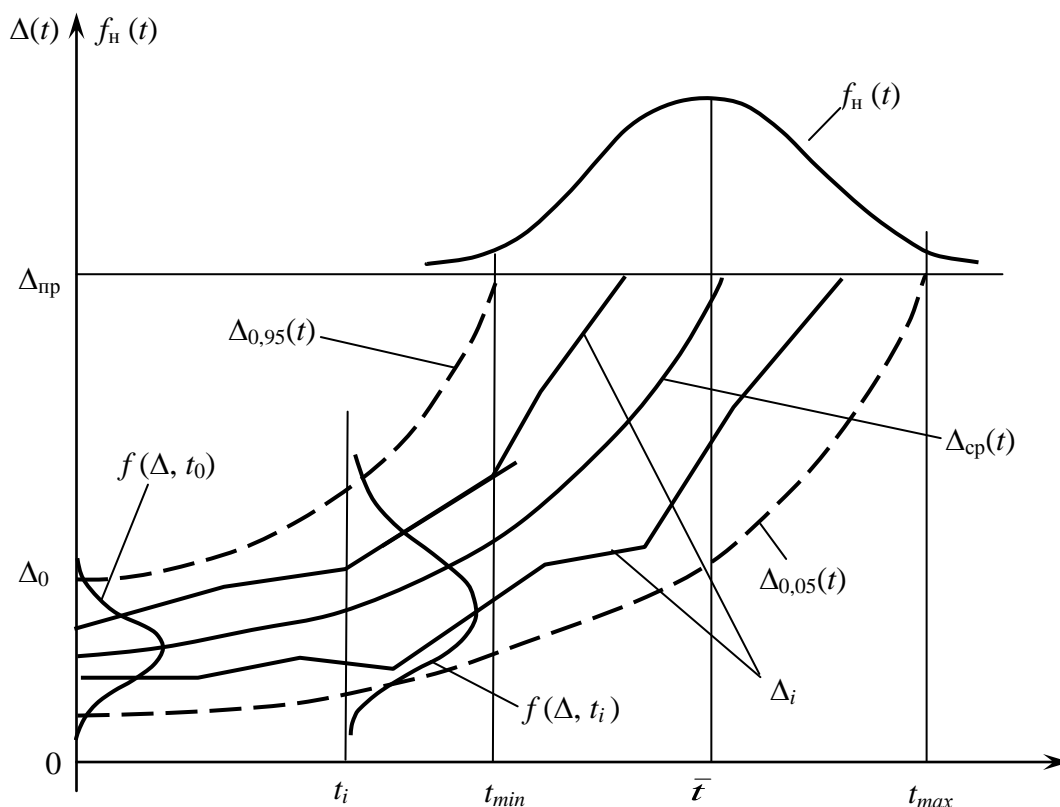


Рис. 6.11. Модель изменения погрешности СИ во времени [16]

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

$$\Delta_{0,95}(t) = \Delta_{\text{ср}}(t) + 1,6 \sigma_{\Delta}(t),$$

где $\sigma_{\Delta}(t)$ – СКО отдельных реализаций модулей погрешности.

Метрологический отказ наступит при пересечении кривой Δ_i прямой $\Delta_{\text{пр}}$, соответствующей предельному значению погрешности измерения СИ. 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-ти и 95-ти %-ного квантиля с линией предельного значения погрешности. При достижении кривой $\Delta_{0,95}(t)$ предела $\Delta_{\text{пр}}$ у 5 % СИ 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 СИ данного типа) функция времени, обусловленная механо-физико-химическими процессами постепенного износа и старения элементов СИ. Функцию $F(t)$ аппроксимируют той или иной математической зависимостью на основании данных экспериментальных исследований изменения погрешности СИ во времени.

Поскольку надежность включает безотказность, долговечность, ремонтпригодность и сохраняемость, то для каждого свойства имеются свои единичные количественные показатели (см. рис. 6.10). Имеются также комплексные показатели, относящиеся к нескольким свойствам, составляющим надежность. Выбор показателей надежности для конкретного СИ следует осуществлять с учетом ГОСТ 27.003 «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 СИ $P(t)$ – это вероятность того, что в пределах заданной наработки t нормированные метрологические характеристики не выйдут за допускаемые пределы. **Наработкой до отказа** называется продолжительность работы СИ от начала эксплуатации до возникновения первого отказа, измеряемая в единицах времени, например, в часах. Так как нара-

ботка 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 функцией своего аргумента и 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 рис. 6.12 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 СИ. Отсюда вероятность безотказной работы

$$P(t) = 1 - F(t). \quad (6.5)$$

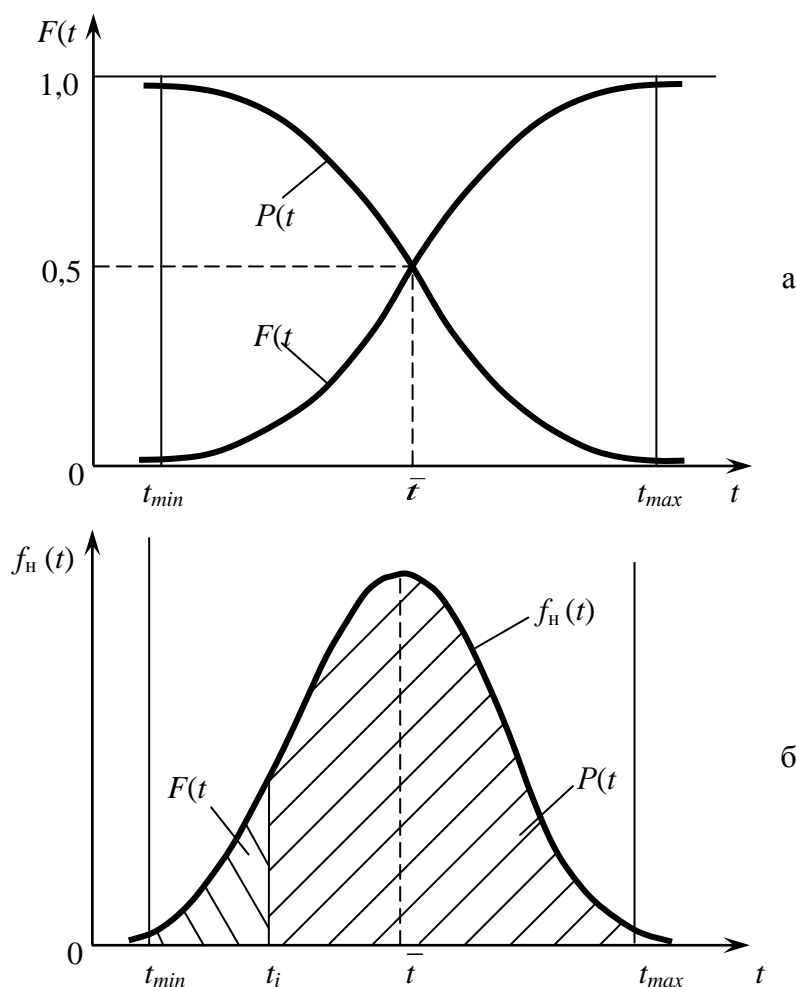


Рис. 6.12. Интегральная функция (а) и плотность наработки до отказа (б)

Статистически вероятность безотказной работы в течение 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 СИ. Точка пересечения $F(t)$ 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 $f_H(t)$ (см. рис. 6.12). Так как $f_H(t) = dF(t) / dt$, то

$$F(t) = \int_{-\infty}^t f_H(t) \cdot dt, \quad (6.7)$$

т.е. вероятность отказа $F(t)$ равна площади под кривой $f_H(t)$ на участке от $-\infty$ до t . Тогда вероятность безотказной работы СИ в течение времени t будет равна площади под кривой $f(t)$ на участке от t до $+\infty$

$$P(t) = \int_t^{\infty} f_H(t) \cdot dt. \quad (6.8)$$

Средней наработкой до отказа называется математическое ожидание наработки СИ до первого отказа

$$\bar{t} = \int_0^{\infty} t f_H(t) \cdot dt$$

или (6.9)

$$\bar{t} = \int_0^{\infty} P(t) \cdot dt.$$

Гамма-процентная наработка до отказа t_γ – это наработка, в течение которой отказ СИ не возникнет с вероятностью γ , выраженной в процентах:

$$P(t_\gamma) = 1 - F(t_\gamma) = 1 - \int_0^{t_\gamma} f_H(t) \cdot dt = \gamma / 100. \quad (6.10)$$

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 СИ. **Интенсивность отказов $\lambda(t)$** определяется как условная плотность

вероятности возникновения отказов невосстанавливаемого СИ, которая находится для рассматриваемого момента времени при условии, что отказ до этого времени не возник:

$$\lambda(t) = -\frac{1}{P(t)} \cdot \frac{dP(t)}{dt} = \frac{f_H(t)}{P(t)} = \frac{f_H(t)}{1-F(t)}. \quad (6.11)$$

Зависимость интенсивности отказов от времени, как правило, имеет три периода, каждый из которых отражает особенности отказов, изменяющихся с течением времени работы СИ (рис. 6.13).

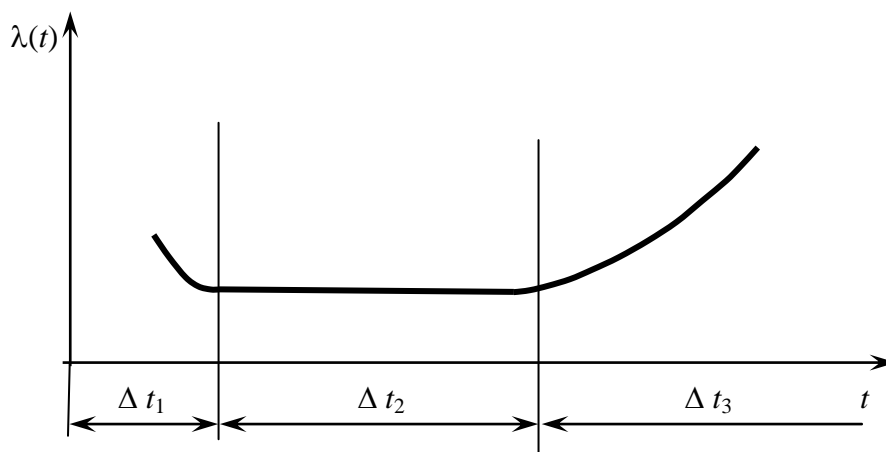


Рис. 6.13. Зависимость интенсивности отказов от времени

Период Δt_1 характеризуется высокой, но уменьшающейся с течением времени интенсивностью отказов. Этот период свойственен неметрологическим отказам и связан с наличием дефектов изготовления СИ.

Период Δt_2 — основной временной участок работы СИ. 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, вызваны неблагоприятным стечением многих обстоятельств и поэтому имеют постоянную интенсивность $\lambda(t) = \lambda = const$.

Период Δt_3 характеризуется возникновением постепенных отказов $\lambda(t) \neq const$ и повышением их интенсивности. В этот период происходят метрологические отказы, вызванные старением или износом элементов СИ.

Внезапные отказы распределяются обычно по экспоненциальному закону [15]. При этом законе распределения вероятность безотказной работы $P(t)$ может быть определена по формуле

$$P(t) = \exp \left[-\int_0^t \lambda(t) \cdot dt \right]. \quad (6.12)$$

В простейшем случае при $\lambda(t) = \lambda = const$

$$P(t) = e^{-\lambda t} \text{ и } F(t) = 1 - e^{-\lambda t}. \quad (6.13)$$

Плотность распределения наработки до отказа

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} = \frac{d(1 - e^{-\lambda t})}{dt} = \lambda \cdot e^{-\lambda t}. \quad (6.14)$$

При экспоненциальном законе распределения средняя наработка до отказа

$$\bar{t} = \int_0^{\infty} P(t) \cdot dt = \int_0^{\infty} e^{-\lambda t} \cdot dt = \frac{1}{\lambda}. \quad (6.15)$$

Пример 6.6. Известно, что плотность распределения наработки до отказа измерительной системы активного контроля линейных размеров подчиняется экспоненциальному закону с интенсивностью отказов $\lambda = 5 \cdot 10^{-4}$ отказ/час.

Необходимо определить вероятность безотказной работы $P(t)$ за наработку $t = 100$ час 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 час можно ожидать, что откажут 5 измерительных систем из 100.

2. Средняя наработка до отказа составляет

$$\bar{t} = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{0,0005} = 2000 \text{ час.}$$

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 СИ 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 СИ.

Интегральная функция при введении переменной $z = (t - m_t)/\sigma$ будет иметь вид:

$$F(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^z e^{-0,5z^2} dz = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^0 e^{-0,5z^2} dz + \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^z e^{-0,5z^2} dz = 0,5 + \Phi_0(z), \quad (6.17)$$

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. Нарботка до отказа СИ имеет нормальное распределение с параметрами $m_t = 1000$ час и $\sigma_t = 200$ час.

Необходимо определить вероятность безотказной работы СИ для ряда значений наработки $t_1 = 200$ час, $t_2 = 600$ час, $t_3 = 1200$ час.

1. Для $t_1 = 200$ час по формуле (6.18) с использованием приложения 1 находим

$$P(t_1) = 0,5 - \Phi_0 \left(\frac{200 - 1000}{200} \right) = 0,5 - \Phi_0(-4,0) = 0,5 + 0,4999683 \approx 1,0,$$

т.е. вероятность безотказной работы при наработке $t = 200$ час близка к 1,0.

2. Для $t_2 = 600$ час

$$P(t_2) = 0,5 - \Phi_0 \left(\frac{600 - 1000}{200} \right) = 0,5 - \Phi_0(-2,0) = 0,5 + 0,48 \approx 0,98.$$

3. Для $t_3 = 1200$ час

$$P(t_3) = 0,5 - \Phi_0 \left(\frac{1200 - 1000}{200} \right) = 0,5 - \Phi_0(1,0) = 0,5 - 0,33 \approx 0,17.$$

Пример 6.8. Для условий примера 6.7 необходимо 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 СИ не произойдет.

По таблице функции Лапласа (см. приложение 1) для $P(t_\gamma) = 0,5 - \Phi_0(z_\gamma) = 0,95$, т.е. $\Phi_0(z_\gamma) = -0,45$, находим аргумент функции Лапласа $z_\gamma = -1,65$.

Из уравнения $z_\gamma = \frac{t_\gamma - m_t}{\sigma}$ находим $t_\gamma = m_t + z \cdot \sigma = 1000 + (-1,65 \cdot 200) = 670$ часов.

Таким образом, установлено, что безотказная работа с вероятностью 0,95 будет выполняться СИ в течение 670 часов.

Такие задачи решаются, если, исходя из организационно-технических соображений, принимают регламентированную наработку, например, наработку до ремонта или регулировки СИ.

Основными показателями долговечности СИ являются сроки службы и ресурсы [16]. Согласно ГОСТ 27.003 ресурс в качестве показателя долговечности используется для изделий, в которых основным процессом, определяющим переход в предельное состояние, является изнашивание. **Ресурс СИ** – это наработка СИ от начала эксплуатации до перехода в предельное состояние. Ресурс представляет собой запас возможной наработки СИ 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

$$\bar{T} = \int_0^{\infty} t \cdot f_p(t) \cdot dt, \quad (6.19)$$

где $f_p(t)$ – плотность распределения ресурса для совокупности СИ данного типа.

Гамма-процентный ресурс – это наработка, в течение которой СИ не достигает предельного состояния с заданной вероятностью γ , выраженной в процентах

$$P(T_{p\gamma}) = 1 - \int_0^{T_{p\gamma}} f_p(t) \cdot dt = \frac{\gamma}{100}. \quad (6.20)$$

Срок службы СИ – это календарная продолжительность работы СИ от начала его эксплуатации до перехода в предельное состояние. Он измеряется в годах или месяцах.

Средний срок службы – это математическое ожидание срока службы

$$\bar{T}_{\text{сл}} = \int_0^{\infty} t \cdot f_{\text{сл}}(t) \cdot dt, \quad (6.21)$$

где $f_{\text{сл}}(t)$ – плотность распределения срока службы для совокупности СИ данного типа.

Гамма-процентный срок службы – это календарная продолжительность от начала эксплуатации СИ, в течение которой оно не достигает предельного состояния с заданной вероятностью γ , выраженной в процентах

$$P(T_{\text{сл } \gamma}) = 1 - \int_0^{T_{\text{сл } \gamma}} f_{\text{сл } \gamma}(t) \cdot dt = \frac{\gamma}{100}. \quad (6.22)$$

Сохраняемость оценивается показателями, аналогичными тем, которые применяются для оценки долговечности, например, **средний срок сохраняемости** и **гамма-процентный срок сохраняемости**.

СИ при недостаточной безотказности, но при условии высокой ремонтнопригодности может иметь достаточный уровень надежности. К комплексным показателям, которые учитывают безотказность и ремонтпригодность, 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.

Ремонтпригодность характеризуется затратами времени на обнаружение повреждений и восстановление СИ после отказа и поддержание его в работоспособном состоянии путем регулярного технического обслуживания. Одним из показателей ремонтпригодности является **среднее время восстановления работоспособного состояния СИ**.

Таким образом, используя методы теории надежности, можно прогнозировать возникновение отказов СИ, что позволит потребителю обоснованно назначать межповерочные интервалы и грамотно организовывать техническое обслуживание и ремонт СИ.

Контрольные вопросы

1. Дайте определение СИ.
2. Назовите основные виды СИ.
3. Приведите примеры мер физических величин.
4. В чем состоит отличие измерительной системы от измерительной установки?

5. Дайте определение метрологической характеристики СИ.
6. Назовите основные метрологические характеристики СИ.
7. Дайте определение влияющей величины.
8. В чем отличие нормальных и рабочих условий выполнения измерений?
9. Приведите основные влияющие величины при выполнении линейных измерений механическими СИ.
10. Дайте определение основных и дополнительных погрешностей СИ.
11. Что определяет класс точности СИ?
12. Какие факторы учитывают при выборе СИ?
13. От чего зависит величина допускаемой погрешности измерения и какие погрешности она включает?
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 СИ?
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. Дайте определение метрологической надежности СИ.
23. Перечислите и дайте определения основным свойствам надежности.
24. Чем вызвано изменение во времени метрологических характеристик СИ?
25. Дайте определение и приведите статистическую оценку вероятности безотказной работы.
26. Дайте определения интенсивности отказов, средней и гамма-процентной наработки до отказа.
27. Назовите законы распределения наработки до отказа в периоды внезапных и постепенных отказов.
28. Назовите основные показатели долговечности СИ.

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.

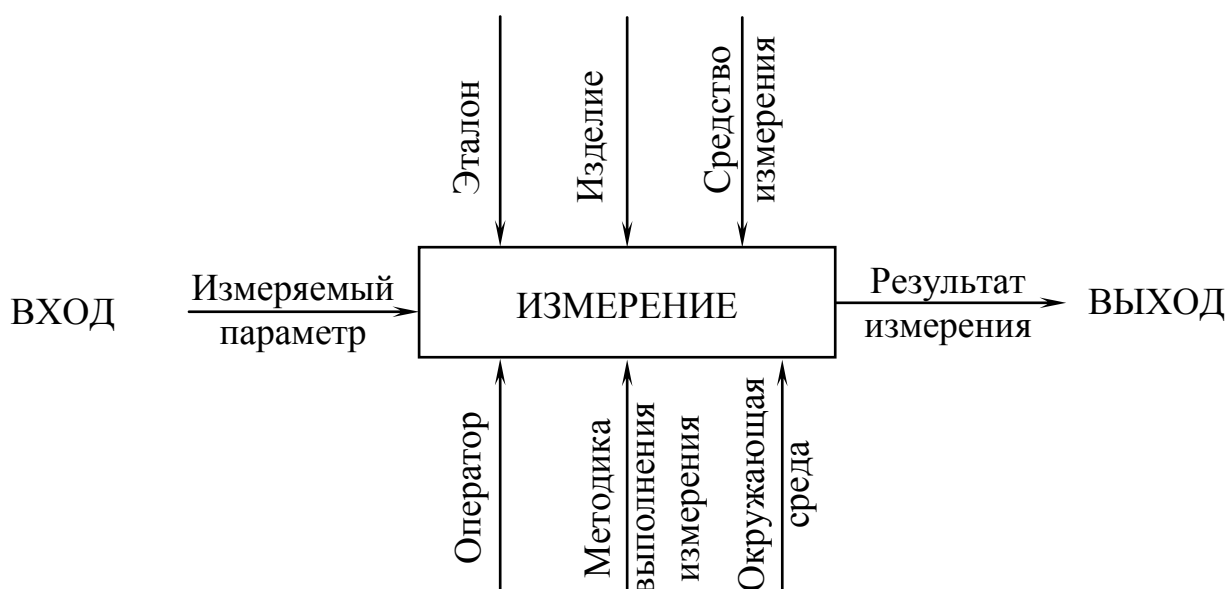


Рис. 7.1. Модель измерительного процесса

Качество измерительного процесса связано со статистическими характеристиками многократных измерений и определяется точностью и достоверностью измерений (рис. 7.2). Как отмечалось в первом разделе **точность измерений** является характеристикой качества измерений, отражающая близость к нулю погрешности его результата. Для описания точности измерений в ГОСТ Р ИСО 5725.1 «Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов

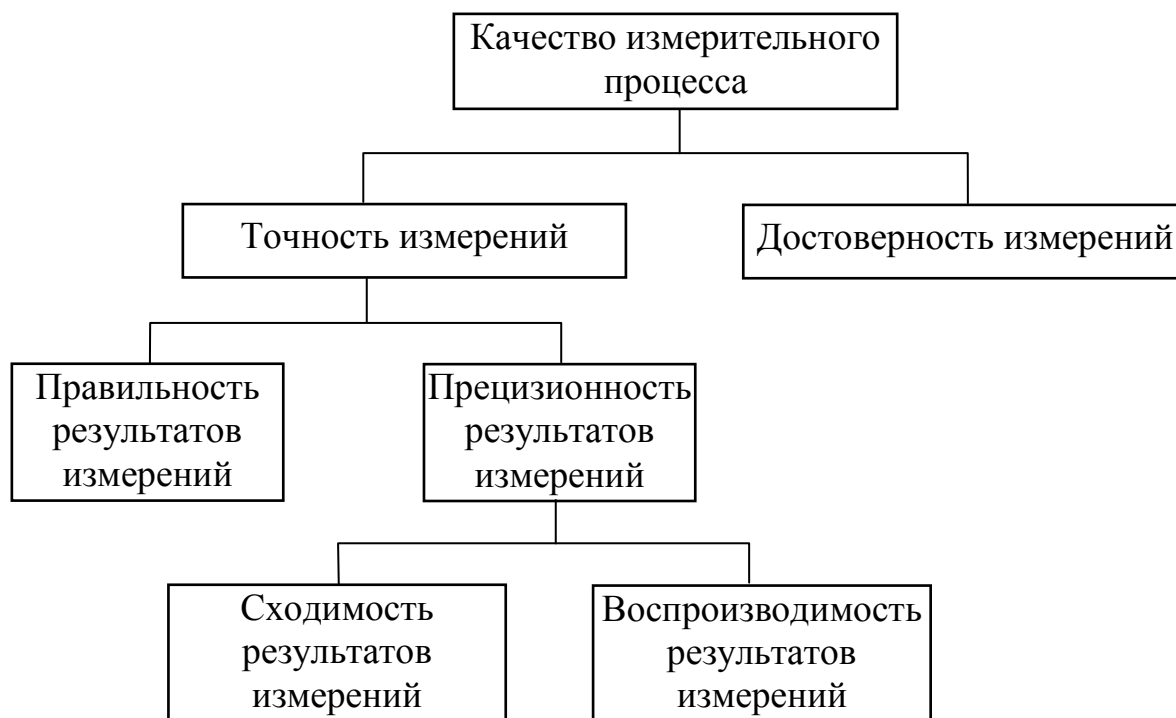


Рис. 7.2. Показатели качества измерительного процесса

измерений» используют два термина: правильность и прецизионность. Термин **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.

Показателем правильности измерений является значение систематической погрешности, которая обусловлена несовершенством реализации принятого метода измерений, погрешностью градуировки применяемого СИ, отклонением условий измерения от нормальных и др.

Абсолютное значение смещения среднего арифметического значения измеряемой величины (рис. 7.3) можно рассчитать по формуле

$$B = \bar{x} - x_{\text{и}}, \quad (7.1)$$

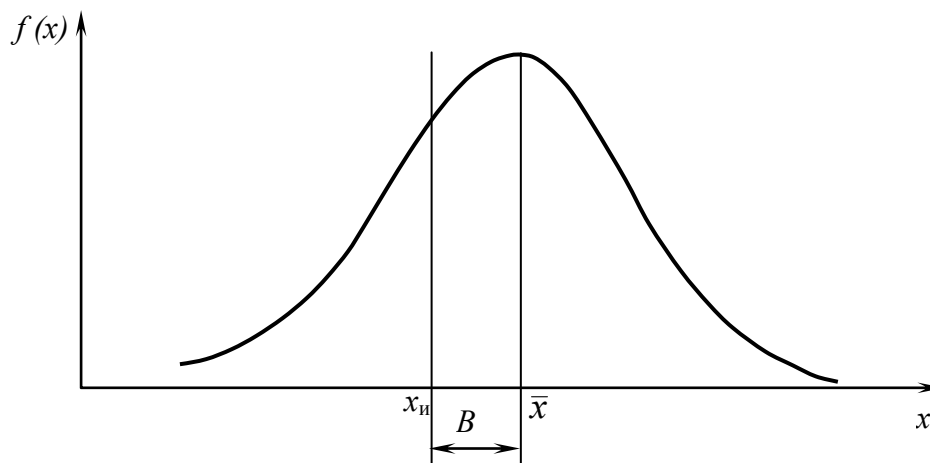


Рис. 7.3. Смещение среднего арифметического значения

где B – смещение среднего арифметического значения; \bar{x} – среднее арифметическое значение измеряемой величины; $x_{\text{и}}$ – истинное значение измеряемой величины.

Если абсолютное значение смещения известно и постоянно, то в результате измерений вносят соответствующую поправку со знаком, противоположным этому смещению (см. п. 4.3).

Определить значение смещения среднего арифметического значения измеряемой величины возможно только тогда, когда можно прямо или косвенно определить 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 51814.5 «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 СИ более высокой точности, чем СИ 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

$$\% B = \frac{|B|}{JT} \cdot 100, \quad (7.2)$$

где JT – 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. раздел 4). Поэтому при повторных измерениях одного и того же образца полученные 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, ре-

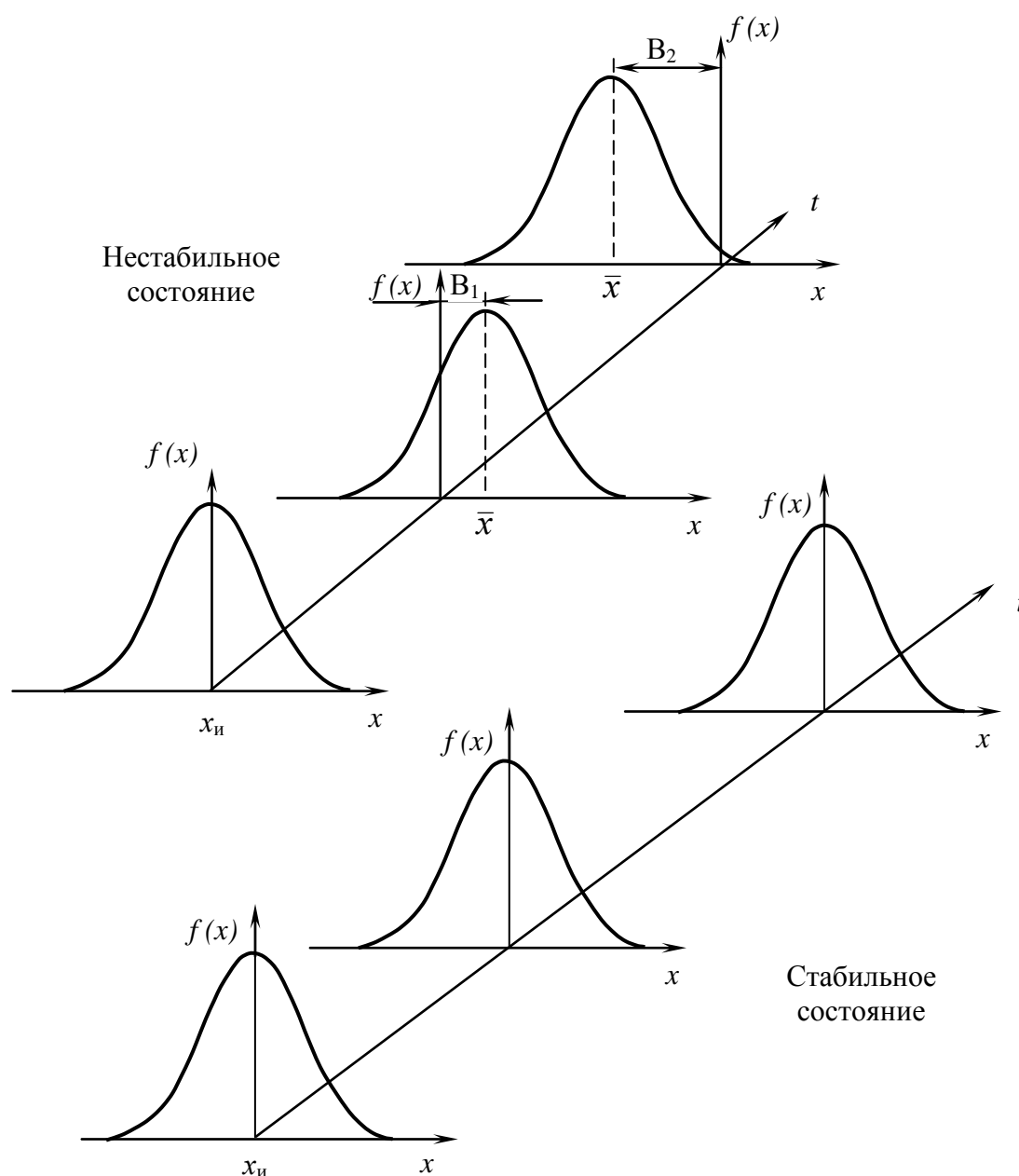


Рис. 7.4. Стабильность измерительного процесса

зультаты 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 «Статистические методы. Контрольные карты Шухарта».

Прецизионность результатов измерений – степень близости друг к другу независимых результатов измерений, полученных в конкретных регламентированных условиях. Прецизионность зависит только от случайных погрешностей и не имеет отношения 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 средней квадратической погрешностью результатов измерений (см. п. 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, также как и сходимость, количественно может быть выражена средней квадратической погрешностью результата измерения.

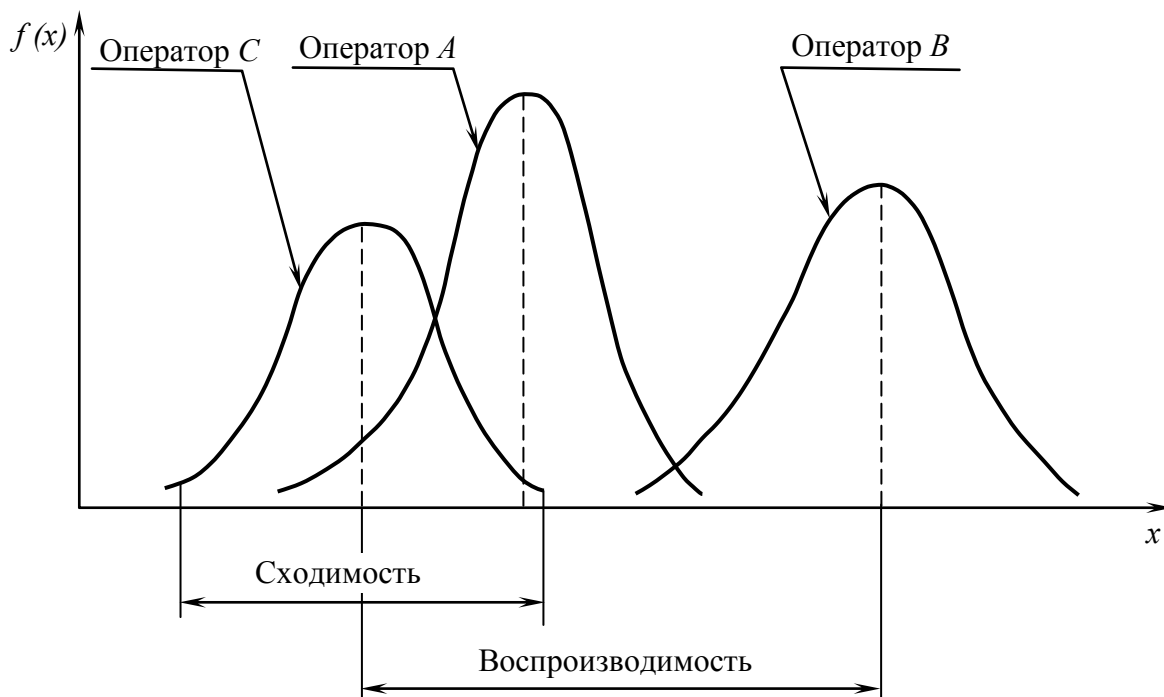


Рис. 7.5. Воспроизводимость результатов при измерении различными операторами

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. разделы 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 анализ качества измерительных процессов, входящих в состав технологических процессов, производится в следующей последовательности (рис. 7.6):

- исследуют измерительный процесс на стабильность;
- в случае нестабильного измерительного процесса – устраняют особые причины изменчивости;
- оценивают смещения измерительного процесса;
- оценивают сходимость и воспроизводимость результатов измерений;
- в случае неприемлемых сходимости и воспроизводимости результатов измерений – анализируют причины повышенной изменчивости, проводят корректирующие действия, повторно оценивают сходимость и воспроизводимость.

Подтверждение статистических характеристик измерительных процессов рекомендуется осуществлять не реже одного раза в год. Внеочередное

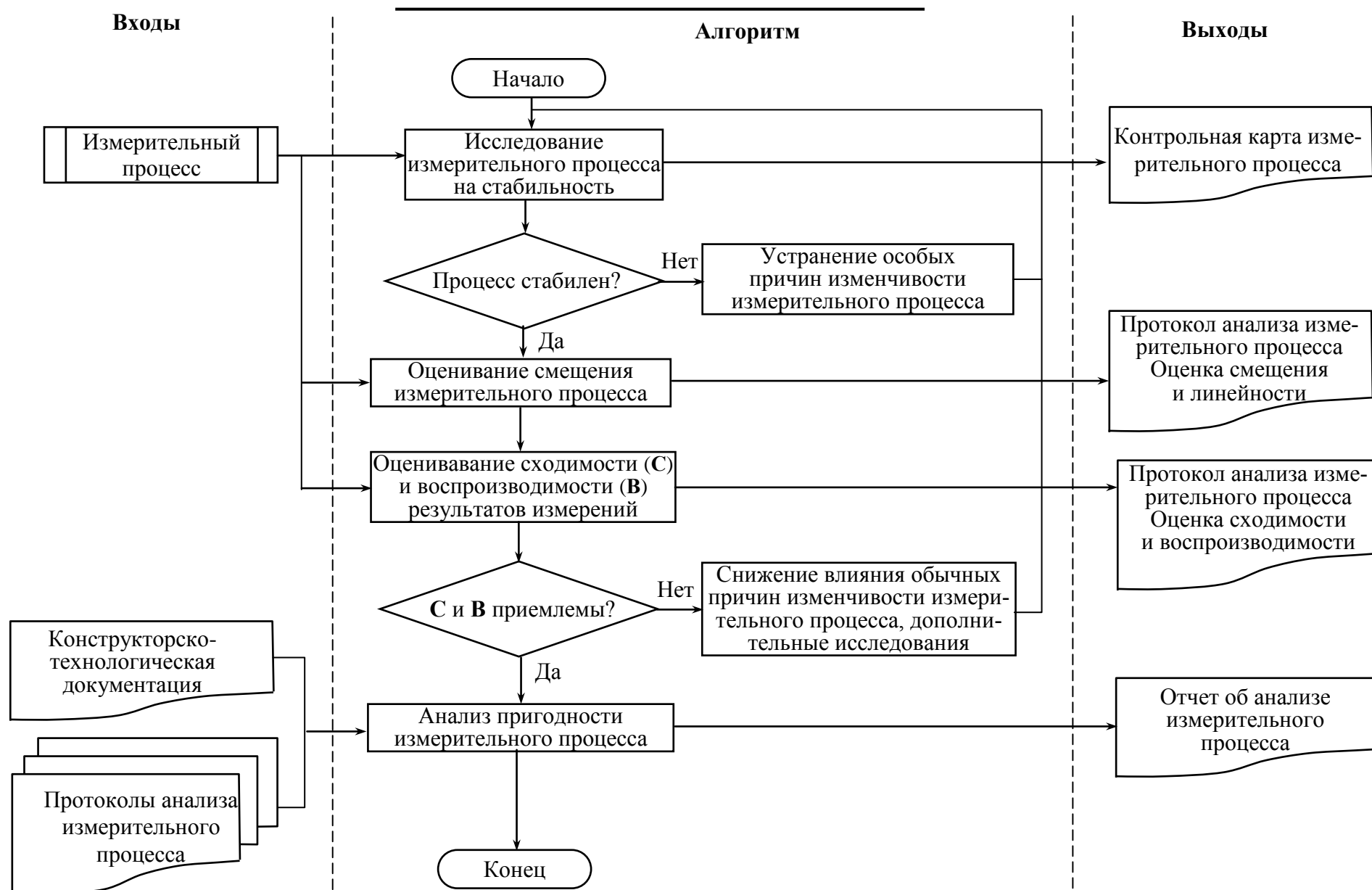


Рис. 7.6. Схема оценивания статистических характеристик измерительного процесса

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. Дайте определение измерительного процесса.
2. По каким показателям оценивают качество измерительного процесса ?
3. Что характеризует термин «правильность измерений» ?
4. Дайте определение стабильности измерительного процесса.
5. Дайте определение прецизионности 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 (СИ) процессов разработки, изготовления, испытания, эксплуатации и ремонта продукции.

МЭ является формой участия специалистов-метрологов в разработке технической документации. Целью такого участия является выявление ошибочных или недостаточно обоснованных решений по метрологическому обеспечению и оказание помощи разработчику в поиске наиболее рациональных решений. Введение МЭ приводит к совершенствованию метрологического обеспечения производства и, как следствие, способствует повышению качества выпускаемой продукции.

МЭ должна способствовать рациональному решению двух основных вопросов метрологического обеспечения производства изделий: *что измерять и с какой точностью* и связанных с ними вопросов выбора средств и методик выполнения измерений.

В связи с этим задачами МЭ технической документации являются [5, 12]:

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

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

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

8.2. Метрологическая экспертиза рабочей конструкторской документации

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

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

Таблица 8.1

**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 методики испытаний	технологические инструкции и регламенты	технологические карты	проектные документы
Рациональность номенклатуры измеряемых параметров		•		•	•	•	•	•	•
Оптимальность требований к точности измерений	•	•		•		•	•		•
Объективность и полнота требований к точности средств измерений	•	•		•	•	•	•		•
Соответствие фактической точности измерений требуемой		•	•	•	•	•	•	•	
Контролепригодность конструкции (схемы)		•			•				•
Возможность эффективного метрологического обслуживания средств измерений	•	•		•	•		•		•
Рациональность выбранных методик и средств измерений		•	•	•	•	•	•	•	•
Применение вычислительной техники		•		•		•	•		•
Метрологические термины, наименование измеряемых величин и обозначение единиц	•	•	•	•	•	•	•	•	•

При наличии качественных требований, предполагающих органолептический (с помощью органов чувств) контроль, необходимо проанализировать необходимость и возможность их замены на требования к физическим величинам, проверяемым путем измерений. Иногда 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.

Изменение 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, например, 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 во многих случаях точность формы и расположения поверхностей одновременно влияют на эксплуатационные свойства деталей [20]. К таким параметрам можно отнести отклонения от плоскостности и параллельности, плоскостности и перпендикулярности и некоторые другие, часто нерационально нормируемые и измеряемые раздельно.

С другой стороны, иногда целесообразно нормируемые комплексные параметры геометрической точности заменять 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 правильности взаимной увязки допусков формы, расположения, а также шероховатости поверхностей и допусков на размеры, проставляемых на чертеже детали*, следует руководствоваться ГОСТ 24643 и рекомендациями [10, 13].

Если для обеспечения служебного назначения изделия назначаются для одних и тех поверхностей 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 рекомендованы три уровня 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.

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 $R_a \leq 0,05IT$;

при уровне *B* – $R_a \leq 0,025IT$;

при уровне *C* – $R_a \leq 0,012IT$.

При заданных допусках биения *ТС* (радиального *ТСR* или торцового *ТСА*, 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 десяти 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 назначения указанных параметров точности и их допусков. При этом необходимо учитывать, что одни и те же свойства изделия могут быть обеспечены нормированием различных параметров. Например, при отсутствии в единичном производстве комплексных калибров для контроля позиционного отклонения осей отверстий под крепеж, возможна замена в соответствии с ГОСТ 28187 позиционных допусков предельными отклонениями координирующих размеров.

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

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

Достоверность измерений линейных размеров можно оценить величиной параметров *m* (количество неправильно принятых деталей), *n*

(количество неправильно забракованных деталей) и c (возможный выход за границу поля допуска у неправильно принятых деталей), определяемыми по ГОСТ 8.051 в зависимости от точности технологического процесса обработки деталей и точности измерений (см. р. 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, ГОСТ 8.417 и др. Правильное использование терминологии – залог предотвращения ошибок и неоднозначности в содержании технической документации. В документации разрешается применение единиц международной системы (СИ), кратных и дольных единиц СИ, единиц, допущенных к применению наравне с единицами СИ.

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

Целью МЭ чертежа детали является установление возможности контроля заложенных в чертеже норм точности.

МЭ чертежа детали выполняется в следующей последовательности.

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

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

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

4. Определяют контролепригодность указанных в п. 3 допусков.

5. Определяют достоверность контроля назначенных норм точности.

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

Пример 8.1. Выполнить метрологическую экспертизу чертежа шлицевого вала (рис. 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

c

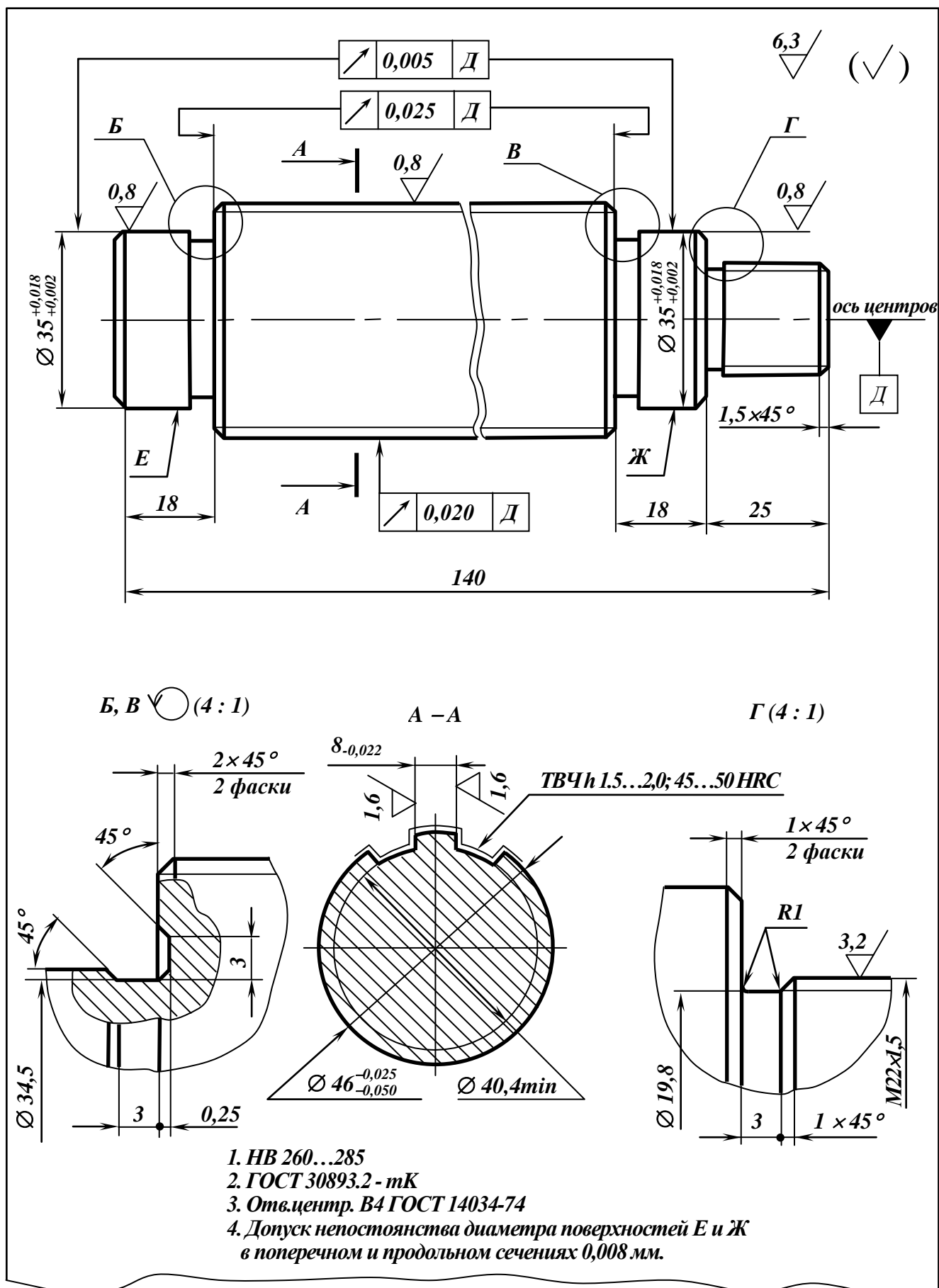


Рис. 8.1. Чертеж шлицевого вала

центрированием по наружной поверхности шлиц, является вспомогательной базой и служит для установки на ней блока шестерен. Наружная резьба $M 22 \times 1,5$ является крепежной, позволяющей с помощью гайки фиксировать осевое положение устанавливаемых на вал деталей.

Точность размеров поверхностей Е и Ж, а также наружного диаметра и ширины шлиц определена указанными на чертеже предельными отклонениями. Точность остальных размеров вала соответствует среднему классу «*m*» по ГОСТ 30893.1 «Общие допуски. Предельные отклонения линейных и угловых размеров с неуказанными допусками».

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

Шероховатость всех поверхностей вала задана параметром 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 «Подшипники качения. Поля допусков и технические требования к посадочным поверхностям валов и корпусов. Посадки» и ГОСТ 139 «Соединения шлицевые прямобочные. Размеры и допуски».

Недопустимым является отсутствие на чертеже требований к точности резьбы $M 22 \times 1,5$. Так как резьба крепежная, в соответствии с ГОСТ 16093 «Резьба метрическая. Допуски. Посадки с зазором» предпочтительным является использование поля допуска 6g.

С точки зрения контролепригодности установленные на линейные размеры допуски возражений не вызывают. В соответствии с рекомендациями [6] диаметры $\varnothing 35^{+0,018}_{+0,002}$ и $\varnothing 46^{-0,025}_{-0,050}$ 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 $\varnothing 35^{+0,018}_{+0,002}$ 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 [6].

Оценим достоверность контроля на примере измерения шейки вала $\varnothing 35_{+0,018}^{+0,002}$. Согласно ГОСТ 8.051 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, а радиального биения наружной поверхности шлиц по ГОСТ 24643. Они не превышают допусков соответствующих размеров и возражений не вызывают.

Для исключения переноса колец подшипников, установленных на вал, согласно ГОСТ 3325, 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 достигать до $\Delta_\delta = 12$ мкм [17]. Таким образом методическая погрешность измерения

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

То есть методическая погрешность измерения в 14 раз превышает допускаемую погрешность измерения, которая согласно ГОСТ 22187 равна $\delta = 0,9$ мкм.

Устранить методическую составляющую погрешности измерения можно путем замены допуска радиального биения шеек под подшипники относительно оси центровых отверстий на допуск соосности этих шеек относительно их общей оси, заданном в диаметральной выражении. Измерение

можно выполнить при установке детали на ножевидные призмы (рис. 8.2) и использовании в качестве СИ головки измерительной рычажно-зубчатой 1ИГ с ценой деления 0,001 мм. Погрешность измерения отклонения от соосности по предложенной схеме при соблюдении нормальных условий выполнения измерений будет равна инструментальной погрешности средства измерения $\Delta_{\text{и}} = \Delta_{\text{си}} = 0,8 \text{ мкм}$ [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].

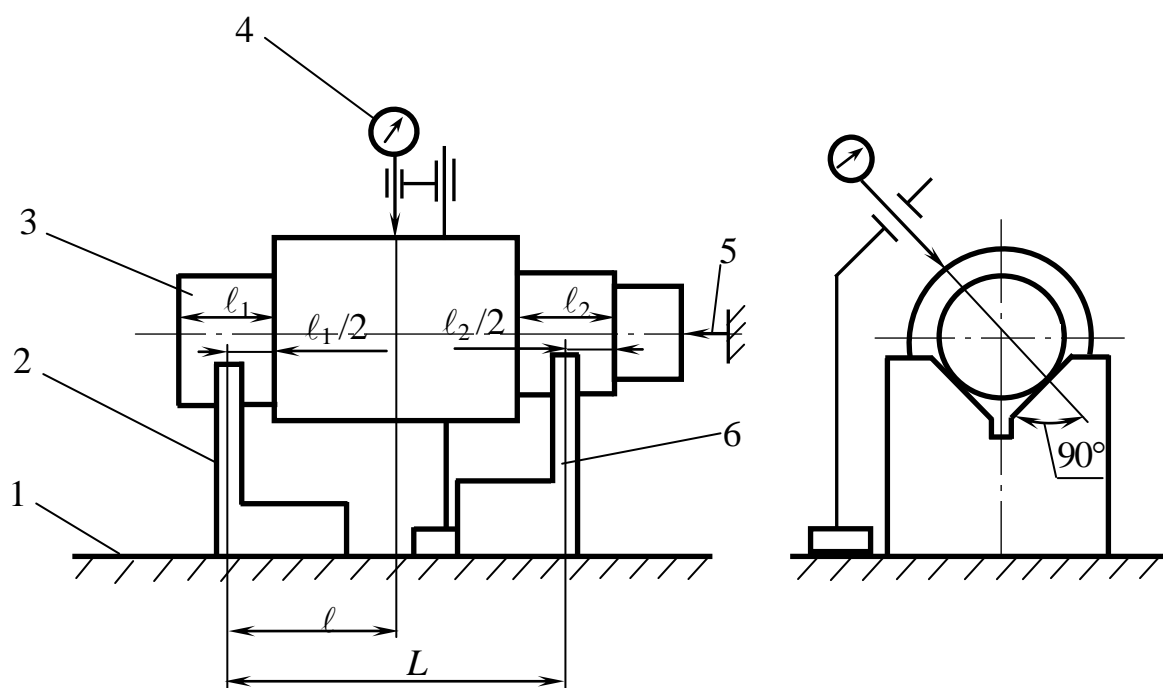


Рис. 8.2. Схема измерения соосности шеек под подшипники шлицевого вала:

1 – поверочная плита; 2, 3 – измеряемые головки; 4 – упор;
5 – ножевидная призма; 6 – измеряемая деталь

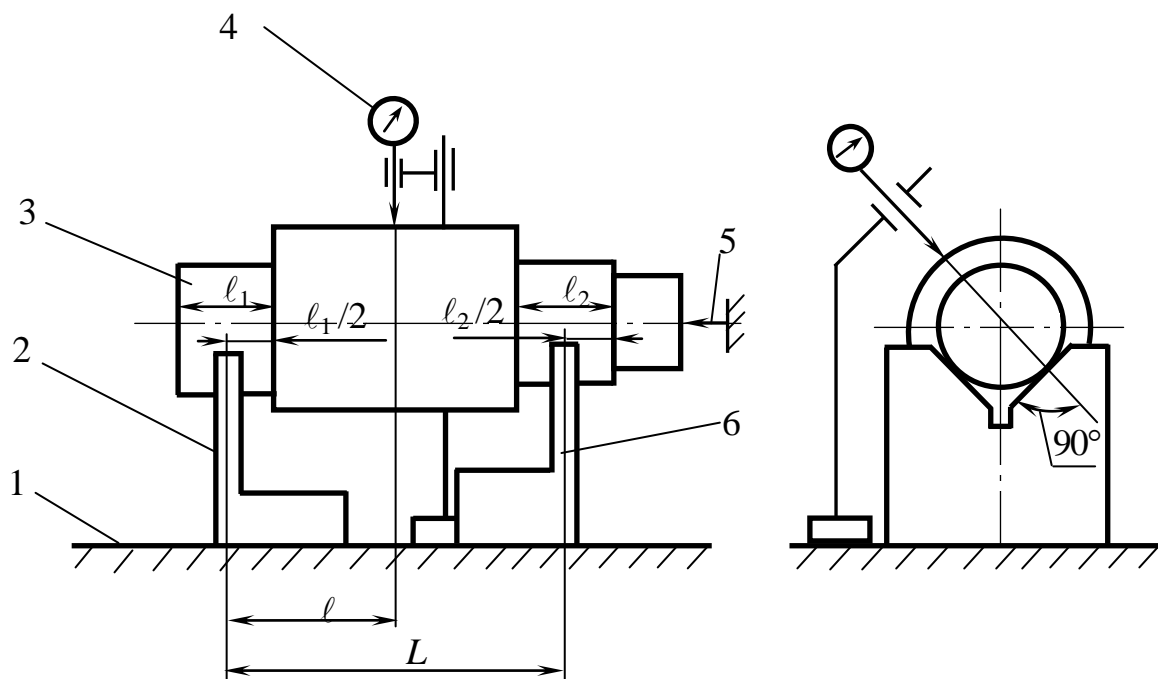


Рис. 8.3. Схема измерения радиального биения наружной поверхности шлиц относительно общей оси шеек под подшипники:
 1 – поверочная плита; 2 и 6 – ножевидные призмы; 3 – измеряемая деталь; 4 – индикатор многооборотный; 5 – упор

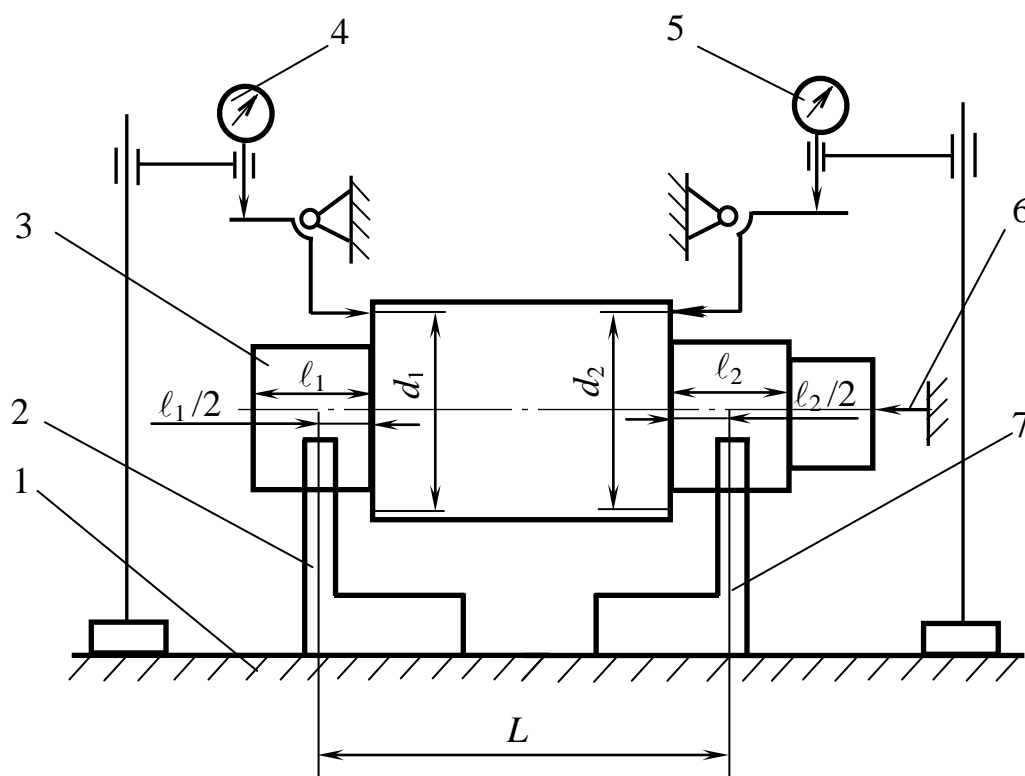


Рис. 8.4. Схема измерения торцового биения заплечиков вала относительно общей оси шеек под подшипники: 1 – поверочная плита; 2 и 7 – ножевидные призмы; 3 – измеряемая деталь; 4 и 5 – индикаторы часового типа; 6 – упор

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

$$\Delta_u = \sqrt{\Delta_{cu}^2 + \left(\Delta_{\phi 1} \frac{d_1}{L}\right)^2 + \left(\Delta_{\phi 2} \frac{d_2}{L}\right)^2},$$

где Δ_{cu} – инструментальная погрешность средства измерения, мкм; $\Delta_{\phi 1}$ и $\Delta_{\phi 2}$ – соответственно отклонение формы (отклонение от круглости) поверхности первой и второй базовой шейки; d_1 и d_2 – диаметры измерения торцового биения первого и второго заплечиков вала, мм; L – расстояние между ножевидными призмами, мм.

Так как по чертежу детали $d_1 = d_2$ (см. рис. 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 будет равна

$$\Delta_{u1} = \Delta_{u2} = \sqrt{6^2 + 2\left(4 \frac{42}{96}\right)^2} = 6,5 \text{ мкм.}$$

Погрешность измерения торцового биения $\Delta_u = 6,5$ 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 $\Delta_{\phi 1} = \Delta_{\phi 2} = \Delta_{\phi}$:

$$\Delta_u = \sqrt{\Delta_{cu}^2 + \Delta_{\phi}^2}.$$

При использовании индикатора многооборотного 2МИГ с ценой деления 0,002 мм и $\Delta_{cu} = 5$ мкм [18], с учетом максимального значения отклонения от круглости поверхностей базовых шеек $\Delta_{\phi} = 4$ мкм; и нормальных условий выполнения измерений

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

Погрешность измерения радиального биения $\Delta_u = 6$ мкм меньше допускаемой погрешности измерения $\delta = 7$ мкм [10], следовательно измерение можно выполнять по предложенной на рис. 8.3 схеме.

Рассмотрим требования к допускам формы поверхностей вала. В соответствии с нормативными документами (ГОСТ 3325) 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 3-мя и 5-ью 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 [18], достаточно сложно. При отсутствии в производстве специального средства измерения отклонения формы посадочных поверхностей в продольном сечении целесообразно ограничивать непостоянством диаметра вдоль оси детали, что не противоречит стандарту. Предполагая отсутствие значительной огранки с нечетным числом граней и учитывая небольшую длину посадочных поверхностей вала (см. рис. 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 $\pm (1 - 2)$ делениях шкалы и четырехкратным измерением при соблюдении нормальных условий выполнения измерений. Тогда погрешность измерения будет равна $\Delta_u = 0,8$ мкм, что меньше допустимой погрешности измерения $\delta = 3$ мкм [13].

Шероховатость поверхностей шеек вала под подшипники ограничена средним арифметическим отклонением профиля $R_a = 0,8$ мкм, что

соответствует рекомендуемому соотношению $R_a \leq 0,05JT \leq 0,8$ мкм и ГОСТ 3325.

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

Требования к шероховатости остальных поверхностей шлицевого вала соответствуют рекомендованным.

Обозначение шероховатости поверхностей детали не соответствует изменению № 3 к ГОСТ 2.309, введенного с 1 января 2005 года.

Таким образом, на основании проведенной метрологической экспертизы чертежа шлицевого вала следует:

- ограничить резьбовую поверхность вала $M 22 \times 1,5$ 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 заплечиков вала $R_a \leq 1,6$ мкм;
- привести обозначения шероховатости в соответствие с изменением № 3 к ГОСТ 2.309.

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**

№ п.п.	Замечания	Предложения
1	Не ограничена полем допуска резьбовая поверхность шлицевого вала $M\ 22 \times 1,5$	Установить требования по точности резьбы $M\ 22 \times 1,5 - 6g$
2	Допуск радиального биения шеек вала под подшипники относительно оси центровых отверстий задан не от основных конструкторских баз вала. При контроле этого допуска методическая составляющая погрешности измерения превышает допустимую погрешность измерения	Проставить допуск соосности шеек вала под подшипники $0,005$ мм в диаметрально выраженном отношении относительно их общей оси
3	Допуск радиального биения наружной поверхности шлицевого вала задан не от основных конструкторских баз детали	Проставить допуск радиального биения наружной поверхности шлицевого вала $0,02$ мм относительно общей оси шеек вала под подшипники
4	Допуск торцового биения заплечиков вала относительно оси центровых отверстий не позволяет ограничить перекосящиеся кольца подшипников при работе узла, так как задан не от основных конструкторских баз вала	Проставить допуск торцового биения заплечиков вала $0,025$ мм относительно общей оси шеек вала под подшипники
5	Требования к шероховатости заплечиков вала $R_a \leq 6,3$ мкм не соответствуют ГОСТ 3325	Установить требования к шероховатости заплечиков вала $R_a \leq 1,6$ мкм
6	Обозначение шероховатости поверхностей вала не соответствует изменению № 3 к ГОСТ 2.309, введенного с 1 января 2005 г.	Привести обозначение шероховатости вала в соответствии с изменением № 3 к ГОСТ 2.309

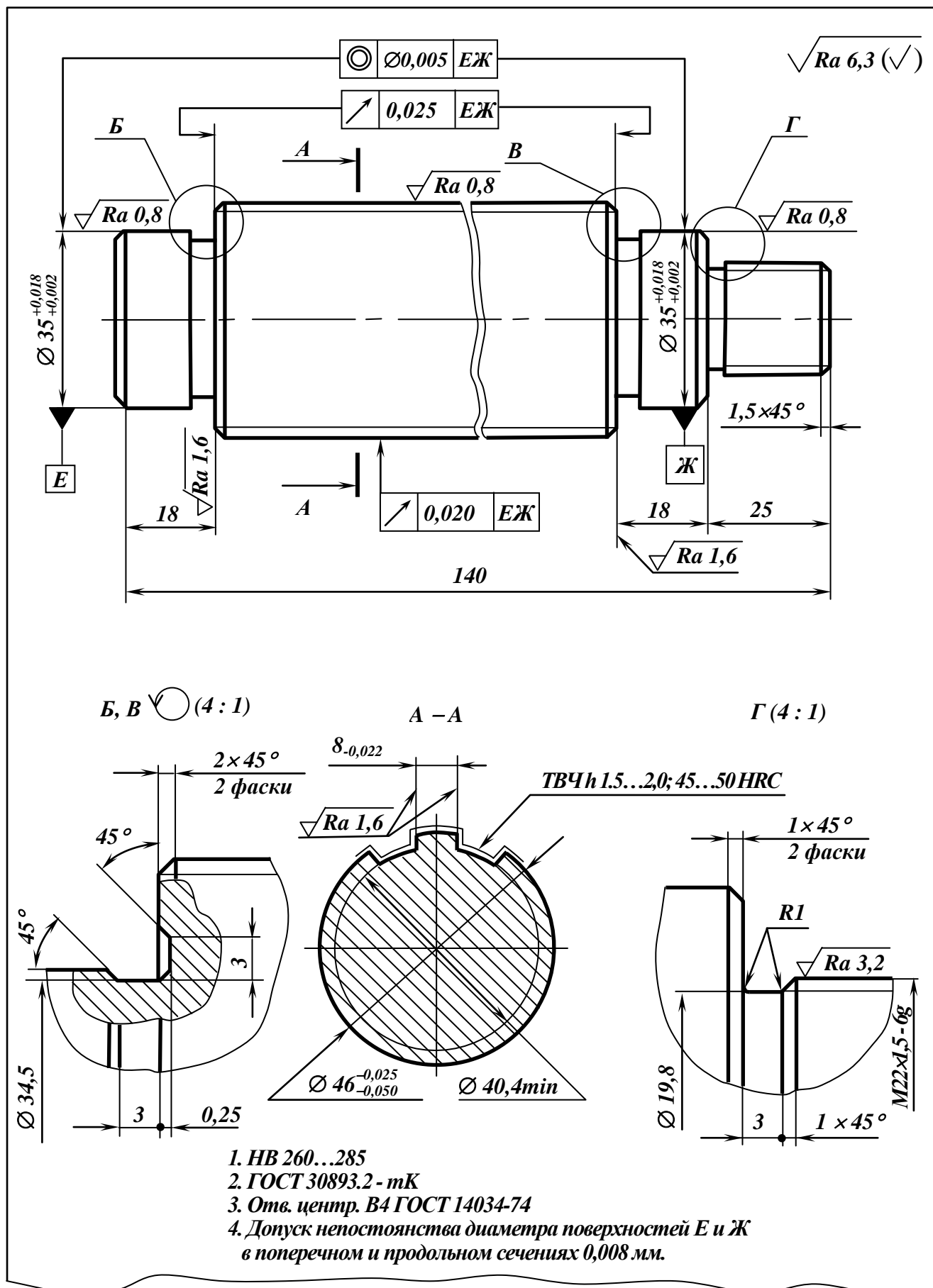


Рис. 8.5. Чертеж шлицевого вала после метрологической экспертизы

8.3. Метрологическая экспертиза технологической документации

Цели МЭ технологической документации те же, что и МЭ рабочей конструкторской документации [5, 13]. 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 количества неправильно забракованных деталей, что способствует увеличению себестоимости изделия. Если процент ложного брака окажется недопустимо большой, то предлагается технологическим службам 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);
- проверку 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 метрологическая экспертиза технической документации?
2. Перечислите задачи метрологической экспертизы технической документации.
3. Какую документацию подвергают метрологической экспертизе?
4. Назовите уровни рационального соотношения допусков формы и допуска размера.
5. Как оценивается достоверность измерений линейных размеров?
6. Приведите последовательность метрологической экспертизы чертежа детали.
7. Как оформляются результаты метрологической экспертизы?
8. Назовите цель метрологической экспертизы технологической документации.

Приложение 1

Значения интеграла вероятностей $\Phi_0(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^z e^{-\frac{z^2}{2}} dz$

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	1,96	0,3315	2,40	0,49180
0,14	0,0557	0,44	0,1700	1,98	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
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 $\Phi(-z) = -\Phi(z)$.

Приложение 2

Значения критерия Фишера для различных уровней значимости

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	20,9	1,99	1,62
∞	3,84	2,99	2,60	2,37	2,21	2,09	19,4	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 (по 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 точ- ности «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	1000
Свыше 315 до 500	300	500	1000	1500

Примечание. Устанавливаемые ГОСТ 8.549 погрешности являются наибольшими погрешностями измерения, включающими все составляющие. Допускаемые погрешности включают случайные неучтенные систематические погрешности измерения. Случайные погрешности принимаются равными 2σ , где σ – среднее квадратическое отклонение погрешности измерения.

Приложение 5

Допускаемые погрешности измерений отклонений формы и расположения поверхностей, мкм (по ГОСТ 28187-89)

Допуск формы или расположения поверхности измеряемой детали	Допускаемая погрешность измерений	Допуск формы или расположения поверхности измеряемой детали	Допускаемая погрешность измерений	Допуск формы или расположения поверхности измеряемой 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	10000	2000
3	1	200	50	12000	2400
4	1,4	250	50	16000	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 табл., относятся к допускам в радиусном выражении. Если числовые значения этих допусков заданы в диаметральной 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	св. 10 до 50	св. 50 до 80	св. 80 до 120	св. 120 до 180	св. 180 до 250	св. 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		Варианты использования	Условия применения					Предельные погрешности измерения, мкм, для диапазона размеров, мм									
№ п.п.	наименование и случаи применения		вид контакта	класс приме- няемых конце- вых мер	температурный ре- жим, °С, для диапазо- на размеров, мм			до 25	св. 25 до 50	св. 50 до 75	св. 75 до 100	св. 100 до 125	св. 125 до 150	св. 150 до 175	св. 175 до 200	св. 200 до 250	св. 250 до 300
					0-50	50-200	200-500										
1.	Микрометры гладкие (МК) с величиной отсчета 0,01 мм при настройке на нуль по установочной мере	a* 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
2.	Микрометры рычажные (МР и МРИ) с ценой деления 0,002 мм и 0,01 мм при установке на нуль по установочной мере и скобы рычажные (СР) с ценой деления 0,002 мм при настройке на нуль по концевым мерам длины при использовании на всем пределе измерения	a*	любой	3	5	5	5	4	7	9	12	14	16	18	21	26	30
		б**	любой	3	5	2	1	4	4,5	5	5	6	7	7	7	7	7
		a*	Пло- скост- ный и линей- ный	2	5	2	1	2	3	3	3	3,5	4	4,5	5	4	5
		б**	Пло- скост- ный и линей- ный	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.

Приложение 8

Предельные погрешности измерения внутренних линейных размеров универсальными измерительными средствами [4]

Средства измерения		Варианты использования	Условия измерения					Предельные погрешности измерения, мкм, для диапазона размеров, мм			
№ п.п.	наименование и случаи применения		используе- мое пере- мещение измери- тельного стержня, мм	средства установки	шерохова- тость по- верхности отверстий <i>Ra</i> , мкм	температурный режим, °С, для диапазона раз- меров, мм		св. 3 до 18	св. 18 до 50	св. 50 до 120	св. 120 до 250
						3-120	120-500				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1.	Штангенциркули (ШЦ-I, ШЦ-II, ШЦ-III) с отсчетом по нониусу 0,1 мм	—	—	—	5	7		200	200	25110	300
2.	Штангенциркули (ШЦ-II, ШЦ-III) с отсчетом по нониусу 0,05 мм	—	—	—	5	7		150	150	200	200
3.	Нутромеры микромет- рические с величиной отсчета 0,01 мм	а	13	Микропара уста- навливается по ус- тановочной мере	5	5	3	—	—	15	20
		б		Аттестуется размер собранного нутро- мера				—	—	10	15

Окончание											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
4.	Нутромеры индикаторные с ценой деления отсчетного устройства 0,01 мм	а	весь диапазон	Концевые меры длины 3 класса с боковиками или микрометры ²	5	5	3	15	20	25	25
		б	0,1		1,25			10	10	15	15
	Нутромеры индикаторные с ценой деления отсчетного устройства 0,01 мм	в	0,03	Концевые меры длины 1 класса с боковиками или установочные кольца (до 160 мм)	0,32	3	2	5	5	10	10
5.	Нутромеры индикаторные (НИ) при замене отсчетного устройства измерительной головкой с ценой деления 0,001 или 0,002 мм	а	0,1	Концевые меры длины 1 класса или установочные кольца (до 160 мм)	1,26	3	2	4,5	5,5	6,5	7,5
		б	0,03		0,32			2,8	3,5	4,5	6,5
6.	Нутромеры с ценой деления отсчетного устройства 0,001 и 0,002 мм	а	0,1	Концевые меры длины 1 класса с боковиками или установочные кольца (до 160 мм)	1,25	3	2	3,5	5	6	7
		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)	,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												
№ п/п	Наименование и случаи применения	Установочные узлы по ГОСТ 10197	Используемое перемещение измерительного стержня, мм	Классы применяемых концевых мер	Температурный режим, ° С, для диапазона измеряемых размеров, мм			1 - 3	3 - 6	6 - 10	10 - 18	18 - 30	30 - 50	50 - 80	80 - 120	120 - 180	180 - 250	400 - 500		
					1-30	30-120	120-500													
1	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 80 мм и наибольшим вылетом головки до 200 мм (С-IV; Ш-11Н; ШМ-11Н) Св. 250 мм – штативы с диаметром колонки не менее 50 мм и наибольшим вылетом головки до 500 мм (Ш-11В; ШМ-11В)	10	5	5	5	5	15	15	15	15	16	16	18	20	22	25	45		
			5	5	5	5	5	12	13	13	13	14	14	15	18	20	25	45		
			2	4	5	5	2	10	10	10	10	10	10	12	12	12	14	22		
			1	3	5	2	1	8	8	8	8	8	8	8	8	8	9	12		
			0,1	3	5	2	1	5	5	5	5	5	5	6	6	6	7	10		
	То же, класс точности 0		10	4	5	5	2	12	12	12	12	12	12	13	14	14	15	22		
			5	4	5	5	2	10	10	10	10	10	10	12	12	12	14	22		
			2	3	5	5	2	8	8	8	9	9	9	10	10	10	10	16		
			1	3	5	2	1	6	6	6	7	7	7	7	7	7	8	12		
			0,1	3	5	2	1	4	4	4	4	4	4	5	5	6	7	10		
	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		10	—	—	—	—	21												
			5	—	—	—	—	17												
			2	—	—	—	—	13												
			1	—	—	—	—	11												
			0,1	—	—	—	—	8												
	То же, класс точности 0		0,02-0,03	—	—	—	—	6												
			10	—	—	—	—	16												
			5	—	—	—	—	14												
			2	—	—	—	—	11												
			1	—	—	—	—	10												
			0,1	—	—	—	—	6												

Продолжение табл.

Средства измерения		Условия измерения							Предельные погрешности измерения, мкм, для диапазона размеров, мм									
№ п/п	Наименование и случаи применения	Используемое измерительное средство, в мм	Установочные узлы по ГОСТ 10197	Применяемые концевые меры		Температурный режим, °С, для диапазона измеряемых размеров, мм												
				Класс	Разряд	1-30	30-120	120-250	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. 12- до 180	св. 180 до 250
2	Головки рычажно-зубчатые (2ИГ) с ценой деления 0,002 мм и пределом измерения $\pm 0,1$ мм; с настройкой по концевым мерам длины на любое деление	$\pm 0,10$	Штативы*	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	$\pm 0,06$	Стойки**	–	5	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 (2ИГ) с ценой деления 0,002 мм и пределом измерения $\pm 0,1$ мм; при измерении биений	0,04	Штативы*	–	–	–	–	–	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,8	1,8	1,8
3	Головки рычажно-зубчатые (1ИГ) с ценой деления 0,001 мм и пределом измерения $\pm 0,05$ мм; с настройкой по концевым мерам длины на любое деление	$\pm 0,050$	Штативы*	–	5	2	1	0,5	2	2	2	2	2	2	2	2,5	2,5	2,8
	То же, с настройкой на нулевое деление	$\pm 0,030$	Стойки**	–	4	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 $\pm 0,05$ мм; при измерении биений	0,020	Штативы*	–	–	–	–	–	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	1,1	1,1	1,1

Окончание табл.

Средства измерения		Условия измерения						Предельные погрешности измерения, мкм, для диапазона размеров, мм									
№ п/п	Наименование и случаи применения	Используемое перемещение измерительного стержня, мм	Установочные узлы по ГОСТ 10197	Класс применяемых концевых мер	Температурный режим, °С, для диапазона измеряемых размеров, мм												
					1-30	30-120	120-250	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. 12- до 180	св. 180 до 250
4	Индикаторы многооборотные (2МИГ) с ценой деления 0,002 мм и пределом измерения 2 мм	2	Штативы*	4	5	5	2	5	5	5	6	6	7	8	10	10	10
		1	Штативы*	3	5	2	2	5	5	5	5	5	5	5	6	7	8
		0,4	Стойки**	2	5	1	0,5	3	3	3	4	4	4	4	4	4	
	То же, при измерении биений	2	Штативы*	—	—	—	—	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
		1	Штативы*	—	—	—	—	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
		0,05	Стойки**	—	—	—	—	2	2	2	2	2	2	2	2	2	—
5	Индикаторы многооборотные (1МИГ) с ценой деления 0,001 мм и пределом измерения 1 мм	1	Штативы*	2	5	1	0,5	3	3	3	3	3	3	3	3,5	3,5	4
		0,2	Стойки**		5	1	0,5	2	2	2,2	2,5	2,5	2,5	2,5	3	3	
	То же, при измерении биений	1	Штативы*	—	—	—	—	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
		0,05	Стойки**	—	—	—	—	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 СИ.
3. Определение погрешности измерения линейных размеров деталей универсальными СИ.
4. Обработка результатов многократных прямых равноточных и неравноточных измерений.
5. Обработка результатов косвенных измерений.
6. Выбор универсальных СИ линейных размеров.
7. Расчет исполнительных размеров калибров.
8. Расчет настроечных размеров регулируемых скоб для контроля валов.
9. Метрологическая экспертиза рабочего чертежа детали.

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 для ...

- а) Установления определенных погрешностей измерения.
- б) Достижения единства и требуемой точности измерения.
- в) Нахождения значения физической величины опытным путем.
- г) Извлечения количественной информации о свойствах объектов.

2. Нахождение значения физической величины 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 и ...

- а) 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 в ... веке.

- а) 12.
- б) 18.
- в) 19.
- г) 20.

10. Международная система единиц ФВ – система СИ, принята XI Международной конференцией по мерам и весам в ...

- а) 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 РФ 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 (ЦСМ).
- б) Центр регистра систем качества.
- в) Региональная метрологическая служба (РМС).
- г) Региональный центр технического регулирования.

13. Одной из задач регионального центра стандартизации и метрологии (ЦСМ) 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. Законом ... определены виды и сферы распространения государственного контроля и надзора за состоянием и применением средств измерений.
- 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 из результатов к действительному значению измеряемой величины.
 - в) Постоянство результатов измерений во времени.
 - г) Постоянство погрешности измерений во времени.
17. ГСИ состоит из ...
- а) 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 (ЦСМ) не выполняют следующие функции ...
- а) Поверку СИ при выпуске их из производства и ремонта, при вводе по импорту и эксплуатации.
 - б) Контроль за соответствием выпускаемых и применяемых СИ утвержденным типам.
 - в) Аттестацию поверителей, работающих в аккредитованных на права поверки метрологических службах юридических лиц.
 - г) Государственный метрологический надзор за выпуском, состоянием и применением СИ, 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 СИ.
20. Государственный метрологический контроль не включает в себя ...
- а) Утверждение типа СИ.
 - б) Поверку СИ.
 - в) Сертификацию СИ.

г) Лицензирование деятельности юридических и физических лиц по изготовлению, ремонту, продаже и прокату СИ.

Единицы и системы единиц физических величин

21. Под ... понимается свойство, общее в качественном отношении для многих физических объектов, но в количественном отношении индивидуальное для каждого объекта.

- а) Технической величиной.
- б) Метрологической величиной.
- в) Квалиметрической величиной.
- г) Физической величиной.

22. Количественной характеристикой любого свойства служит ...

- а) Размер.
- б) Значение.
- в) Эталон.
- г) Мера.

23. Упорядоченная совокупность значений физической величины, служащая исходной основой для измерения данной величины, называется ...

- а) Свойством величины.
- б) Размером величины.
- в) Шкалой величины.
- г) Единицей величины.

24. Основными единицами системы СИ являются ...

- а) Сантиметр, грамм, минута и др.
- б) Километр, тонна, час и др.
- в) Метр, килограмм, секунда и др.
- г) Миллиметр, миллиграмм, секунда и др.

25. Международная система единиц (СИ) состоит из ... единиц.

- а) 50 основных и 50 производных.
- б) 7 основных и около 100 производных.
- в) 100 основных и 7 производных.
- г) 7 основных и 7 производных.

26. Внесистемной единицей плоского угла, допускаемой к применению наравне с единицами системы СИ, является ...

- а) Градус.
- б) Стерadian.
- в) Парсек.
- г) Радиан.

27. Физическая величина, входящая в систему и условно принятая в качестве независимой от других единиц этой системы, называется ...

- а) Внесистемной.

- б) Основной.
- в) Производной.
- г) Дополнительной.

28. Дополнительной единицей плоского угла в системе СИ является ...

- а) Градус.
- б) Стерadian.
- в) Парсек.
- г) Радиан.

29. Сила в 1 кгс (система МКГСС) в ... раз больше силы 1 Н.

- а) 0,981.
- б) 9,81.
- в) 98,1.
- г) 981.

30. Внесистемная единица давления – техническая атмосфера (1 ат) равна ...

- а) $9,81 \cdot 10^4$ Па.
- б) $9,81 \cdot 10^3$ Дж.
- в) 9,81 Н.
- г) 0,981 Вт.

31. Сила определяется по уравнению $F = m \cdot a$, где m – масса тела, a – ускорение, сообщаемое этому телу силой F . Размерность силы ...

- а) $L^{-1} MT^{-2}$
- б) $L MT^{-2}$
- в) MT^2
- г) $L^3 MT^{-2}$

32. Международная система единиц (СИ) состоит из ... единиц.

- а) 50 основных и 50 производных.
- б) 7 основных и около 100 производных.
- в) 100 основных и 7 производных.
- г) 7 основных и 7 производных.

Воспроизведение единиц физических величин и передача их размеров

33. Совокупность операций по материализации единицы физической величины с наивысшей в стране точностью посредством государственного эталона называется ...

- а) Поверкой средства измерения.
- б) Поверкой первичного эталона.
- в) Воспроизведением единицы физической величины.
- г) Воспроизведением средства измерения.

34. Средство измерения, предназначенное для воспроизведения и (или) хранения единицы и передачи ее размера нижестоящим по поверочной схеме средством измерения и утвержденное в установленном порядке, называется ...
- а) 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 измерения, называется ...
- а) Первичным эталоном.
 - б) Вторичным эталоном.
 - в) Государственным эталоном.
 - г) Исходным эталоном.
37. Эталон, предназначенный для передачи размера единицы рабочим средствам измерения, называется ...
- а) Первичным эталоном.
 - б) Вторичным эталоном.
 - в) Рабочим эталоном.
 - г) Национальным эталоном.
38. Поверка средства измерения – определение метрологическим органом ... и установление пригодности к применению.
- а) Чувствительности средства измерения.
 - б) Нормальных условий использования средства измерения.
 - в) Погрешности средства измерения.
 - г) Истинное значение физической величины.
39. ... устанавливает систему передачи единицы физической величины от государственного эталона рабочим средствам измерения.
- 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 поверочного и образцового прибора.
 - г) Измерения калибра.

41. Установленная совокупность операций и правил, выполнение которых обеспечивает получение результатов измерений с гарантированной точностью, представляет собой ...
- а) Методику выполнения измерений (МВИ).
 - 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 средства измерения после длительного хранения.
 - в) При возникновении спорных вопросов по исправности средства измерения.
 - г) При выпуске средства измерения из производства или после ремонта.
43. Внеочередная поверка производится ...
- а) Через установленный интервал времени.
 - б) В случае ввода в эксплуатацию средства измерения после длительного хранения.
 - в) При возникновении спорных вопросов по исправности средства измерения.
 - г) При выпуске средства измерения из производства или после ремонта.
44. Экспертная поверка производится ...
- а) Через установленный интервал времени.
 - б) В случае ввода в эксплуатацию средства измерения после длительного хранения.
 - в) При возникновении спорных вопросов по исправности средства измерения.
 - г) При выпуске средства измерения из производства или после ремонта.
45. Совокупность операций, выполняемых с целью определения действительных метрологических характеристик средства измерения, называется ...
- а) Поверкой.
 - б) Калибровкой.
 - в) Аттестацией.
 - г) Сертификацией.
46. Результаты калибровки удостоверяются ...
- а) Знаком, наносимым на средство измерения.
 - б) Свидетельством о калибровке.
 - в) Записью в эксплуатационном документе.
 - г) Протоколом разногласий.

Измерение физических величин

47. Измерение физической величины – это совокупность операций по применению ...

- а) Соответствующих закономерностей.
- б) Технических средств, хранящих единицу физической величины.
- в) Известных зависимостей.
- г) Заданных параметров.

48. Погрешность средства измерений – это разность между ...

- а) Показанием средства измерений и истинным значением измеряемой величины.
- б) Показанием средства 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 физической величины – это значение, которое характеризует соответствующую физическую величину ...

- 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 физической величины, полученное ...

- а) Экспериментальным путем.
- б) Расчетом.
- в) Путем округления номинального значения.
- г) Путем контроля калибрами.

51. Прямое измерение – это измерение, при котором искомое значение физической величины получают ...

- а) Расчетом среднего арифметического значения.
- б) Расчетом допускаемого значения.
- в) Непосредственно.
- г) Непосредственно на производстве.

52. Косвенное измерение – это измерение, при котором искомое значение физической величины определяется на основании ...

- а) Результатов прямых измерений других физических величин, функционально связанных с искомой величиной.
- б) Результатов прямых измерений других физических величин, независимых от искомой величины.
- в) Многократных измерений.
- г) Многократных наблюдений.

53. Абсолютное измерение – это измерение, основанное на прямых измерениях одной или нескольких основных величин и использовании ...

- а) Известных закономерностей.

- б) Тригонометрических функций.
- в) Правки суммирования.
- г) Значений физических констант.

54. Относительное измерение – это измерение отношения величины к одноименной величине, играющей роль единицы, или измерения величины по отношению к ..., принимаемой за исходную

- а) Допускаемой.
- б) Действительной.
- в) Одноименной.
- г) Истинной.

55. Абсолютную погрешность измерения выражают в ...

- а) Единицах измерения.
- б) Единицах измеряемой величины.
- в) Единицах средства измерения.
- г) Единицах точности.

56. Относительную погрешность измерения выражают в ...

- а) Единицах измеряемой величины.
- б) Единицах точности.
- в) Процентах.
- г) Целых числах.

57. Систематической погрешностью измерения называется составляющая погрешности результата измерения ...

- а) Колеблущаяся при повторных измерениях одной и той же физической величины.
- б) Изменяющаяся при повторных измерениях одной и той же физической величины.
- в) Остающаяся постоянной или закономерно изменяющаяся при повторных измерениях одной и той же физической величины.
- г) Зависящая от числа повторных измерений одной и той же физической величины.

58. Систематическую погрешность можно исключить из результата измерения ...

- а) Частично.
- б) Ее интегрированием.
- в) Повторив измерение.
- г) Изменив правило округления.

59. Случайной погрешностью измерения называется составляющая погрешности результата измерения ... при повторных измерениях одной и той же физической величины.

- а) Остающаяся постоянной.
- б) Изменяющаяся закономерно.
- в) Изменяющаяся случайным образом.
- г) Сохраняющаяся.

60. Погрешность блока концевых мер, используемого для настройки прибора, является ...
- а) Систематической.
 - б) Случайной.
 - в) Периодической.
 - г) Относительной.
61. Погрешность, вызванная отклонением при измерении рабочей температуры окружающей среды от нормальной, является ... погрешностью результата измерения.
- а) Случайной.
 - б) Систематической.
 - в) Периодической.
 - г) Статистической.
62. Погрешность, вызванная колебанием при измерениях температуры окружающей среды является ... погрешностью результата измерения.
- а) Случайной.
 - б) Систематической.
 - в) Периодической.
 - г) Независимой.
63. Грубая погрешность измерения – это погрешность измерения, существенно превышающая ...
- а) Предельную погрешность.
 - б) Дополнительную погрешность.
 - в) Основную погрешность.
 - г) Ожидаемую при данных условиях погрешность.
64. Инструментальная погрешность – это составляющая погрешности измерения, зависящая от ...
- а) Погрешности применяемых средств измерений.
 - б) Правил округления результатов измерений.
 - в) Условий эксплуатации средств измерений.
 - г) Количества наблюдений при измерении.
65. Закон распределения случайной погрешности измерений устанавливает связь между возможными значениями случайной погрешности и ...
- а) Соответствующими им вероятностями.
 - б) Действительным значением случайной величины.
 - в) Результатом измерений.
 - г) Систематической погрешностью.
66. Математическое ожидание $m(x)$ случайной погрешности измерения является мерой ...
- а) Рассеивания.
 - б) Распределения.
 - в) Положения.
 - г) Измерения.

67. Дисперсия Dx случайной погрешности измерения является мерой ...
- а) Рассеивания.
 - б) Распределения.
 - в) Положения.
 - г) Измерения.
68. Методами исключения постоянных систематических погрешностей являются ...
- а) Метод замещения.
 - б) Метод рандомизации.
 - в) Графический метод.
 - г) Способ последовательных разностей.
69. Методами обнаружения переменных систематических погрешностей являются ...
- а) Метод замещения.
 - б) Метод рандомизации.
 - в) Графический метод.
 - г) Способ 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. Промехи (грубые погрешности) ...
- а) Вычитают из результата измерений.
 - б) Исключают из результата измерений.
 - в) Не допускают при измерениях.
 - г) Округляют.
72. Причиной возникновения промеха (грубой погрешности) может быть ...
- а) Погрешность блока концевых 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) Полусумма 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 сигма».
- 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 измерения

79. Процесс определения соответствия значения параметра изделия установленным требованиям или нормам – это ...

- а) Поверка.
- б) Контроль.
- в) Измерение.
- г) Экспертиза.

80. Средство измерения, предназначенное для воспроизведения физической величины заданного размера, называется ...

- а) Калибром.
- б) Щупом.

- в) Образцом.
- г) Мерой.

81. Техническое средство, используемое при измерениях и имеющее нормированные метрологические свойства, называется ...
- а) Средством измерения.
 - б) Средством контроля.
 - в) Средством поверки.
 - г) Средством экспертизы.
82. Для воспроизведения длины в промышленности используют ...
- а) Призматические угловые меры.
 - б) Плоскопараллельные концевые меры.
 - в) Цилиндры из сплава платины и иридия.
 - г) Синусные линейки.
83. 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.
84. 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.
85. Диапазон измерений средства измерений (СИ) – это область значений измеряемой величины, для которой нормированы ...
- а) Цена деления и чувствительность СИ.
 - б) Пределы измерения СИ.
 - в) Допускаемые пределы погрешности СИ.
 - г) Условия измерений.
86. Чувствительность средства измерений (СИ) – это отношение ...
- а) Изменения измеряемой величины к соответствующему изменению сигнала на выходе СИ.
 - б) Изменения сигнала на выходе СИ к вызывающему его изменению измеряемой величины.
 - в) Цены деления СИ к изменению измеряемой величины.
 - г) Цены деления СИ к его диапазону показаний.
87. 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.

88. Погрешность средства измерений, установленную при нормальных условиях измерений, называют ...
- а) Основной.
 - б) Предельной.
 - в) Влияющей.
 - г) Дополнительной.
89. Погрешность средства измерений, возникающая вследствие отклонения значений влияющих величин от нормальных, называют ...
- а) Допускаемой.
 - б) Предельной.
 - в) Дополнительной.
 - г) Влияющей.
90. Допускаемые погрешности измерений линейных размеров установлены в зависимости от ...
- а) Допуска размера.
 - б) Вида средства измерений.
 - в) Условий измерений.
 - г) Отклонения условий измерений от нормальных.
91. 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.
92. Влияние погрешности измерения при приемочном контроле оценивают числом ...
- а) Годных деталей.
 - б) Неправильно принятых и неправильно забракованных деталей.
 - в) Контролируемых деталей.
 - г) Деталей, принятых как годные.
93. Вероятная величина выхода размера за предельные у неправильно принятых деталей зависит от ...
- а) Погрешности измерения.
 - б) Допускаемых размеров.
 - в) Номинального размера.
 - г) Цены деления средства измерения.
94. Введение производственного допуска означает ... допуска, назначенного конструктором.
- а) Увеличение.
 - б) Уменьшение.
 - в) Смещение.
 - г) Расширение.

95. 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.

96. 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.

97. 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.

98. Отказ средства измерения, при котором происходит выход метрологических характеристик за установленные пределы, называется ...

- а) Функциональным отказом.
- б) Конструкторским отказом.
- в) Технологическим отказом.
- г) Метрологическим отказом.

99. Надежность средства измерения включает свойства ...

- а) Безотказности.
- б) Долговечности.
- в) Ремонтопригодности.
- г) Сохраняемости.

Качество измерительного процесса

100. Точность измерений характеризуют ...

- а) Правильность результатов измерений.
- б) Прецизионность результатов измерений.
- в) Достоверность измерений.
- г) Системность измерений.

101. Прецизионность результатов измерений включает ...

- а) Смещение результатов измерений.
- б) Правильность результатов измерений.
- в) Прецизионность результатов измерений.
- г) Достоверность измерений.
- 5. Системность измерений.

102. 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.
103. Разница между предполагаемым истинным (опорным) значением параметра и наблюдаемым средним арифметическим значением измерения этого параметра одного и того же образца называется ...
- а) Сходимостью.
 - б) Смещением.
 - в) Стабильностью.
 - г) Воспроизводимостью.
104. Перед оценкой сходимости и воспроизводимости результатов измерений необходимо ...
- а) Модернизировать технологический процесс.
 - б) Модернизировать средство измерения.
 - в) Исследовать измерительный процесс на стабильность.
 - г) Исследовать приемлемость измерительного процесса.
105. 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

106. 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.
107. При проверке правильности взаимной увязки допусков формы, расположения поверхностей и допусков на линейные размеры детали необходимо руководствоваться следующим ...
- 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.

108. 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.

109. Анализ и оценивание экспертами–метрологами правильности применения требований, правил и норм называют ...

- а) Поверкой.
- б) Калибровкой.
- в) Аттестацией.
- г) Метрологической экспертизой.

Глоссарий

Влияющая величина - это физическая величина (ФВ), не измеряемая данным СИ, но оказывающая влияние на размер измеряемой величины и (или) результат измерений.

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

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.

Генеральная конференция по мерам и весам является высшим в мире органом по вопросам установления единиц величин и их определений методов воспроизведения и эталонов.

Дифференциальный метод - это метод измерения, 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.

Единство измерений определяется как состояние измерений, характеризующиеся 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.

Значение физической величины действительное – это значение ФВ, полученное экспериментальным путем и настолько близкое к истинному значению, что в поставленной измерительной задаче может быть использовано вместо него.

Значение физической величины истинное – это значение ФВ, которое идеальным образом характеризует в качественном и количественном отношении соответствующую ФВ.

Измерение абсолютное 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 как определение величины в ее единицах.

Измерение косвенное - измерение, при котором искомого значения 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 – это 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 измерения.

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 – это измерения, изменяющиеся по размеру ФВ.

Измерения метрологические выполняются при помощи эталонов с целью воспроизведения единиц ФВ для передачи их размера рабочим средством измерения (СИ).

Измерения неравноточные - ряд измерений какой-либо величины, выполненных различающимися по точности СИ и в различных условиях.

Измерения равноточные - ряд измерений какой-либо величины, выполненных одинаковыми по точности СИ 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 – измерение 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 измерения.

Измерения технические проводятся рабочими СИ, как правило, в производственных условиях.

Измерительная система - это совокупность функционально объединенных мер, измерительных приборов, измерительных преобразователей, ЭВМ и других технических средств, размещенных в разных точках контролируемого объекта с целью измерений одной или нескольких ФВ, свойственных этому объекту, и выработки измерительных сигналов в разных целях.

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.

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.

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.

Калибровка средств измерения – совокупность операций, устанавливающих соотношение между значением величины, полученным с помощью данного СИ и соответствующим значением величины, определенным с помощью эталона с целью определения действительных метрологических характеристик этого СИ.

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

Масштабный преобразователь (или **усилитель**) – преобразователь (усилители напряжения, измерительные микроскопы, электронные усилители), при использовании которого в результате преобразования физическая природа величины не изменяется, а функция преобразования является линейной.

Международный комитет по мерам и весам руководит работой МОМВ в промежутках между созывами генеральных конференций.

Международное бюро мер и весов – она из старейших международных организаций, созданная в 1879 г.

Международную конференцию по измерительной технике и приборостроению (ИМЕКО) – неправительственную организацию, объединяющую научные и инженерные общества, занимающиеся вопросами измерений, более чем из 30 стран мира.

Международный комитет законодательной метрологии (МКЗМ) – исполнительный орган Международной организации законодательной метрологии (МОЗМ), осуществляющий руководство между конференциями.

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 предназначены для воспроизведения и (или) хранения ФВ одного или нескольких заданных размеров, значения которых выражены в установленных единицах и известны с необходимой точностью.

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

Метод замещения заключается в том, что измеряемую величину замещают в измерительной установке некой известной величиной, воспроизводимой мерой.

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 измерения – это прием или совокупность приемов сравнения измеряемой ФВ с ее единицей в соответствии с реализованным принципом измерения.

Метод нулевой (или метод полного уравнивания) – 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 – это метод измерения, 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).

Метрологические характеристики нормируемые – метрологические характеристики, устанавливаемые нормативно-техническими документами

Метрологическая характеристика СИ – это характеристика одного из свойств СИ, влияющая на результат измерения и на его погрешность.

Метрологическое обеспечение – установление и применение научных и организационных основ, технических средств, правил и норм, необходимых для достижения единства и требуемой точности измерений.

Наборы и магазины мер – отдельные меры могут объединяться в различных сочетаниях для воспроизведения некоторых промежуточных или суммарных, но обязательно дискретных размеров величин.

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

Область значений влияющей величины рабочая – область значений влияющей величины, в пределах которой нормируют дополнительную погрешность или изменение показаний СИ.

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.

Опорное значение (предполагаемое истинное значение) – это среднее арифметическое значение, полученное при многократном измерении ($n > 20$) параметра образца (детали) в метрологической лаборатории с использованием СИ более высокой точности, чем СИ измерительного процесса.

Передача размера единицы – приведение размера единицы ФВ, хранимой поверяемым СИ, к размеру единицы, воспроизводимой или хранимой эталоном, осуществляемое при их поверке (калибровке).

Поверка внеочередная – поверка СИ, 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 СИ из производства или после ремонта, а также при ввозе СИ из-за границы партиями, при продаже.

Поверка периодическая – поверка СИ, находящихся в эксплуатации или на хранении, выполняемая через установленные межповерочные интервалы времени.

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

Поверочная схема локальная – поверочная схема, распространяющаяся на СИ данной ФВ, применяемые в регионе, отрасли, ведомстве или на отдельном предприятии (в организации).

Поверочная схема СИ – это нормативный документ, устанавливающий соподчинение СИ, участвующих в передаче размера единицы от эталона рабочим СИ с указанием методов и погрешностей при передаче.

Поверочная схема государственная – поверочная схема, распространяющаяся на все СИ данной ФВ, имеющиеся в стране.

Погрешность абсолютная – это погрешность измерения, выраженная в единицах измеряемой величины.

Погрешность измерения – отклонение результата измерения от истинного значения измеряемой величины.

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

Погрешность измерения инструментальная – это составляющая погрешности измерений, обусловленная погрешностью применяемого СИ.

Погрешность измерения систематическая – составляющая погрешности результата измерения, остающаяся постоянной или закономерно изменяющаяся при повторных измерениях одной и той же ФВ.

Погрешность измерения случайная – это составляющая погрешности результата измерения, изменяющаяся случайным образом при повторных измерениях, проведенных с одинаковой тщательностью, одной и той же ФВ.

Погрешность измерения субъективная – это часть погрешности измерения, зависящая от оператора.

Погрешность метода измерения – это составляющая систематической погрешности измерений, обусловленная несовершенством принятого метода измерений.

Погрешность относительная – это 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 СИ дополнительная – составляющая погрешности СИ, возникающая дополнительно к основной погрешности вследствие отклонения какой-либо из влияющих величин от нормального ее значения или вследствие ее выхода за пределы нормальной области значений.

Поправка – значение величины, вводимое в неисправленный результат измерения с целью исключения составляющих систематической погрешности.

Правовая подсистема ГСИ – это комплекс взаимосвязанных законодательных и подзаконных актов, объединяемых общей целевой направленностью.

Прибор измерительный – это СИ, предназначенное для получения значений измеряемой ФВ в установленном диапазоне.

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, устанавливаются с учетом допускаемой погрешности измерения.

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

Размерность – формализованное отражение качественного различия ФВ.

Регламенты технические устанавливают обязательные требования к продукции, процессам производства и др., измерительные процедуры которых подлежат государственному метрологическому контролю и надзору.

Результат измерения исправленный – полученное при измерении значение величины 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.

Результаты измерений. 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.).

Результаты измерений. Достоверность измерений определяется степенью доверия к результату измерения и характеризуется вероятностью того,

что истинное значение измеряемой величины находится в указанных пределах интервала результата измерения.

Результаты измерений. 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 (СИ) процессов разработки, изготовления, испытания, эксплуатации и ремонта продукции.

Результаты измерений. Прецизионность результатов измерений – степень близости друг к другу независимых результатов измерений, полученных в конкретных регламентированных условиях.

Результаты 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.

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.

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.

Сличаемость – возможность сличения с эталоном других СИ, нижестоящих по поверочной схеме (см. п. 3.3), в первую очередь вторичных эталонов, с наивысшей точностью для существующей техники измерения.

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.

Среднее арифметическое значение измеряемой величины – точечная оценка математического ожидания результатов измерений.

Среднее взвешенное значение – 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 или средняя квадратическая погрешность (СКП) – среднее квадратическое отклонение результатов измерений, характеризующих рассеивание единичных результатов измерений около их среднего значения.

Средство измерений рабочее – это СИ, предназначенное для измерений, не связанных с передачей размера единицы другим СИ. Рабочее СИ предназначено для измерения размеров величин, необходимых в разнообразной деятельности человека.

Средство измерения. Диапазон измерений средства измерений – область значений величины, в пределах которой нормированы допускаемые пределы погрешности СИ.

Средство измерения. Диапазон показаний средства измерений – область значений шкалы прибора, ограниченная начальным и конечным делениями шкалы.

Средство измерения. Класс точности средства измерения – обобщенная характеристика данного типа СИ, как правило, отражающая уровень их точности, выражаемая пределами допускаемых основной и дополнительных погрешностей, а также другими характеристиками, влияющими на точность.

Средство измерения. Метрологические характеристики действительные – метрологические характеристики, определяемые экспериментально.

Средство измерения. Погрешность средства измерения – разность между показанием СИ и истинным (действительным) значением измеряемой ФВ.

Средство измерения. Цена деления шкалы – разность значений величины, соответствующих двум соседним отметкам шкалы СИ.

Средство измерения. Чувствительность средства измерений - свойство СИ, определяемое отношением изменения выходного сигнала этого СИ к вызывающему его изменению измеряемой величины.

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.

Стандарты национальные 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.

Точность измерений – это качество измерений, отражающее близость их результатов к истинному значению измеряемой величины.

Условия измерений нормальные – это условия, характеризующие совокупностью значений или областей значений влияющих величин, при которых изменением результата измерений пренебрегают вследствие его малости.

Условия измерений – совокупность влияющих величин, описывающих состояние окружающей среды, объекта и средства измерений.

Условия измерений предельные – это условия, характеризующие экстремальными значениями измеряемой и влияющих величин, которые СИ может выдержать без разрушений и ухудшения его метрологических характеристик.

Условия измерений рабочие – это условия, при которых значения влияющих величин находятся в пределах рабочих областей.

Физическая величина производная – это ФВ, входящая в систему величин и определяемая через основные величины этой системы.

Физическая величина – одно из свойств физического объекта (физическая система, явление или процесс), общее в качественном отношении для многих физических объектов, но в количественном отношении индивидуальное для каждого из них.

Физическая величина основная – ФВ, входящая в систему величин и условно принятая в качестве независимой от других величин этой системы.

Хранение единицы – совокупность операций, обеспечивающих неизменность во времени размера единицы, присущего данному СИ.

Числовое значение физической величины – составная часть значения, т.е. отвлеченное число, входящее в значение величины.

Шкалы отношений – шкалы, к множеству количественных проявлений которых применимы соотношения эквивалентности, порядка и аддитивности, а следовательно операции вычитания, умножения и суммирования.

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 – это 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.

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

Эталон одиночный – эталон, в составе которого имеется одно СИ (мера, измерительный прибор, эталонная установка) для воспроизведения и (или) хранения единицы.

Эталон рабочий – эталон, предназначенный для передачи размера единицы рабочим СИ.

Эталон вторичный – эталон, получающий размер единицы непосредственно от первичного эталона данной единицы.

Эталон государственный первичный – первичный эталон, признанный решением уполномоченного на то государственного органа в качестве исходного на территории государства.

Эталон единицы физической величины – СИ (или комплекс СИ), предназначенное для воспроизведения и (или) хранения единицы и передачи ее размера нижестоящим по поверочной схеме СИ 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 СИ.

Эталон международный – эталон, применяемый при проведении так называемых «круговых сличений эталонов» ряда стран.

Эталон национальный – эталон, в состав которого включаются СИ, 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 первичный – эталон, обеспечивающий воспроизведение единицы с наивысшей в стране (по сравнению с другими эталонами этой же единицы) точностью.

Эталон сравнения – вторичный эталон, применяемый для сличения эталонов, которые по тем или иным причинам не могут быть непосредственно сличаемы друг с другом.

Эталон-копия – вторичный эталон, предназначенный для передачи размеров единиц рабочим эталонам.

Эталонный набор – эталон, состоящий из совокупности СИ, позволяющих воспроизводить и (или) хранить единицу в диапазоне, представляющем объединение диапазонов указанных средств.

Эталон-свидетель – предназначен для проверки сохранности и неизменности государственного первичного эталона и замены его в случае порчи или утраты.

Литература

1. Анализ измерительных систем. MSA. Ссылочное руководство. 3-е изд. Пер. с англ. – Н.Новгород: СМЦ «Приоритет», 2005. – 242 с.
2. Архипов, А.В. Основы стандартизации, метрологии и сертификации: учебник для студентов вузов. / А.В. Архипов и др. Под общ. ред. В.М. Мишина. – М.: ЮНИТИ-ДИНА, 2007. – 447 с.
3. Брянский, Л.Н. Краткий справочник метролога / Л.Н. Брянский, А.С. Двойников. – М.: Изд-во стандартов, 1991. – 79 с.
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. – 84 с.
5. Гусев, К.И. Метрологическое обеспечение, взаимозаменяемость, стандартизация: учебное пособие для студентов машиностроительных специальностей вузов / К.И. Гусев, Р.В. Медведева, Е.П. Мышелов, Е.А. Яковлев. – М.: Машиностроение, 1992. – 384 с.
6. Димов, Ю.В. Метрология, стандартизация и сертификация: учебник для вузов. 2-е изд. / Ю.В. Димов. – СПб.: Питер, 2004. – 432 с.
7. 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. – 207 с.
8. Ефимов, В.В. Статистические методы в управлении качеством продукции: учебное пособие / В.В. Ефимов. – Ульяновск: УлГТУ, 2003. – 138 с.
9. Крылова, Г.Д. Основы стандартизации, сертификации, метрологии: учебник для вузов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2007. – 671 с.
10. Муслина, Г.Р. Измерение и контроль геометрических параметров деталей машин и приборов: учебное пособие / Г.Р. Муслина, Ю.М. Правиков: под общ. ред. Л.В. Худобина. – Ульяновск: УлГТУ, 2007. – 220 с.
11. Муслина, Г.Р. Метрология, стандартизация и сертификация: учебное пособие по дисциплине и курсовой работе / Г.Р. Муслина, Ю.М. Правиков. Под общ. ред. Л.В. Худобина. – Ульяновск: УлГТУ, 2003. – 132 с.

12. Правиков, Ю.М. Метрологическая экспертиза технической документации: методические указания к практическим занятиям / Ю.М. Прави-ков, Г.Р. Муслина. – Ульяновск: УлГТУ, 2005. – 20 с.
13. Правиков, Ю.М. Нормирование отклонений формы, расположе-ния и шероховатости поверхностей деталей машин: учебное пособие. 2-е изд., перераб., доп. / Ю.М. Правиков, Г.Р. Муслина. – Ульяновск: УлГТУ, 2002. – 100 с.
14. Радкевич, Я.М. Метрология, стандартизация и сертификация: учебник для вузов / Я.М. Радкевич, А.Г. Схиртладзе, Б.И. Лактионов. – 2-е изд., доп. – М.: Высшая школа, 2006. – 800 с.
15. Рейх, Н.И. Метрологическое обеспечение производства: учебное пособие для ВИСМ / Н.И. Рейх, А.А. Тупиченков, В.Г. Цейтлин. Под ред. Л.К. Исаева. – М.: Изд-во стандартов, 1987. – 248 с.
16. Сергеев, А.Г. Метрология: учебное пособие для вузов / А.Г. Сер-геев, В.В. Крохин. – М.: Логос, 2000. – 408 с.
17. Сергеев, А.Г. Метрология, стандартизация и сертификация: учеб-ное пособие. 2-е изд., перераб. и доп. / А.Г. Сергеев, Н.В. Латышев, В.В. Тегеря. – М.: Логос, 2005. – 560 с.
18. Синопальников, В.А. Надежность и диагностика технологических систем. / В.А. Синопальников, С.Н. Григорьев. – М.: ИЦ МГТУ «Стан-кин», Янус-К, 2003. – 331 с.
19. Справочник технолога-машиностроителя: в 2-х 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. – 912 с.
20. Средства контроля, управления и измерения линейных и угловых размеров в машиностроении: отраслевой каталог. – М.: ИКФ «Каталог», 2004. – 128 с.
21. Тартаковский, Д.Ф. Метрология, стандартизация и технические средства измерений: учебник для вузов / Д.Ф. Тартаковский, А.С. Ястре-бов. – М.: Высш. шк., 2001. – 215 с.
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. – 368 с.
23. Фрумкин, В.Д. Теория вероятностей и статистика в метрологии и измерительной технике / В.Д. Фрумкин, Н.А. Рубичев. – М.: Наука, 1987. – с.
24. Чертов, А.Г. Единицы физических величин. Учебное пособие. – М.: Высш. школа, 1977. – 287 с.

25. Якушев, А.И. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения: учебник для вузов. 6-е изд., перераб. и доп. / А.И. Якушев, Л.Н. Воронцов, Н.М. Федотов. – М.: Машиностроение, 1987. – 352 с.

26. Данильченко, В.П. Метрологическое обеспечение промышленного производства : Справочник. – Киев : Техника, 1982. – 151 с.

Ю.М. Правиков, Г.Р. Муслина

МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВА

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.