

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства»

Р.Н. Москвин, В.В. Салмин, Е.А. Белякова

МЕТРОЛОГИЯ, СТАНДАРТИЗАЦИЯ И СЕРТИФИКАЦИЯ. ОСНОВЫ ИЗМЕРЕНИЙ

Рекомендовано Редсоветом университета
в качестве учебного пособия для студентов, обучающихся
по направлениям 190600.62 «Эксплуатация транспортно-
технологических машин и комплексов»
и 190700.62 «Технология транспортных процессов»

Пенза 2013

УДК 621 – 182.8 (0.83.74) (075.8)

ББК 88.4:39.33-08в6

М82

Рецензенты: директор ФБУ «Пензенский ЦСМ»
Ю.Г. Катышкин;
кандидат технических наук, профессор
кафедры «Стандартизация, сертификация и аудит качества» И.Н. Максимова
(ПГУАС)

Москвин Р.Н.

М82 Метрология, стандартизация и сертификация. Основы измерений: учеб. пособие / Р.Н. Москвин, В.В. Салмин, Е.А. Беякова. – Пенза: ПГУАС, 2013. – 116 с.

В пособии изложены теоретические основы измерений, включающие классификацию и виды измерений, способы измерений, применяемые единицы физических величин, определение погрешностей измерения и формирования результата. Уделено внимание практическому измерению и контролю с использованием различных средств измерения, таких, как штангенинструмент, микрометрический инструмент, калибры, нутромеры и т.д.

Пособие подготовлено на кафедре «Эксплуатация автомобильного транспорта» и предназначено для студентов, обучающихся по направлениям 190600.62 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов» и 190700.62 «Технология транспортных процессов», а также для специалистов, работающих в области машиностроения.

© Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства, 2013

© Москвин Р.Н., Салмин В.В.,
Беякова Е.А., 2013

ВВЕДЕНИЕ

Стандартизация, метрология и сертификация являются инструментами обеспечения качества продукции, работ и услуг – важного аспекта многогранной деятельности предприятий. Овладение методами обеспечения качества, базирующимися на триаде – стандартизация, метрология, сертификация, в настоящее время является одним из главных условий выхода поставщика на рынок с конкурентоспособной продукцией (услугой), а значит и коммерческого успеха.

Стандарты содержат те «правила игры», которые должны знать и выполнять специалисты промышленности и торговли. Таким образом, стандартизация является инструментом обеспечения не только конкурентоспособности, но и эффективного партнерства изготовителя, заказчика и продавца на всех уровнях управления. Любое сложное техническое изделие массового производства во всех своих качествах является объектом стандартизации как в нашей стране, так и за рубежом. Стандартизация решает проблемы взаимозаменяемости и совместимости, помогает организации производства, обеспечивает безопасность самого изделия и инфраструктуры, обслуживающей его эксплуатацию, охраняет природу от вредных воздействий. Сочетание относительно низкой стоимости и высокого качества продукции также можно обеспечить, повышая степень стандартизации составных частей изделий.

Например, в автомобильной промышленности сегодняшний фонд нормативных документов состоит более чем из 150 государственных стандартов, определяющих конструкцию автотранспортных средств, регламентирующих показатели безопасности, экологии, эргономики, надежности и экономичности, требования унификации, совместимости и взаимозаменяемости отдельных узлов, агрегатов и деталей, а также методы испытаний. Кроме того, фонд насчитывает свыше 300 действующих отраслевых стандартов, что связано с повышенными требованиями к изделиям общемашиностроительного применения, используемых в автомобилестроении.

Вопросы стандартизации непосредственно связаны с сертификацией продукции и услуг. Поставщику недостаточно строго следовать требованиям прогрессивных стандартов – надо подкреплять выпуск товара и оказание услуги сертификатом безопасности или качества. Наибольшее доверие у заказчиков и потребителей вызывает сертификат на систему качества. Он создает уверенность в стабильности качества, в достоверности и точности измеренных показателей качества,

свидетельствует о высокой культуре процессов производства продукции и предоставляемых услуг.

Стабильность технологий производства обеспечивается в первую очередь его метрологической подготовкой и метрологическим обеспечением производства и испытаний готовой продукции. Соблюдение правил метрологии в различных сферах позволяет свести к минимуму материальные потери от недостоверных результатов измерений.

Россия в связи с членством в Всемирной торговой организации (ВТО) вынуждена вводить серьезные изменения в стандартизации и сертификации. Стандартизация должна соответствовать тому экономическому укладу, который она обслуживает. Поэтому переход к либерально-рыночной экономике потребовал введения с июля 2003 года Закона РФ «О техническом регулировании», существенно изменившего требования в области стандартизации и оценки соответствия. Ряд предприятий переходят на декларирование соответствия.

Все эти изменения требуют постоянной актуализации знаний в области стандартизации и сертификации, тем более, что существует тенденция ужесточения контроля за безопасностью товаров и их качеством.

После изучения данной дисциплины студент должен уметь применить полученные знания по стандартизации, метрологии и сертификации на практике. В частности, уметь пользоваться основными нормативными документами (межгосударственными и международными стандартами, правилами по сертификации и другими), а также законами Российской Федерации и другими нормативными документами, уметь выбрать схему сертификации продукции на предприятии; знать порядок аккредитации лаборатории на техническую компетентность или на техническую компетентность и независимость, знать правила сертификации импортной и отечественной продукции, документы, необходимые для получения сертификата соответствия ГОСТ Р на сырье и продукцию.

Современное машиностроение развивается бурными темпами. Создаются новые машины, совершенствуются технологии, инструмент, оснастка, внедряется комплексная автоматизация производства. Это позволяет выпускать продукцию высокого качества с наименьшими затратами труда. Увеличение выпуска новых видов машин приборов, оборудования для автоматических линий, отвечающих современным требованиям, невозможно без совершенствования средств контроля, расширения межотраслевой и внутриотраслевой специализации на основе унификации и стандартизации изделий, их агрегатов и деталей, использования комплексной и опережающей стандартизации, внедре-

ния системы управления и аттестации качеством продукции и системы технологической подготовки производства.

В развитии машиностроения существенную роль играет организация производства высококачественных, современных машин и оборудования на основе взаимозаменяемости, создание и применение надежных и качественных средств измерения и контроля. Повышение качества машин, приборов и других изделий и экономичности их производства возможно только на основе широкой стандартизации.

Переход России к рыночной экономике определил новые условия для деятельности отечественных фирм, предприятий и организаций. Принятие законов «О защите прав потребителей», «О стандартизации», «О сертификации продукции и услуг», «Об обеспечении единства измерений» повысили ответственность фирм и предприятий за качество выпускаемой продукции и конкуренцию на рынке сбыта.

При изучении дисциплины «Метрология, стандартизация и сертификация» студенты должны освоить систему допусков и посадок, принципы ее построения, выбор посадок для гладких цилиндрических сопряжений и типовых сопряжений, используемых в машиностроении. На практических и лабораторных занятиях они закрепляют теоретические знания, полученные в лекционном курсе, осваивают методы технических измерений и контроля деталей. Это позволит будущим инженерам создавать работоспособные конструкции машин, узлов и механизмов и осуществлять контроль качества изготовления деталей и сборки. Знание вопросов стандартизации и сертификации позволит им создавать машиностроительную, конкурентоспособную продукцию как на внутреннем, так и международном рынке.

1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИЗМЕРЕНИЙ

1.1. Сущность, цели и качество измерений

Измерение – совокупность операций по применению технического средства, хранящего единицу физической величины, заключающихся в сравнении (в явном или неявном виде) измеряемой величины с ее единицей с целью получения значения этой величины (или информации о нем) в форме, наиболее удобной для использования.

Согласно официальному определению, единица физической величины – физическая величина фиксированного размера, которой условно присвоено числовое значение, равное 1, и применяемая для количественного выражения однородных физических величин.

Целью измерения является получение значения этой величины в форме, наиболее удобной для практического использования.

Качество измерений – совокупность свойств измерений, обуславливающих соответствие средств, метода, методики, условий измерений и состояния единства измерений требованиям измерительной задачи (по точности, технике безопасности, экологическим и иным факторам).

Точность измерений – показатель качества измерения, отражающий близость к нулю погрешности его результата.

Единство измерений – характеристика качества измерений, заключающаяся в том, что их результаты выражаются в узаконенных единицах, размеры которых в установленных пределах равны размерам воспроизводимых единиц, а погрешности результатов измерений известны с заданной вероятностью и не выходят за установленные пределы.

1.2. Классификация измерений

Измерения различают:

- по способу получения информации;
- по характеру изменений измеряемой величины в процессе измерений;
- по количеству измерительной информации;
- по отношению к основным единицам.

По способу получения информации измерения разделяют на прямые, косвенные, совокупные и совместные.

Прямые измерения – это непосредственное сравнение физической величины с ее мерой. Например, при определении длины предмета

линейкой происходит сравнение искомой величины (количественного выражения значения длины) с мерой, т.е. линейкой.

Косвенные измерения отличаются от прямых тем, что искомое значение величины устанавливают по результатам прямых измерений таких величин, которые связаны с искомой определенной зависимостью. Так, если измерить силу тока амперметром, а напряжение вольтметром, то по известной функциональной взаимосвязи всех трех названных величин можно рассчитать мощность электрической цепи.

Совокупные измерения сопряжены с решением системы уравнений, составляемых по результатам одновременных измерений нескольких однородных величин. Решение системы уравнений дает возможность вычислить искомую величину.

Совместные измерения – это измерения двух или более неоднородных физических величин для определения зависимости между ними.

Совокупные и совместные измерения часто применяют в измерениях различных параметров и характеристик в области электротехники.

По характеру изменения измеряемой величины в процессе измерений бывают статистические, динамические и статические измерения.

Статистические измерения связаны с определением характеристик случайных процессов, звуковых сигналов, уровня шумов и т.д.

Статические измерения имеют место тогда, когда измеряемая величина практически постоянна.

Динамические измерения связаны с такими величинами, которые в процессе измерений претерпевают те или иные изменения.

Статические и динамические измерения в идеальном виде на практике редки.

По количеству измерительной информации различают однократные и многократные измерения.

Однократные измерения – это одно измерение одной величины, т.е. число измерений равно числу измеряемых величин. Практическое применение такого вида измерений всегда сопряжено с большими погрешностями, поэтому следует проводить не менее трех однократных измерений и находить конечный результат как среднее арифметическое значение.

Многократные измерения характеризуются превышением числа измерений количества измеряемых величин. Обычно минимальное число измерений в данном случае больше трех. Преимущество многократных измерений в значительном снижении влияний случайных факторов на погрешность измерения.

Абсолютными измерениями называют такие, при которых используются прямое измерение одной (иногда нескольких) основной величины и физическая константа. Так, в известной формуле Эйнштейна $E = mc^2$ масса m – основная физическая величина, которая может быть измерена прямым путем (взвешиванием), а скорость света c – физическая константа.

Относительные измерения базируются на установлении отношения измеряемой величины к однородной, применяемой в качестве единицы. Естественно, что искомое значение зависит от используемой единицы измерений.

Основные величины не зависимы друг от друга, но они могут служить основой для установления связей с другими физическими величинами, которые называют производными от них. Основным величинам соответствуют основные единицы измерений, а производным – производные единицы измерений.

Совокупность основных и производных единиц называется системой единиц физических величин.

Наиболее широко распространена во всем мире Международная система единиц СИ. Международная система СИ считается наиболее совершенной и универсальной по сравнению с предшествовавшими ей.

В зависимости от использованных средств измерений измерения классифицируют как технические и метрологические.

Технические измерения – измерения с помощью рабочих средств измерений.

Метрологические измерения – измерения при помощи эталонов и образцовых средств измерений с целью воспроизведения единиц физических величин для передачи их размера рабочим средствам измерений

1.3. Международная система единиц

Международная система единиц (франц. *Systeme International d'Unites*, сокр. SI, в рус. транскрипции – СИ) – система единиц физических величин, принятая 11-й Генеральной конференцией по мерам и весам (Париж, 1960). В СССР введена с 1980 г.; с 1982 г. действует внутрисоюзный стандарт (ГОСТ 8.417–81). Цели создания международной системы единиц:

1) замена возникшей на базе метрической системы мер (в основе лежат две единицы: длины – метр и массы – килограмм; разработана во Франции в кон. 18 в.) сложной совокупности различных систем единиц

(электростатической – СГСЭ, технической – МКГСС, механических величин – МКС и др.) и отдельных внесистемных единиц;

2) упрощение пользования единицами.

СИ включает три группы единиц (табл. 1.1):

- основные (метр, килограмм, секунда, ампер, кельвин, кандела, моль);
- дополнительные (радиан, стерадиан);
- производные.

Т а б л и ц а 1 . 1

Основные и дополнительные единицы СИ

Величина		Единица		
Наименование	Размерность	Наименование	Обозначение	
			международное	русское
Основные				
Длина	L	Метр	m	м
Масса	M	Килограмм	kg	кг
Время	T	Секунда	s	с
Сила электрического тока	I	Ампер	A	А
Термодинамическая температура	e	Кельвин	K	К
Количество вещества	N	Моль	mol	моль
Сила света	J	Кандела	cd	кд
Дополнительные				
Плоский угол		Радиан	rad	рад
Телесный угол		Стерадиан	sr	ср

Производные единицы могут быть выражены через основные с помощью математических операций: умножения и деления. Некоторым из производных единиц, для удобства, присвоены собственные названия, такие единицы тоже можно использовать в математических выражениях для образования других производных единиц.

Математическое выражение для производной единицы измерения вытекает из физического закона, с помощью которого эта единица измерения определяется или определения физической величины, для которой она вводится. Например, скорость – это расстояние, которое

тело проходит в единицу времени; соответственно, единица измерения скорости — м/с (метр в секунду).

Первые три основные единицы (метр, килограмм, секунда) позволяют образовывать когерентные производные единицы всех механических величин, остальные служат для образования производных единиц величин, имеющих другую природу: ампер — для электрических и магнитных величин, кельвин — для тепловых, кандела — для световых, моль — для величин в области химии и мол, физики (табл. 1.2).

Т а б л и ц а 1.2

Примеры производных единиц СИ, наименования и обозначения которых образованы с использованием наименований и обозначений основных единиц СИ

Величина		Единица		
Наименование	Размерность	Наименование	Обозначение	
			международное	русское
Площадь	L^2	квадратный метр	m^2	$м^2$
Объем, вместимость	L^3	кубический метр	m^3	$м^3$
Скорость	LT^{-1}	метр в секунду	m/s	$м/с$
Ускорение	LT^{-2}	метр на секунду в квадрате	m/s^2	$м/с^2$
Волновое число	L^{-1}	метр в минус первой степени	m^{-1}	$м^{-1}$
Плотность	$L^{-3}M$	килограмм на кубический метр	kg/m^3	$кг/м^3$
Удельный объем	L^3M^{-1}	кубический метр на килограмм	m^3/kg	$м^3/кг$
Плотность электрического тока	$L^{-2}I$	ампер на квадратный метр	A/m^2	$А/м^2$
Напряженность магнитного поля	$L^{-1}I$	ампер на метр	A/m	$А/м$
Молярная концентрация компонента	$L^{-3}N$	моль на кубический метр	mol/m^3	$моль/м^3$
Яркость	$L^{-2}J$	кандела на квадратный метр	cd/m^2	$кд/м^2$

Кроме СИ используются различные внесистемные единицы физических величин, не входящие ни в одну из существующих систем

единиц и подразделяющиеся на независимые (определяются без помощи других единиц, например, градус Цельсия) и произвольно выбранные, но выражаемые некоторым числом иных единиц (например, атмосфера, лошадиная сила и т.д.). Ряд внесистемных единиц, применяемых наравне с единицами СИ представлен в табл. 1.3.

Т а б л и ц а 1.3

Производные единицы с собственными названиями

Величина	Единица измерения		Обозначение	
	русское название	международное название	русское	международное
1	2	3	4	5
Плоский угол	радиан	radian	рад	rad
Телесный угол	стерадиан	steradian	ср	sr
Температура по шкале Цельсия ¹	градус Цельсия	degree Celsius	°С	°C
Частота	герц	hertz	Гц	Hz
Сила	ньютон	newton	Н	N
Энергия	джоуль	joule	Дж	J
Мощность	ватт	watt	Вт	W
Давление	паскаль	pascal	Па	Pa
Световой поток	люмен	lumen	лм	lm
Освещённость	люкс	lux	лк	lx
Электрический заряд	кулон	coulomb	Кл	C
Разность потенциалов	вольт	volt	В	V
Сопротивление	ом	ohm	Ом	Ω
Электроёмкость	фарад	farad	Ф	F
Магнитный поток	вебер	weber	Вб	Wb
Магнитная индукция	тесла	tesla	Тл	T
Индуктивность	генри	henry	Гн	H
Электрическая проводимость	сименс	Siemens	См	S

¹ Шкалы Кельвина и Цельсия связаны между собой следующим образом: °С = К – 273,15.

Окончание табл. 1.3

1	2	3	4	5
Активность (радиоактивного источника)	беккерель	becquerel	Бк	Bq
Поглощённая доза ионизирую- щего излучения	грэй	gray	Гр	Gy
Эффективная доза ионизирую- щего излучения	зиверт	sievert	Зв	Sv
Активность катализатора	катал	katal	кат	kat

В России действует ГОСТ 8.417–2002, предписывающий обязательное использование единиц СИ. В нём перечислены единицы физических величин, разрешённые к применению, приведены их международные и русские обозначения и установлены правила их использования.

По этим правилам, при договорно-правовых отношениях в области сотрудничества с зарубежными странами, а также в поставляемых за границу вместе с экспортной продукцией технических и других документах разрешается применять только международные обозначения единиц. Применение международных обозначений обязательно также на шкалах и табличках измерительных приборов. В остальных случаях, например, во внутренних документах и обычных публикациях можно использовать либо международные, либо русские обозначения. Не допускается одновременно применять международные и русские обозначения, за исключением публикаций по единицам величин.

Некоторые единицы, не входящие в СИ, по решению Генеральной конференции по мерам и весам «допускаются для использования совместно с СИ»: минута, час, сутки, градус, угловая минута, угловая секунда, литр, тонна, непер, бел, электронвольт, атомная единица массы, астрономическая единица, морская миля, узел, ар, гектар, бар, ангстрем, барн.

Кроме того, ГОСТ 8.417–2002 разрешает применение следующих единиц: градус, световой год, парсек, диоптрия, киловатт-час, вольт-ампер, вар, ампер-час, карат, текс, гал, оборот в секунду, оборот в минуту. Разрешается применять единицы относительных и логарифмических величин, такие как процент, промилле, миллионная доля, фон, октава, декада. Допускается также применять единицы времени, получившие широкое распространение, например, неделя, месяц, год, век, тысячелетие.

1.4. Шкала измерений, принципы и методы измерений

С измерениями связаны такие понятия, как «шкала измерений», «принцип измерений», «метод измерений».

Шкала измерений – это упорядоченная совокупность значений физической величины, которая служит основой для ее измерения. Поясним это понятие на примере температурных шкал.

В шкале Цельсия за начало отсчета принята температура таяния льда, а в качестве основного интервала (опорной точки) – температура кипения воды. Одна сотая часть этого интервала является единицей температуры (градус Цельсия). В температурной шкале Фаренгейта за начало отсчета принята температура таяния смеси льда и нашатырного спирта (либо поваренной соли), а в качестве опорной точки взята нормальная температура тела здорового человека. За единицу температуры (градус Фаренгейта) принята одна девяносто шестая часть основного интервала. По этой шкале температура таяния льда равна + 32 °F, а температура кипения воды + 212 °F. Таким образом, если по шкале Цельсия разность между температурой кипения воды и таяния льда составляет 100 °C, то по Фаренгейту она равна 180 °F. На этом примере мы видим роль принятой шкалы как в количественном значении измеряемой величины, так и в аспекте обеспечения единства измерений. В данном случае требуется находить отношение размеров единиц, чтобы можно было сравнить результаты измерений.

Таким образом, понятие шкала используется в математическом смысле, т.е. как метод оценивания и сопоставления свойств различных объектов. В метрологической практике известны несколько разновидностей шкал: шкала наименований, шкала порядка, шкала интервалов, шкала отношений и др.

Шкала порядка – это такой метод оценивания, при котором оцениваемые параметры, показатели или иные объекты оценивания располагаются в порядке увеличения или уменьшения значения параметра (показателя) или свойств объекта, причем способ определения порядка расположения не связан с какой-либо численной характеристикой оцениваемых объектов.

Характеристика значений измеряемой величины дается в баллах (шкала землетрясений, силы ветра, твердости физических тел и т.п.).

Классическим примером оценивания с применением шкалы порядка является оценивание твердости минералов на основе шкалы Мооса. Шкала Мооса относительной твердости минералов состоит из 10 эталонов твердости: тальк – 1, гипс – 2, кальцит – 3, флюорит – 4, апатит – 5, ортоклаз – 6, кварц – 7, топаз – 8, корунд – 9, алмаз – 10. Относительная твердость определяется путем царапанья эталоном

шкалы Мооса поверхности испытываемого объекта. Предназначена для грубой сравнительной оценки твёрдости материалов по системе мягче-твёрже. Испытываемый материал либо царапает эталон и его твёрдость по шкале Мооса выше, либо царапается эталоном и его твёрдость ниже эталона. Таким образом, шкала Мооса информирует только об относительной твёрдости минералов. В рассмотренном примере оценивание в шкале порядка обусловлено тем фактом, что для оценивания исследуемого свойства не существует метода, позволяющего осуществить оценку в установленных единицах измерения.

Другим примером применения шкалы порядка может служить оценка качества продукции, при которой учитывается несколько свойств. В этом случае качество характеризуется вектором, координатами которого являются показатели свойств, учитываемых при оценке. Поэтому в этом случае для получения имеющей смысл оценки необходимо создать некую шкалу, аналогичную шкале Мооса.

Шкала интервалов – это такой метод оценивания, при котором существенной характеристикой является разность между значениями оцениваемых параметров, которая может быть выражена числом установленных в этой шкале единиц. При этом начало отсчета может быть установлено произвольно. Примером шкалы интервалов может служить шкала температур, времени, длины.

Шкала отношений – это такой метод оценивания, при котором используется единица измерения и, следовательно, величина оцениваемого параметра может быть представлена в виде

$$Q = qN, \quad (1.1)$$

где Q – величина оцениваемого параметра;

q – единица измерения;

N – положительное действительное число, являющееся количественной характеристикой этого параметра.

Шкала отношений имеет естественное нулевое значение, а единица измерений устанавливается по согласованию. Например, шкала массы (обычно мы говорим «веса»), начинаясь от нуля, может быть градуирована по-разному в зависимости от требуемой точности взвешивания. Сравните бытовые и аналитические весы.

В шкале порядка возможны логические операции, но невозможны арифметические действия. Если значение параметра продукции, измеряемого в шкале порядка, у первого вида продукции больше, чем у второго, а у третьего больше, чем у первого, то можно сделать вывод о том, что значение этого параметра у третьего вида продукции больше, чем у второго. Однако в обоих случаях нельзя сказать, насколько больше. Это можно сделать, если для измерения параметра может быть

применена шкала интервалов. На отградуированной шкале может быть определена разность между любыми двумя значениями параметра. Но как в шкале интервалов, так и, тем более, в шкале порядка нельзя определить, во сколько раз значение одного параметра больше, чем значение другого параметра. Это можно сделать, если для оценки параметра используется шкала отношений. В этом смысле эта шкала является наиболее совершенной, в ней возможны все арифметические действия. Следует отметить, что шкала отношений применима к большинству параметров, представляющих собой физические величины: размер, вес, плотность, сила, напряжение, частота и пр.

Шкала, в которой измеряется тот или иной показатель качества, должна учитываться при оценивании уровня качества продукции.

Шкала наименований – это своего рода качественная, а не количественная шкала, она не содержит нуля и единиц измерений. Примером может служить атлас цветов (шкала цветов). Процесс измерения заключается в визуальном сравнении окрашенного предмета с образцами цветов (эталонными образцами атласа цветов). Поскольку каждый цвет имеет немало вариантов, такое сравнение под силу опытному эксперту, который обладает не только практическим опытом, но и соответствующими особыми характеристиками зрительных возможностей.

В метрологии шкалой называют также часть отсчетного устройства средства измерений, представляющая собой упорядоченный ряд отметок, соответствующих последовательному ряду значений величины, вместе со связанной с ними нумерацией. То есть это часть средства измерения.

Принцип измерений – это совокупность физических явлений, на которых основаны измерения. Так, измерения массы основаны на использовании силы земного притяжения, измерения линейных размеров – на использовании свойств твердого тела и т.п. Принцип измерения всегда важно знать при разработке процедур поверок.

Под методом измерения понимают прием или совокупность приемов использования принципов и средств измерений. При прямых измерениях используются следующие основные методы: непосредственной оценки, сравнения с мерой, дифференциальный, нулевой и совпадения. При косвенных измерениях применяют преобразование измеряемой величины в процессе измерений. По условиям измерения методы разделяются на контактный и бесконтактный.

Для большинства рабочих средств измерений применяется метод непосредственной оценки, а для целей метрологических поверок средств измерений – дифференциальный метод.

1.5. Средства измерений

Для измерения величин на практике применяются разнообразные средства измерений. Средство измерений – это техническое средство (комплекс технических средств), используемое при измерениях и имеющее нормированные метрологические характеристики.

С точки зрения метрологического назначения средства измерений подразделяются на два класса – рабочие и эталоны. Рабочие средства измерений предназначены для технических измерений. Эталоны служат для передачи информации о размере единицы от более точных средств измерений к менее точным.

Рабочие средства измерений применяют для определения параметров (характеристик) технических устройств, технологических процессов, окружающей среды и др. Рабочие средства могут быть лабораторными (для научных исследований), производственными (для обеспечения и контроля заданных характеристик технологических процессов), полевыми (для самолетов, автомобилей, судов и т.п.). Каждый из этих видов рабочих средств отличается особыми показателями. Так, лабораторные средства измерений – самые точные и чувствительные, а их показания характеризуются высокой стабильностью. Производственные обладают устойчивостью к воздействиям различных факторов производственного процесса: температуры, влажности, вибрации и т.п., что может сказаться на достоверности и точности показаний приборов. Полевые работают в условиях, постоянно изменяющихся в широких пределах внешних воздействий.

Особым средством измерений является эталон.

Эталон – это высокоточная мера, предназначенная для воспроизведения и хранения единицы величины с целью передачи ее размера другим средствам измерений. От эталона единица величины передается разрядным эталонам, а от них – рабочим средствам измерений.

Эталоны классифицируют на первичные, вторичные и рабочие.

Первичный эталон – это эталон, воспроизводящий единицу физической величины с наивысшей точностью, возможной в данной области измерений на современном уровне научно-технических достижений. Первичный эталон может быть национальным (государственным) и международным.

Международные эталоны хранит и поддерживает Международное бюро мер и весов (МБМВ). Важнейшая задача деятельности МБМВ состоит в систематических международных сличениях национальных эталонов крупнейших метрологических лабораторий разных стран с международными эталонами, а также и между собой, что необходимо

для обеспечения достоверности, точности и единства измерений как одного из условий международных экономических связей.

Первичному эталону соподчинены вторичные и рабочие (разрядные) эталоны.

В 1889 г. был изготовлен 31 экземпляр эталона метра из платино-иридиевого сплава. Оказалось, что эталон № 6 при температуре 0 °С точно соответствует длине «метра Архива», и именно этот экземпляр эталона по решению I Генеральной конференции по мерам и весам был утвержден как международный эталон метра, который хранится в г. Севре (Франция). Остальные 30 эталонов были переданы разным государствам. Россия получила № 28 и № 11, причем в качестве государственного был принят эталон № 28.

Погрешность платино-иридиевых эталонов метра уже в начале XX в. оценивалась как неудовлетворительная, и в 1960 г. XI Генеральная конференция по мерам и весам выработала другое определение метра – в длинах световых волн, что основано на постоянстве длины волны спектральных линий излучения атомов. Это основа криптонового эталона метра, Погрешность криптонового эталона намного меньше, чем платино-иридиевого.

Однако в космический век и эта точность оказалась недостаточной, а новейшие достижения науки позволили в 1983 г. на XVII Генеральной конференции мер и весов принять новое определение метра как длины пути, проходимого светом за $1/299792458$ доли секунды в условиях вакуума. Следует отметить, что на этой же конференции было объявлено точно определяемое современной наукой значение скорости света.

Эталонная база России представляет собой совокупность первичных и вторичных эталонов, а также исходных установок высшей точности для воспроизведения единиц физических величин.

В наследство от СССР России досталась эталонная база, входящая в тройку лучших баз в мире, наряду с американской и японской. Современная российская эталонная база имеет в своем составе 118 государственных эталонов, более 70 установок высшей точности и 250 вторичных эталонов.

За последние годы получены высокие результаты точности и надежности эталонов, создаваемых на основе использования квантовых эффектов, что позволяет предположить возможность создания новых эталонов в недалеком будущем.

Квантовые эталоны характеризуются высокой степенью стабильности значений погрешности воспроизведения единиц величин. С помощью новых методов и средств измерений уточняются фундаментальные – физические константы, поэтому точность квантовых этало-

нов будет возрастать. Ученые полагают, что квантовые эталоны можно будет считать «вечными мерами», так как способность воспроизведения единиц физических величин у таких эталонов не подвержена влиянию внешних условий, географического местонахождения и времени.

Ожидается появление возможности создания сравнительно недорогих квантовых эталонов и рабочих средств измерений на основе практического использования эффекта высокотемпературной сверхпроводимости, что послужит началом нового периода в развитии фундаментальной и практической метрологии.

К средствам измерений относятся:

- меры;
- измерительные преобразователи;
- измерительные приборы;
- измерительные установки и системы;
- измерительные принадлежности.

Мерой называют средство измерения, предназначенное для воспроизведения физических величин заданного размера. К данному виду средств измерений относятся гири, концевые меры длины и т.п. На практике используют однозначные и многозначные меры, а также наборы и магазины мер. Однозначные меры воспроизводят величины только одного размера (гиря). Многозначные меры воспроизводят несколько размеров физической величины. Например, миллиметровая линейка дает возможность выразить длину предмета в сантиметрах и в миллиметрах.

Наборы и магазины представляют собой объединение (сочетание) однозначных или многозначных мер для получения возможности воспроизведения некоторых промежуточных или суммарных значений величины. Набор мер представляет собой комплект однородных мер разного размера, что дает возможность применять их в нужных сочетаниях. Например, набор лабораторных гирь. Магазин мер – сочетание мер, объединенных конструктивно в одно механическое целое, в котором предусмотрена возможность посредством ручных или автоматизированных переключателей, связанных с отсчетным устройством, соединять составляющие магазин меры в нужном сочетании. По такому принципу устроены магазины электрических сопротивлений.

В качестве рабочих эталонов длины широко используются штриховые меры (подобие первоначального эталона метра), а также плоскопараллельные концевые меры длины, аттестованные по высшему разряду.

Плоскопараллельные концевые меры длины выпускаются в виде стандартных наборов, содержащих обычно 83 или 112 прямоугольных брусьев и пластин единого формата 9×30 (35) мм, но различной длины:

- от 1 до 1,49 мм с интервалом 0,01 мм;
- от 1,5 до 2 мм с интервалом 0,1 мм;
- от 2 до 10 мм с интервалом 0,5 мм;
- от 10 до 100 мм с интервалом 10 мм.

В других наборах градация мер может составлять 0,001 мм и иметь другие диапазоны длин. Кроме того, концевые меры требуемых длин выпускаются по специальным заказам предприятий.

Плоскопараллельные концевые меры длины изготавливаются на специализированных заводах из углеродистой стали и твердых сплавов; ведутся работы по применению керамических материалов с целью повышения износостойкости концевых мер. Главная задача при производстве плоскопараллельных концевых мер заключается в обеспечении высокой точности размеров, точности формы рабочих плоскостей, точности их взаимного расположения и высокой чистоты обработки.

В зависимости от точности размеров, достигнутой при изготовлении, концевые меры подразделяются на классы точности:

- для стальных мер – 00; 01; 0; 1; 2; 3;
- для твердосплавных – 00; 0; 1; 2; 3.

Изношенные и поврежденные концевые меры могут быть отнесены к 4 или 5 классам точности. Эти меры в дальнейшем могут использоваться в промышленности в качестве рабочих средств измерений.

Отклонения формы рабочих плоскостей мер оцениваются допуском плоскостности; измерение отношений выполняется на интерферометре. Отклонения расположения двух противолежащих рабочих плоскостей мер оцениваются допусками параллельности.

Нормированные требования к точности формы и расположения относятся ко всей плоскости меры, кроме участков, отстоящих от краев на 0,8 мм для мер длиной более 29 мм.

Чистота обработки рабочих поверхностей мер очень высока и оценивается параметром шероховатости $K_a = 0,016$ мкм. Высокое качество поверхностей обеспечивает очень важное свойство концевых мер – притираемость, т.е. способность плотного (без зазора) прилегания, обеспечивающего прочное сцепление плиток при надвигании их друг на друга с небольшим давлением. При этом гарантируется сила сдвига, необходимая для разъединения притертых плиток, 29,4–78,5 Н. Благодаря притираемости плоскопараллельные концевые меры соединяются в блоки нужного размера, при этом размер блока оказывается равным сумме размеров соединенных мер.

Перед соединением в блок концевые меры обезжиривают спиртом и протирают чистой салфеткой. Притирку концевых мер начинают с наибольших размеров, поочередно присоединяя к ним меньшие концевые меры в порядке убывания размеров. После использования блок разбирают, плитки покрывают тонким слоем нейтральной защитной смазки и укладывают в гнезда классера. При составлении блока необходимо использовать минимальное число мер, для этого подбор необходимых мер следует начинать с концевой меры, у которой номинальный размер оканчивается на последнюю цифру собираемого размера. Затем из собираемого размера вычисляют размер первой выбранной меры и продолжают подбор следующих по тому же правилу.

Например, если требуется составить блок концевых мер размером 59,935 мм, то вначале берут меру, содержащую значения 0,005.

Такой мерой в наборе является 1,005 мм. Оставшийся размер находим вычитанием $59,935 - 1,005 = 58,930$. Второй мерой, содержащей значение 0,03, является 1,03 мм. Продолжаем вычитание: $58,930 - 1,030 = 57,900$ мм. Выбираем третью меру 1,9 мм. Находим остаток $57,900 - 1,900 = 56,0$ мм, который обеспечивается мерами 6 мм и 50 мм. Стандартный набор составлен так, что любой размер может быть собран из 5 концевых мер и менее с минимальной градацией 0,005 мм. Если потребуется собрать размер с точностью 1 мкм, используются дополнительные наборы концевых мер с градацией размеров через 0,001 мм.

Плоскопараллельные концевые меры подвергаются аттестации государственной метрологической службой как после изготовления, так и периодически в процессе их эксплуатации. В зависимости от точности аттестации концевые меры подразделяются на 5 разрядов. Допускаемая погрешность аттестации в мкм по ГОСТ 8.326–89 описывается формулами, в которых X – номинальный размер концевой меры в мм.

Плоскопараллельные концевые меры 1–3 разрядов применяются для поверки и градуировки других средств измерений и называются образцовыми мерами. Меры 1-го разряда поверяют по эталонам длины, меры каждого следующего разряда – по концевым мерам предыдущего, более высокого разряда с помощью образцовых измерительных приборов – компараторов. Новые концевые меры нулевого класса точности аттестуются по 1 разряду, 1-го класса – по 2 разряду и т.д. Рабочие концевые меры длины 4 и 5-го классов аттестуются по 5 разряду.

К однозначным мерам относят стандартные образцы и стандартные вещества. Стандартный образец – это должным образом оформленная проба вещества (материала), которая подвергается метрологической аттестации с целью установления количественного значения опреде-

ленной характеристики. Эта характеристика (или свойство) является величиной с известным значением при установленных условиях внешней среды. К подобным образцам относятся, например, наборы минералов с конкретными значениями твердости (шкала Мооса) для определения этого параметра у различных минералов.

Стандартным образцом является образец чистого цинка, который служит для воспроизведения температуры 419,527 °С по международной температурной шкале МТШ-90.

При пользовании мерами следует учитывать:

- номинальное и действительное значения мер;
- погрешность меры;
- ее разряд.

Номинальным называют значение меры, указанное на ней. Действительное значение меры должно быть указано в специальном свидетельстве как результат высокоточного измерения с использованием официального эталона.

Разность между номинальным и действительным значениями называется погрешностью меры. Величина, противоположная по знаку погрешности, представляет собой поправку к указанному на мере номинальному значению.

Поскольку при аттестации (поверке) также могут быть погрешности, меры подразделяют на разряды (1-го, 2-го и т.д. разрядов) и называют разрядными эталонами (образцовые измерительные средства), которые используют для поверки измерительных средств. Величина погрешности меры служит основой для деления мер на классы, что обычно применимо к мерам, употребляемым для технических измерений.

Измерительный преобразователь – это средство измерений, которое служит для преобразования сигнала измерительной информации в форму, удобную для обработки или хранения, а также передачи в показывающее устройство.

Измерительные преобразователи либо входят в конструктивную схему измерительного прибора, либо применяются совместно с ним, но сигнал преобразователя не поддается непосредственному восприятию наблюдателем. Например, преобразователь может быть необходим для передачи информации в память компьютера, для усиления напряжения и т.д. Преобразуемую величину называют входной, а результат преобразования – выходной величиной. Основной метрологической характеристикой измерительного преобразователя считается соотношение между входной и выходной величинами, называемое функцией преобразования.

Преобразователи подразделяются на:

- первичные (непосредственно воспринимающие измеряемую величину);
- передающие, на выходе которых величина приобретает форму, удобную для регистрации или передачи на расстояние;
- промежуточные, работающие в сочетании с первичными и не влияющие на изменение рода физической величины.

Измерительные приборы – это средства измерений, которые позволяют получать измерительную информацию в форме, удобной для восприятия пользователем. Различаются измерительные приборы прямого действия и приборы сравнения.

Приборы прямого действия отображают измеряемую величину на показывающем устройстве, имеющем соответствующую градуировку в единицах этой величины. Изменения рода физической величины при этом не происходит. К приборам прямого действия относят, например, амперметры, вольтметры, термометры и т.п.

Приборы сравнения предназначаются для сравнения измеряемых величин с величинами, значения которых известны. Такие приборы широко используются в научных целях, а также и на практике для измерения таких величин, как яркость источников излучения, давление сжатого воздуха и др.

Измерительные установки и системы – это совокупность средств измерений, объединенных по функциональному признаку со вспомогательными устройствами, для измерения одной или нескольких физических величин объекта измерений. Обычно такие системы автоматизированы и обеспечивают ввод информации в систему, автоматизацию самого процесса измерения, обработку и отображение результатов измерений для восприятия их пользователем. Такие установки (системы) используют и для контроля (например, производственных процессов), что особенно актуально для метода статистического контроля.

Измерительные принадлежности – это вспомогательные средства измерений величин. Они необходимы для вычисления поправок к результатам измерений, если требуется высокая степень точности. Например, термометр может быть вспомогательным средством, если показания прибора достоверны при строго регламентированной температуре; психрометр – если строго оговаривается влажность окружающей среды.

Следует учитывать, что измерительные принадлежности вносят определенные погрешности в результат измерений, связанные с погрешностью самого вспомогательного средства.

1.6. Характеристики средств измерений

Пределы измерений и диапазон измерений

Каждое средство измерений имеет определенное рабочее пространство, в котором размещается измеряемый объект. Размеры этого пространства определяют пределы измерений прибора.

Так, у оптиметра максимальный подъем кронштейна с тубусом над предметным столом равен 150 мм, следовательно, нижний предел измерений 0, а верхний 150 мм. У стандартного нутромера предел измерений определяется длиной сменной неподвижной опоры и ходом подвижного стержня (обычно 2 мм) и составляет, например, 30–32 мм. Набор сменных стержней в комплекте позволяет расширить пределы измерений прибора, например, от 25 до 150 мм и более.

Кроме того, следует учитывать пределы измерений шкалы прибора, которые должны перекрывать диапазон предполагаемых значений контролируемого параметра. Так, у оптиметра пределы измерений шкалы составляют +0,06 мм ... – 0,06 мм, а диапазон измерений равен 0,12 мм. У стандартных микрометров диапазон измерений по шкале всегда равен 25 мм, тогда как пределы измерений определяются размерами скобы и могут составлять 0–25 мм; 25–50 мм и т.д.

Цена деления шкалы прибора

Шкала измерительного прибора имеет, как правило, крупные и мелкие деления, обозначающие градуировку шкалы. Величины размера, соответствующего расстоянию между соседними делениями шкалы, называется ценой деления и определяет номинальную точность регистрации результатов измерений. Так, цена деления малого штангенциркуля с нониусной шкалой равна 0,1 мм, у большого штангенциркуля – 0,05 мм, у микрометра – 0,01 мм.

Точность отсчета

В некоторых измерительных приборах с оптической шкалой, где расстояния между соседними штрихами достаточно велики, а визирная линия достаточно тонкая, возможно уверенно считывать значения, соответствующие половине и даже $1/3$ цены деления шкалы. В этих случаях точность отсчета обозначает минимальные отклонения размера, которые можно уверенно считывать по шкале.

Погрешность средств измерения

Показания измерительных приборов при выполнении измерений всегда отличаются в большую или меньшую сторону от истинных значений измеряемых величин. Причины таких отличий весьма многообразны. Многие из них связаны с несовершенством измерительных средств – конструкции прибора, используемых параметров, возмож-

ностей технологии их изготовления, качества обработки, юстировки, градуировки шкал и т.д.

Стабильность измерительного средства

В процессе эксплуатации измерительных приборов происходят износ, естественные деформации деталей, изменение упругости пружин и другие естественные процессы, влияющие на показания приборов. Поэтому при очередных поверках определяются необходимые поправки тарированных таблиц и графиков, учитываемые при выполнении измерений. Свойство прибора сохранять постоянную установленную поправку измерений называется стабильностью измерительного средства. Эта характеристика важна для планирования периодичности поверок измерительного средства.

Вариации

При многократных измерениях прибором одной и той же величины наблюдается некоторый разброс получаемых значений, причиной которого может быть инерционность, трение, неоднозначность базирования и др. Наибольшая разность показаний прибора при повторных измерениях называется вариацией измерительного средства.

Чувствительность

Отношение изменения сигнала на выходе измерительного прибора к вызвавшему его изменению измеряемой величины называется чувствительностью прибора. При равномерных линейных шкалах эта величина обычно бывает обратной цене деления. В приборах с нелинейными шкалами чувствительность, как правило, бывает разной на разных участках шкалы. У индикаторов часового типа чувствительность существенно понижена при полностью выдвинутом стержне. Поэтому при пользовании индикатором необходимо устанавливать его на измеряемую деталь так, чтобы стержень переместился на 2–3 полных оборота стрелки, и в этом положении настраивать индикатор на ноль поворотом шкалы.

Измерительное усилие

Приборы, предназначенные для контактных методов измерений, оказывают нормированное давление на измеряемые поверхности. Поэтому при выборе измерительных средств следует учитывать величину измерительного усилия в соответствии со свойствами материала измеряемой детали (свинец, полимеры).

1.7. Выбор средств измерений

Выбор средств измерений для использования в условиях промышленного производства, при эксплуатации машин или для проведения экспериментов является важным и ответственным шагом. Применение рациональных измерительных приборов и мер способствует достижению требуемой точности параметров, повышению производительности и экономичности производственных процессов.

При выборе средств измерений прежде всего исходят из конструкции и размеров измеряемого изделия с тем, чтобы пределы измерений прибора охватывали измеряемый размер, а измеряемая поверхность была доступной для измерения. Учитываются внешние условия, в которых будет использоваться средство измерения. Например нормальные условия для выполнения линейных измерений в пределах от 1 до 500 мм: температура окружающей среды ± 20 °С, атмосферное давление 101324 Па (760 мм рт.ст.), относительная влажность 58 %, ускорение свободного падения $9,8 \text{ м/с}^2$, направление линии измерения линейных размеров (до 160 мм), причем у наружных размеров ее направление вертикальное, а в остальных случаях – горизонтальное и др. Все стандартные средства измерения в этих условиях обеспечивают нормированную точность и другие метрологические характеристики.

Наиболее значимым из указанных условий является температура окружающей среды, оказывающая влияние на размеры элементов средств измерения и измеряемых деталей и поэтому сильно влияющая на результаты измерений. В метрологических лабораториях и измерительных боксах строго выдерживается температура $+20$ °С. Если приходится проводить точные измерения в других условиях, необходимо выполнить пересчет полученных результатов с поправкой на нормальную температуру.

Особой категорией измерительных средств, с точки зрения их метрологического назначения, являются образцовые меры и образцовые измерительные приборы, которые образуют основу обеспечения точности и единства измерений в стране.

Для определения требований технического задания на разработку средств измерений, разработку процедур их поверки, аттестации и в целях сравнительной оценки средств измерений задаются основные показатели, к которым относятся: принцип измерений, метод измерений, погрешность измерений, точность измерений, правильность измерений и достоверность измерений.

1.8. Правовая основа обеспечения единства измерений

Основополагающим правовым актом в области метрологической деятельности в Российской Федерации является Закон «Об обеспечении единства измерений».

Вопросами метрологического обеспечения в стране заняты Государственная метрологическая служба, Государственная служба обеспечения единства измерений, метрологические службы органов государственного управления и юридических лиц.

Органы ГМС осуществляют государственный контроль и надзор за средствами измерений в сферах деятельности, установленных Законом. Средства измерений, применяемые в прочих сферах деятельности, подлежат калибровке, осуществляемой в рамках Российской системы калибровки (РСК).

Метрологическая деятельность осуществляется не только на национальном, но и на международном уровне. Крупнейшими международными метрологическими организациями являются МОМВ и МОЗМ.

Государственная метрологическая служба

Общее руководство метрологическим обеспечением народного хозяйства страны осуществляет Федеральное Агентство по техническому регулированию и метрологии. В области метрологии к его компетенции относятся:

- установление правил создания, утверждения, применения и хранения эталонов единиц величин;
- определение общих метрологических требований к средствам, методам и результатам измерений;
- государственный метрологический контроль и надзор;
- руководство деятельностью Государственной метрологической службы и прочих государственных служб обеспечения единства измерений;
- контроль над соблюдением условий международных договоров России о признании результатов испытаний и проверки средств измерений;
- участие в деятельности международных организаций по вопросам метрологического обеспечения.

Правила и нормы метрологического обеспечения установлены стандартами Государственной системы обеспечения единства измерений (ГСИ).

Организационное единство измерений обеспечивается Государственной метрологической службой России (ГМС), являющейся од-

ним из звеньев государственного управления. В структуру государственной метрологической службы входят следующие организации:

- Всероссийский научно-исследовательский институт метрологической службы (ВНИИМС);

- семь государственных научных метрологических центров (НПО «ВНИИ метрологии имени Д.И. Менделеева» (ВНИИМ, Санкт-Петербург), НПО «ВНИИ физико-технических и радиотехнических измерений (ВНИИИФТРИ, Московская область) и др.);

- центры стандартизации, метрологии и сертификации (около 100).

Среди перечисленных организаций имеются центры государственных эталонов, специализирующиеся на определенных единицах физических величин. Главные центры государственных эталонов служат головными организациями по закрепленным за ними видам измерений, отвечают за уровень и развитие метрологического обеспечения, за создание и совершенствование комплексов государственных и рабочих эталонов и исходных образцов средств измерений.

Государственная метрологическая служба осуществляет контроль и надзор за:

- выпуском, состоянием и применением средств измерений, аттестованными методиками выполнения измерений, эталонами, соблюдением метрологических правил и норм;

- количеством товаров, отчуждаемых при совершении торговых операций;

- количеством фасованных товаров в упаковках любого вида при их расфасовке и продаже.

Государственная служба обеспечения единства измерений, не входящая в структуру ГМС, включает в свой состав следующие организации:

Государственную службу времени, частоты и определения параметров вращения Земли (ГСВЧ). Эта служба занимается хранением, воспроизведением и передачей размеров единиц времени и частоты, шкал атомного, всемирного времени, координат полюсов Земли;

Государственную службу стандартных образцов состава и свойств веществ и материалов (ГССО). Эта служба занимается созданием и применением системы эталонных образцов состава и свойств веществ и материалов (медицинских препаратов, почв, сплавов и др.);

Государственную службу стандартных справочных данных о физических константах и свойствах веществ и материалов (ГСССД). Эта служба занимается созданием достоверных характеристик свойств веществ и материалов, физических констант. После утверждения разработанных характеристик ИСО или международными метрологически-

ми организациями ГСССД публикует их в форме справочной информации.

Метрологические службы, действующие на основе Типового положения о метрологической службе

Кроме перечисленных выше организаций в Российской Федерации функционируют метрологические службы государственных органов управления и юридических, действующие на основе Типового положения о метрологической службе. Сферы деятельности, в которых создание метрологических служб обязательно, перечислены в Законе «Об обеспечении единства измерений»

Метрологическая служба государственного органа управления – это организационная система, создаваемая по приказу руководителя государственного органа управления, в состав которой могут входить:

- служба главного метролога в центральном аппарате государственного органа управления;
- головные и базовые отраслевые организации метрологической службы, назначаемые государственным органом управления. Эти организации подлежат аккредитации, осуществляемой государственными органами управления при участии специалистов ГМС под руководством ВНИИМС, ведущим регистрацию метрологических служб;
- метрологические службы предприятий и организаций.

Метрологические службы юридических лиц, создаваемые по распоряжению их руководителей, могут включать:

- калибровочные лаборатории;
- ремонтную службу средств измерений.

Эти службы могут быть аккредитованы на право калибровки средств измерений на основе договоров с органами ГМС или на техническую компетентность в области точности измерений.

Особое внимание метрологические службы юридических лиц должны уделять соблюдению метрологических норм и правил при испытаниях и контроле качества выпускаемой продукции.

Государственный метрологический контроль и надзор

Метрологический контроль и надзор осуществляются посредством:

- калибровки средств измерений;
- выдачи предписаний, направленных на устранение или предотвращение нарушений метрологических требований;
- проверки своевременности проведения поверки, калибровки и испытаний средств измерений;

– надзора за состоянием и использованием средств измерений, аттестованных методик измерений, эталонов единиц физических величин, применяемых для калибровки средств измерений, и соблюдением метрологических требований.

В соответствии с Законом «Об обеспечении единства измерений» государственный метрологический контроль и надзор распространяются на строго определенные сферы деятельности, поэтому все средства измерений в России условно делятся на две группы: используемые в сфере действия государственного метрологического контроля или планируемые к использованию в этой сфере и неиспользуемые в сфере действия государственного метрологического контроля или непланируемые к использованию в этой сфере.

За средствами измерений, принадлежащими ко второй группе, надзор со стороны государства в лице Госстандарта не ведется. Их пригодность к применению определяется калибровкой, заменившей существовавшие ранее метрологическую аттестацию и ведомственную поверку средств измерений. На сегодняшний день в стране сложилась Российская система калибровки (РСК).

Законодательно в Российской Федерации установлены три вида государственного метрологического контроля:

- утверждение типа средств измерений;
- поверка средств измерений, в том числе эталонов;
- лицензирование деятельности на право изготовления, ремонта, продажи и проката средств измерений.

Международные метрологические организации

Метрология будет способствовать развитию международной торговли лишь при условии соблюдения единства измерений, так как лишь в этом случае обеспечивается сопоставимость результатов испытаний и сертификации продукции. Обеспечение единства измерений в международном масштабе и является целью деятельности международных метрологических организаций.

История международной метрологии начинается с 1870 г., когда по инициативе Петербургской академии наук было созвано международное совещание по вопросу «необходимости установления прототипов мер». В 1872 г. была создана международная комиссия по изготовлению прототипов мер длины и массы. В 1875 г. на Международной дипломатической конференции по проблемам обеспечения международного единства и усовершенствования метрической системы состоялось подписание 17 странами (в том числе и Россией) Метрической конвенции, имевшей целью унификацию национальных систем единиц измерений. На основе этой Конвенции была создана Между-

народная организация мер и весов (МОМВ) и научно-исследовательская лаборатория – Международное бюро мер и весов (МБМВ), постоянно совершенствующее метрическую систему измерений.

В настоящее время Метрическую конвенцию подписали более 40 стран, а метрическая система мер узаконена более чем в 100 странах мира. Это позволяет устранять технические трудности в обмене технологиями, информацией, торговле (особенно технически сложной продукцией).

В 1956 г. состоялось подписание межправительственной Конвенции об учреждении Международной организации законодательной метрологии (МОЗМ).

В настоящее время членами МОЗМ являются 35 стран мира, а в работе принимают участие более 80 государств.

МОЗМ ставит перед собой следующие основные задачи:

- установление характеристик и качеств, которые должны быть присущи измерительным приборам, рекомендованным для применения в международном масштабе;
- составление типовых проектов закона и регламента, относящихся к измерительным приборам и их применению;
- разработка проекта организации типовой службы по поверке измерительных приборов и контролю над ними;
- создание центра документации и информации о национальных службах контроля за измерительными приборами, подлежащими надзору в соответствии с правилами, установленными законами, и об их поверке.

Высшим руководящим органом МОЗМ является созываемая раз в четыре года Международная конференция законодательной метрологии, исполнительным органом – Международный комитет законодательной метрологии (МКЗМ).

Решения МОЗМ носят характер рекомендаций и не обязывают страны–члены МОЗМ к их внедрению.

В январе 1995 г. МОЗМ начала деятельность по сертификации средств измерений в рамках Системы сертификатов МОЗМ. Сертификат МОЗМ является гарантией соответствия средств измерений международным требованиям, признаваемым в большинстве стран мира.

МОМВ и МОЗМ являются крупнейшими международными метрологическими организациями. Они работают в тесном контакте с ИСО и МЭК. Например, МОЗМ участвует в работе почти 30 технических комитетов ИСО.

Существуют и другие международные метрологические организации, имеющие отраслевую специализацию, например, ИКАО (Между-

народная организация гражданской авиации), МАГАТЭ (Международное агентство по атомной энергии), МККР (Международный консультативный комитет по радиосвязи).

1.9. Закономерности формирования результата измерения

1.9.1. Составляющие погрешности

Погрешность результата каждого конкретного измерения складывается из многих составляющих, обязанных своим происхождением различным факторам и источникам. Традиционный аналитический подход к оцениванию погрешностей результата состоит в выделении этих составляющих, изучении их по отдельности и последующем суммировании. Зная свойства и оценив количественные характеристики составляющих погрешностей, можно правильно учесть их при оценивании погрешности результата или, если это возможно, ввести поправки в результат измерения. Выделив и оценив отдельные составляющие погрешности, иногда оказывается возможным так организовать измерение, чтобы эти составляющие не исказили результат.

Обязательными компонентами любого измерения являются средство измерения, метод измерения и человек, проводящий измерение. Несовершенство каждого из этих компонентов приводит к появлению своей составляющей погрешности результата. В соответствии с этим, по источнику возникновения различают инструментальные, методические и личностные погрешности.

Инструментальные погрешности $\Delta_{\text{и}}$ обуславливаются методом измерений, свойствами прибора, качеством его изготовления.

Методические погрешности $\Delta_{\text{м}}$ определяются несовершенством выбранного метода измерений, условиями выполнения измерений или особенностью самих измеряемых величин. Выявить, устранить или компенсировать методические погрешности – одна из главных задач метрологического обеспечения.

Субъективные погрешности $\Delta_{\text{сб}}$ обуславливаются состоянием оператора, эргономическими свойствами рабочего места, несовершенством органов чувств, влиянием окружающей среды, и др.

Таким образом, полная погрешность

$$\Delta = \Delta_{\text{и}} + \Delta_{\text{м}} + \Delta_{\text{сб}}.$$

Инструментальная погрешность для большей части рабочих средств измерений составляет 80...95 % от полной погрешности. У рабочих средств измерений обязательно выделяют основную погреш-

ность, которая свойственна данному прибору в нормальных условиях его применения.

Предел допустимой основной погрешности – это наибольшая основная погрешность, при которой прибор может быть допущен к применению и которая задается в виде абсолютных, приведенных или относительных погрешностей. Эта величина указывается в паспорте прибора. Кроме основной погрешности, свойственной средствам измерений при использовании их в нормальных условиях, отдельно нормируются пределы допустимых дополнительных погрешностей средств измерений, возникающих вследствие отклонений значений влияющих величин от их нормальных значений. Пределы дополнительных погрешностей указывают отдельно от основной и нормируют в абсолютных величинах или долях от основной погрешности.

Наиболее характерными отклонениями нормальных условий измерений являются: отклонения от нормальной температуры, отклонения от выдержки до начала применения, отклонения от влажности, отклонения от освещенности рабочего места, отклонения от допустимой скорости движения воздуха и др.

Пример. Амперметр предназначен для измерения переменного тока с номинальной частотой (50 ± 5) Гц. Отклонение частоты за эти пределы приведет к дополнительной погрешности измерения.

Для оценивания дополнительных погрешностей в документации на средство измерений обычно указывают нормы изменения показаний при выходе условий измерения за пределы нормальных.

1.9.2. Классификация погрешностей

Естественно, что классифицировать составляющие погрешности можно по многим признакам. В целях единообразия подхода к анализу и оцениванию погрешностей в метрологии принята следующая классификация.

1. По характеру проявления во времени выделяют систематические и случайные составляющие погрешности (далее, для краткости, будем опускать слово составляющие там, где в этом нет необходимости).

Систематической погрешностью измерения называется погрешность, которая при повторных измерениях одной и той же величины в одних и тех же условиях остается постоянной или закономерно изменяется (например, с увеличением температуры объем тела увеличивается). Такие погрешности можно выявить и учесть в конечных результатах измерений.

Случайной погрешностью измерения называют погрешность, которая при повторных измерениях одной и той же величины в одних и тех

же условиях изменяется случайным образом по знаку и (или) величине. Источником систематической погрешности может послужить, например, неточное нанесение отметок на шкалу стрелочного прибора, деформация стрелки. Случайная составляющая погрешности возможна из-за трения в опорах подвижной части прибора, колебаний температуры окружающего воздуха, влияния магнитных и электрических промышленных помех и т.п.

В отличие от систематических, случайные погрешности исключить из измерений нельзя, но можно оценить величину полученной ошибки измерения.

2. Абсолютную погрешность « Δ » определяют как алгебраическую разность между результатом измерений x и действительным значением величины

$$\Delta = x - x_{\text{п.}}$$

Абсолютная погрешность наиболее часто используется как характеристика измерительных средств для измерения линейных размеров, массы расхода газа, жидкости и др.

Относительную погрешность « δ » – определяют как отношение абсолютной погрешности к измеренному значению.

Относительная погрешность преимущественно выражается в процентах и используется для характеристики приборов, предназначенных для измерения электрических, радиотехнических, магнитных и теплотехнических величин.

3. В соответствии со статическим и динамическим режимом работы средства измерения выделяют статические и динамические составляющие погрешности. Динамическая составляющая погрешности возникает при работе средства измерения в динамическом режиме и определяется двумя факторами: динамическими (инерционными) свойствами средства измерений и характером (скоростью) изменения измеряемой величины. При измерениях детерминированных сигналов динамические погрешности обычно рассматриваются как систематические при случайном характере измеряемой величины, динамические погрешности приходится рассматривать как случайные.

4. У средств измерений часто можно выделить составляющие погрешности, не зависящие от значения измеряемой величины и погрешности изменяющиеся пропорционально измеряемой величине. Такие составляющие называют, соответственно, аддитивными и мультипликативными погрешностями. Аддитивной, например, является систематическая погрешность, вызванная неточной установкой нуля у стрелочного прибора с равномерной шкалой; мультипликативной – погрешность измерения отрезков времени отстающими или спешащими

часами. Эта погрешность будет возрастать по абсолютной величине до тех пор, пока владелец часов не выставит их правильно по сигналам точного времени. Такая операция называется градуированием погрешности.

1.9.3. Оценка характеристик погрешности

Характеристики погрешности (показатели точности) оценивают приближенно; точность оценок согласовывается с целью измерения. Погрешности (показатели точности) оценивают сверху; в то же время, верхняя оценка погрешности должна быть реалистичной, не слишком завышенной.

Выбор модели погрешности обусловлен сведениями об ее источниках. Модели разделяют на детерминистские и недетерминистские (случайные). Для систематических погрешностей справедливы детерминистские модели, при которых систематическая погрешность по определению может быть представлена постоянной величиной либо известной зависимостью (линейная, периодическая и другие функции времени или номера наблюдения). Общей моделью случайной погрешности служит случайная величина, обладающая функцией распределения вероятностей.

Характеристики случайной погрешности делят на точечные и интервальные. Для описания погрешностей результата измерения чаще всего используют интервальные оценки. Это означает, что границы, в которых может находиться погрешность, находят как отвечающие некоторой вероятности. В этом случае границы погрешности называют доверительными границами, а вероятность, соответствующую доверительной погрешности, – доверительной вероятностью. Однако в некоторых случаях, когда нет возможности или необходимости оценить доверительные границы погрешности (например, неизвестна функция распределения вероятностей погрешности), используют точечные характеристики. Так, точечной характеристикой являются среднее квадратическое отклонение случайной погрешности, дисперсия.

Появление случайных погрешностей можно определить при проведении многократных измерений и аппроксимировать стандартными функциями плотности вероятностей: по нормальному закону, равномерному закону, треугольному закону.

Нормальный закон принимается в тех случаях, когда погрешность измерений обуславливается более чем четырьмя случайными факторами с примерно равной долей в общей погрешности. При этом законы распределения составляющих погрешностей могут быть любыми. Эту модель широко применяют в практике измерений, когда нормальный

закон принимают на основании анализа источников и причин возникновения соответствующих погрешностей.

Равномерное распределение, как правило, принимают при известных границах допускаемых значений погрешностей и неизвестном законе распределения, а для практического применения необходимо определить среднее квадратичное отклонение погрешностей измерений. Это вызвано тем, что среднее квадратичное отклонение для равномерного закона – наибольшее из трех названных и, как следствие, незнание закона распределения создает запас погрешности.

Треугольное распределение характерно для определения погрешностей измерений, основанных на счете импульсов определенной стабилизированной частоты, например в приборах измерений с цифровой индикацией.

Знание законов распределений необходимо лишь для расчетов интервальных показателей точности измерения (интервалов, в которых с заданной вероятностью P находятся частичные погрешности). Из этого следует вывод о том, что знание законов распределений необходимо на уровне эталонных или исследовательских измерений при жесткой стабилизации условий измерений или при выборе средств измерений.

Для рабочих технических измерений главным является вопрос о том, сколько средних квадратичных отклонений уложится в пределы допустимой погрешности. В этом случае чаще всего выбирают закон равномерной вероятности, при котором уже при двух средних квадратичных отклонениях достигают доверительную вероятность $P = 0,9$.

1.9.4. Представление результатов измерений

Точность измерений – это качество измерений, отражающее близость их результатов истинному значению измеряемой величины. Для рабочих технических измерений совместно с результатом измерений должны быть представлены характеристики их погрешности или их статистические оценки.

В целях единообразия представления результатов и погрешностей измерений показатели точности и формы представления результатов измерений стандартизованы.

Наиболее часто применяются следующие формы представления результата измерения:

а) при симметричной доверительной погрешности:

A	$\pm \Delta$	P
<i>результат измерения</i>	<i>границы интервала погрешностей</i>	<i>доверительная вероятность 0,9(0,8)</i>

Например, результат измерения диаметра гильзы:

$$\varnothing 85,4 \pm 0,1 \text{ мм}, P = 0,9.$$

б) при несимметричном интервале погрешностей измерений

<i>A</i>	<i>Δ от ΔН до ΔВ</i>	<i>P</i>
<i>результат измерения</i>	<i>нижняя и верхняя границы интервала погрешностей</i>	<i>доверительная вероятность</i>

Например, результат измерения расхода жидкости гидронасосом:

$$0,75 \text{ м}^3/\text{с}; \text{ от } \Delta -0,6 \text{ до } +0,02 \text{ м}^3/\text{с}; P = 0,8.$$

Для многократных равноточных измерений указываются их среднее арифметическое значение, число измерений и при необходимости условия измерений.

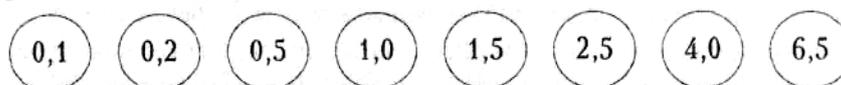
Класс точности – обобщенная характеристика средств измерений, определенная пределами допустимых основной и дополнительной погрешностей, а также другими характеристиками, влияющими на точность средств измерений, величина которой устанавливается в документах (например, ГОСТ 8.401–80 «ГСИ. Классы точности средств измерений»).

Для рабочих средств измерений применяются следующие способы обозначения классов точности:

- Через пределы допустимой погрешности, выраженные в единицах измеряемой величины: Кл0; Кл1; Кл2; Кл3; II, III, IV.

Например, для микрометров, концевых мер длины, рабочих весов.

- Через пределы допустимой относительной погрешности, выраженные в (\pm) процентах от значения измеряемой величины:



Например, для вольтметров, амперметров, омметров;

- Через пределы допустимой приведенной погрешности, выраженные в (\pm) процентах от нормирующей (предельного значения шкалы) величины: 0,1; 0,5; 1,0; 1,5; 2,5; 4,0; 6,5. Например, для вольтметров, амперметров, тахометров. Такая форма представления точности измерений характерна для современных приборов измерения электрических и радиотехнических величин, приборов с цифровой индикацией;

- Через предел допустимой погрешности, выраженный в (\pm) процентах от нормирующего значения длины шкалы (обычно 62 или 57 мм):



Например, в мегомметрах.

На комбинированных аналоговых приборах применяются одновременно 3-я и 4-я формы обозначения классов точности.

Правильность измерений – это качество измерений, отражающее близость к нулю систематических погрешностей в их результатах. Правильность измерений зависит от того, в какой степени были правильно выбраны средства измерений для данного вида измеряемой величины, а также способ компенсации систематической погрешности.

Достоверность измерений характеризует доверие к результатам измерений и делит их на две категории – достоверные и недостоверные, в зависимости от того, известны или неизвестны вероятностные характеристики отклонений от истинных значений (Δ_H , Δ_B , P , σ , стандартная функция). Например, результат измерения диаметра поршня $\varnothing 65,33$ мм является недостоверным, а результат $\varnothing 65,33 \pm 0,01$ мм ; $P = 0,9$ является достоверным.

Для рабочих средств измерений из известных составляющих полной погрешности измерений Δ практически важной является инструментальная погрешность, обусловленная только свойствами конкретного средства измерений. Она может возникнуть из-за износа деталей средств измерений, изменения условий трения между деталями, неточного нанесения штрихов на шкале, нарушения технологии изготовления (ремонта, обслуживания) средств измерений.

Обоснованная и достоверная оценка инструментальной погрешности является одной из главных задач рабочих измерений. Эта задача должна решаться до проведения измерений, на стадии выбора или разработки средств измерений. Единственным способом ее решения являются расчетные оценки инструментальной погрешности по нормированным метрологическим характеристикам, указанным в документации на средства измерений.

Распространенной ошибкой при оценивании результатов и погрешностей измерений является вычисление их и запись с чрезмерно большим числом значащих цифр. Этому способствует использование для расчетов средств вычислительной техники, позволяющих практически без лишних затрат труда и времени получать результаты расчета с четырьмя и более значащими цифрами.

Необходимо помнить, что поскольку погрешности измерений определяют лишь зону недостоверности, неопределенность результатов, т.е. дают представление о том, какие цифры в числовом значении результата являются сомнительными, их (погрешности) не требуется знать очень точно. Для технических измерений допустимой считается погрешность оценивания погрешности в 15...20 %.

В самом деле, вычислив значение погрешности равным 0,43293 и результата измерения 19,82256, следует задуматься, имеет ли смысл запись результата с такой погрешностью. Ведь если исходить из того, что недостоверность результата уже характеризуется десятными долями (0,4...), то, очевидно, что вклад последующих значащих цифр в оцененную погрешность будет все менее и менее весом и ничего не прибавит к информации об измеряемой величине. С учетом этого необходимо ограничивать и число значащих цифр в записи результата измерения.

Стандартом установлено, что в численных показателях точности измерений (в том числе и в погрешности) должно быть не более двух значащих цифр.

При записи результатов измерений наименьшие разряды числовых значений результата измерения и численных показателей точности должны быть одинаковы. В приведенном примере, следовательно, оценка погрешности должна быть записана как 0,43 или 0,4, а результат измерения как 19,82 или 19,8 соответственно. Расчет погрешностей округления погрешности показывает, что при округлении до двух значащих цифр она составляет не более 5 %. Практикой выработаны следующие правила округления результатов и погрешностей измерений.

1. Лишние цифры в целых числах заменяются нулями, а в десятичных дробях отбрасываются. Если десятичная дробь в числовом значении результата измерения оканчивается нулями, то нули отбрасываются только до того разряда, который соответствует разряду погрешности, например, результат 2,0700, погрешность 0,001; результат округляют до 2,070.

2. Если цифра старшего из отбрасываемых разрядов меньше 5, то остающиеся цифры числа не изменяют, например, число 253435 при сохранении четырех значащих цифр должно быть округлено до 235400, число 235,435 – до 235,4.

3. Если цифра старшего из отбрасываемых разрядов больше или равна 5, но за ней следуют отличные от нуля цифры, то последнюю оставляемую цифру увеличивают на единицу, например, при сохранении трех значащих цифр число 18598 округляют до 18600, число 152,56 – до 153.

4. Если отбрасываемая цифра равна 5, а следующие за ней цифры неизвестны или нули, то последнюю сохраняемую цифру не изменяют, если она четная и увеличивают, если она нечетная, например, число 22,5 при сохранении двух значащих цифр округляют до 22, а число 23,5 – до 24.

1.9.5. Система поверок средств измерений

Поверка средств измерений обычно осуществляется метрологическими службами предприятий.

Поверка средств измерений – это определение метрологическим органом погрешности средств измерений и установление его пригодности. Поверка является одной из основных форм деятельности метрологических служб предприятий, может быть государственной и ведомственной. Государственная поверка проводится территориальными органами Госстандарта России, а ведомственная – метрологической службой отрасли (предприятия) и является важнейшей формой метрологического надзора за средствами измерений. Государственной поверке подвергаются образцовые средства измерений, используемые метрологическими службами предприятий, а также отдельные рабочие средства измерений, применяемые при учете материальных средств, охране здоровья, безопасности и охране природы.

В зависимости от целей и назначения результатов поверки различают следующие виды поверок: первичную, периодическую, внеочередную, инспекционную и экспертную.

Первичную поверку проводят при выпуске средств измерений в обращение из производства и ремонта.

Периодическую поверку при эксплуатации и хранении средств измерений проводят через определенные поверочные интервалы, установленные с учетом конкретных условий эксплуатации и режимов работы средств измерений.

Внеочередную поверку проводят при утрате документов, повреждении поверительного клейма, а также при длительном хранении, независимо от сроков периодических поверок.

Инспекционную поверку проводят при осуществлении государственного надзора и ведомственного контроля, по результатам ее определяют качество поверочных работ и правильность назначения межповерочных интервалов.

Экспертную поверку проводят при выполнении метрологической экспертизы средств измерений с целью обоснования заключения о пригодности средства измерения к применению, а также по требованию государственного арбитража или следственных органов.

Для предприятий основной является периодическая поверка рабочих средств измерений, которая выполняется силами и средствами лабораторий измерительной техники. Так, например, рабочие средства измерений линейных размеров поверяются один раз в два года, образцовые меры 1-го разряда – один раз в четыре года, аналоговые вольтметры, амперметры, комбинированные приборы – один раз в два

года и т.п. Периодичность проверок рабочих средств измерений определяется в зависимости от частоты их применения, график проверок утверждается руководителем предприятия.

1.9.6. Результаты и погрешности измерений

Систематические погрешности – обнаружение и исключение

Источниками систематических составляющих погрешности измерения могут быть все компоненты измерения: метод, средства и экспериментатор. Оценивание систематических составляющих представляет достаточно трудную метрологическую задачу. Важность ее определяется тем, что знание систематической погрешности позволяет ввести соответствующую поправку в результат измерения и тем самым повысить его точность. Трудность же заключается в сложности обнаружения систематической погрешности, поскольку она не может быть вычислена путем повторных измерений (наблюдений). В самом деле, будучи постоянной по величине для данной группы наблюдений, систематическая погрешность никак визуально не проявится при повторных измерениях одной и той же величины и, следовательно, экспериментатор затруднится ответить на вопрос – имеется ли систематическая погрешность в наблюдаемых результатах. Таким образом, проблема обнаружения систематических погрешностей едва ли не главная в борьбе с ними.

Постоянные инструментальные систематические погрешности обычно выявляют посредством проверки средства измерения.

Обнаруженные таким образом систематические погрешности вычитаются из результата измерения путем введения поправки.

Пример. При измерении напряжения в сети показания вольтметра 225 В. В свидетельстве о поверке указано, что на этой отметке шкалы систематическая погрешность вольтметра равна +3 В. С учетом поправки напряжение в сети равно $225 - 3 = 222$ В.

Для обнаружения изменяющейся систематической погрешности рекомендуется построить график, на котором нанесены результаты наблюдений в той последовательности, в какой они были получены. Общая картина расположения полученных точек позволяет обнаружить наличие закономерного изменения результатов наблюдений и сделать вывод о присутствии в них систематической погрешности. Простейшим, но частым случаем погрешности, изменяющейся по определенному закону, является погрешность, прогрессирующая по линейному закону, например, пропорционально времени. Такие погрешности могут быть оценены и исключены следующим образом. Если известно,

что при измерении постоянной величины X_0 (из физических соображений, например) систематическая погрешность изменяется линейно во времени, то для исключения достаточно сделать два наблюдения X_1 и X_2 с фиксацией времени t_1 и t_2 ,

Тогда искомое значение величины будет

$$X_0 = \frac{X_1 t_2 - X_2 t_1}{t_1 - t_2}, \quad (1.2)$$

систематической погрешности:

$$\Delta X_{\text{пов}} = X_{\text{пов}} - X_{\text{обр}}; \quad (1.3)$$

$$X_{\text{обр}} = X_{\text{пов}} - \Delta X_{\text{пов}}. \quad (1.4)$$

Однако, предполагая, что изменение систематической погрешности происходит по линейному закону, не всегда можно быть полностью уверенным, что это именно так. В этом случае для контроля систематической погрешности применяют метод симметричных наблюдений. Несколько наблюдений выполняют через равные промежутки времени, затем вычисляют средние арифметические симметрично расположенных отсчетов.

Теоретически, при линейной зависимости погрешности от времени, эти средние арифметические должны быть равны – это и дает возможность контролировать ход изменения погрешности. Убедившись, что погрешность изменяется по линейному закону, находят результат измерения.

Систематические составляющие обусловлены несовершенством методов измерения, ограниченной точностью расчетных формул, положенных в основу измерений, влиянием средств измерений на объект.

Единых рекомендаций по обнаружению и оцениванию методических составляющих систематической погрешности нет. Поэтому, задача решается в каждом конкретном случае индивидуально, на основе анализа примененного метода измерений, результаты которого часто зависят от квалификации экспериментатора.

Личные систематические погрешности связаны с индивидуальными особенностями наблюдателя. При проектировании современных средств измерения принимаются меры к тому, чтобы максимально исключить возможность появления личных погрешностей. По-видимому, по этой причине принято считать личные погрешности пренебрежимо малыми и при анализе погрешностей не принимать их в расчет. Однако безоговорочно согласиться с таким подходом нельзя. Неточные

действия наблюдателя могут привести к запаздыванию или опережению фиксации моментов времени при отсчете показаний, неточности отсчитывания значений измеряемой величины по шкале стрелочного прибора из-за параллакса и др. Поэтому для того чтобы избежать личных погрешностей, необходимо точно соблюдать правила эксплуатации средств измерений и иметь навыки работы с измерительной техникой.

Компенсация систематической погрешности в процессе измерения

В практике измерений применяется несколько методов, позволяющих за счет некоторого усложнения процедуры измерений получить результат измерения свободным от систематической погрешности. К ним относятся метод замещения, метод противопоставления и метод компенсации погрешности по знаку.

Метод замещения

Этот метод дает наиболее полное решение задачи компенсации постоянной систематической погрешности и представляет собой разновидность метода сравнения. Сравнение производится путем замены измеряемой величины известной величиной и так, чтобы воздействием известной величины привести средство измерения в то состояние, которое оно имело при воздействии измеряемой величины.

Пример. Взвешивание на пружинных весах, у которых имеется постоянная систематическая погрешность (из-за смещения шкалы, например). Взвешивание производится в два приема. Вначале на чашу весов помещают взвешиваемое тело массой m_x и отмечают положение указателя. Затем взвешиваемое тело замещают гирями такой массы M_0 , чтобы вновь добиться прежнего отклонения указателя. Разность между m_x и m_0 – погрешность и ее следует учесть введением поправки. Поправка равна погрешности, взятой с обратным знаком, или в единицах измеряемой величины.

Метод противопоставления

Рассмотрим данный метод на следующем примере.

При взвешивании на рычажных весах условие равновесия весов равенство произведений массы на длину плеча весов. Если длины плеч одинаковы, то масса груза и гирь одинаковы. Если длины плеч l_1, l_2 различны (из-за технологического разброса длин плеч при их изго-

товлении, например), то при взвешивании каждый раз возникает систематическая погрешность.

$$\Delta_c = m_0 \left(\frac{l_2}{l_1} - 1 \right). \quad (1.5)$$

Для исключения этой погрешности взвешивание производится в два этапа. Сначала взвешивают груз уравновешивая весы гирями (m_{01}). Затем взвешиваемый груз перемещают на ту чашу весов, где прежде были гири и вновь уравновешивают весы (новой массой гирь M_{02}). Исключив из полученных равенств отношение плеч, найдем

$$m_x = \sqrt{m_{01} \cdot m_{02}}. \quad (1.6)$$

Как видно из формулы, длины плеч не входят в окончательный результат взвешивания.

Метод компенсации погрешности по знаку

Этот метод также предусматривает проведение измерения в два этапа выполняемых так, чтобы постоянная систематическая погрешность входила в показания средства измерения на каждом этапе с разными знаками. За результат измерения принимают полусумму показаний – систематические погрешности при этом взаимно компенсируются.

Суммирование систематических погрешностей

Независимо от того, к какому виду относится измерение, является ли оно прямым, косвенным совместным или совокупным, систематическая погрешность результата измерения оценивается, как правило, по ее известным составляющим.

Поскольку в каждом конкретном случае каждая систематическая составляющая получает конкретную реализацию (она либо постоянная, либо известен закон ее изменения), то результирующая, суммарная систематическая погрешность представляет собой алгебраическую сумму составляющих.

Случайные погрешности

Случайные погрешности обязаны своим происхождением ряду причин, действие которых неодинаково в каждом опыте и не может быть учтено. Они имеют различные значения даже для измерений, выполненных одинаковым образом, то есть носят случайный характер. Допустим, что сделано n повторных измерений одной и той же вели-

чины. Если они выполнены одним и тем же методом, в одинаковых условиях и с одинаковой степенью тщательности, то такие измерения называются равноточными. Пусть минимальный интервал значений измеряемой величины, через который ведутся отсчеты (цена деления прибора), будет h , а среднее арифметическое всех результатов измерений пусть будет $\langle x \rangle$. Обозначим через ki число тех результатов, которые отклонились от среднего $\langle x \rangle$ на величину $\Delta x = ih$. Отложив по оси абсцисс величину абсолютных погрешностей Δx , а по оси ординат значения k , получим ступенчатый график, называемый гистограммой (рис. 1.1).

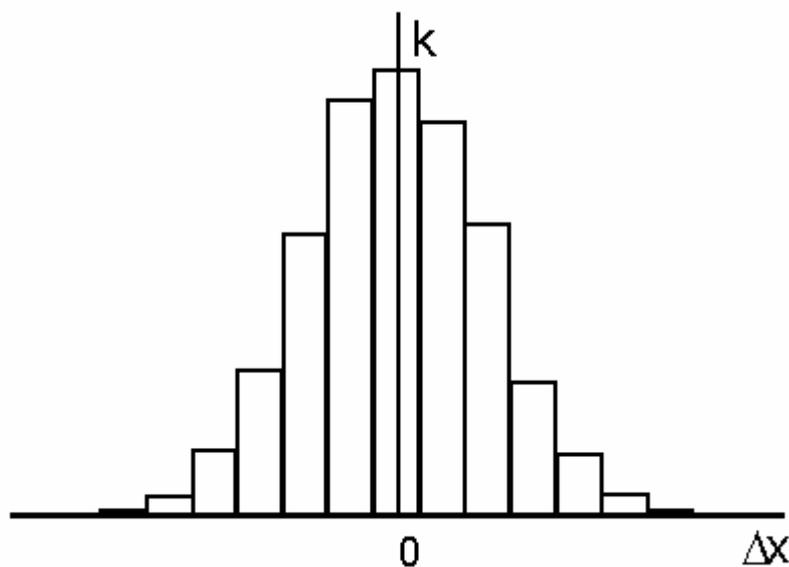


Рис. 1.1. Гистограмма распределения результатов

Если устремить число измерений к бесконечности, а интервал h – к нулю, то гистограмма переходит в пределе в непрерывную кривую, которая является кривой распределения погрешностей. При некоторых условиях, которые обычно выполняются при проведении измерений, эта кривая представляет собой график функции Гаусса, имеющей следующий вид:

$$f(\Delta x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\Delta x)^2}{2\sigma^2}}, \quad (1.7)$$

где параметр σ определяет ширину распределения. Несколько кривых Гаусса для разных значений параметра σ показаны на рис. 1.2.

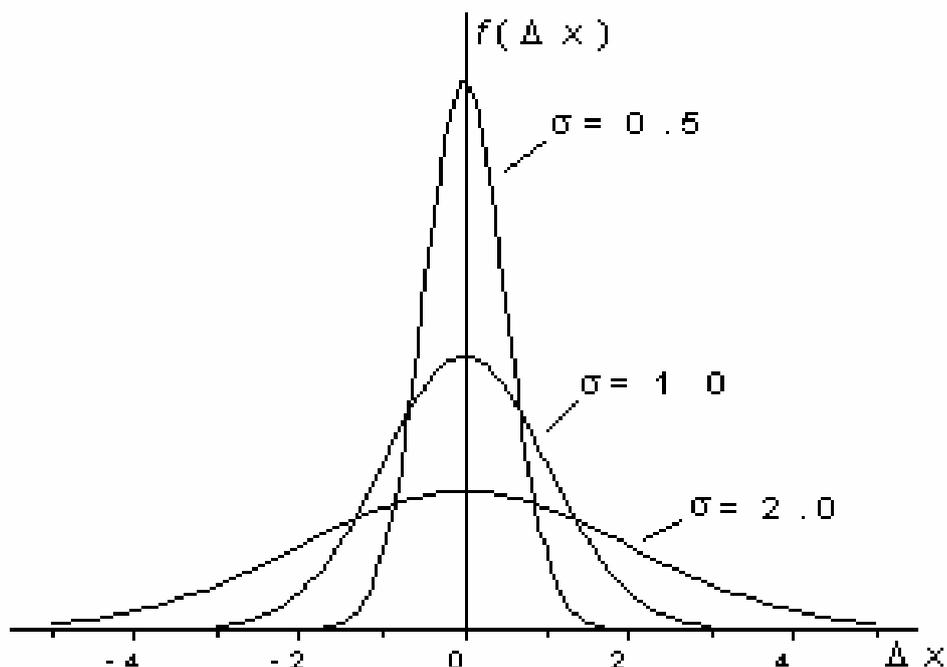


Рис. 1.2. График функции Гаусса

Третий тип погрешностей, с которыми приходится иметь дело — грубые погрешности или промахи. Под грубой погрешностью измерения понимается погрешность, существенно превышающая ожидаемую при данных условиях. Она может быть сделана вследствие неправильного применения прибора, неверной записи показаний прибора, ошибочно прочитанного отсчета, неучета множителя шкалы и т.п.

Вычисление погрешностей. В дальнейшем будем предполагать, что

- 1) грубые погрешности исключены;
- 2) поправки, которые следовало определить (например, смещение нулевого деления шкалы), вычислены и внесены в окончательные результаты;
- 3) все систематические погрешности известны (с точностью до знака).

В этом случае результаты измерений оказываются все же не свободными от случайных погрешностей. Если случайная погрешность окажется меньше систематической, то, очевидно, нет смысла пытаться уменьшить величину случайной погрешности — все равно результаты измерений не станут значительно лучше и, желая получить большую точность, нужно искать пути к уменьшению систематической погрешности. Наоборот, если случайная погрешность больше систематической, то именно случайную погрешность нужно уменьшить в первую очередь и добиться того, чтобы случайная погрешность стала меньше

систематической, с тем чтобы последняя опять определяла окончательную погрешность результата. На практике обычно уменьшают случайную погрешность до тех пор, пока она не станет сравнимой по величине с систематической погрешностью. Как будет видно из дальнейшего, случайная погрешность уменьшается при увеличении числа измерений.

Поскольку из-за наличия случайных погрешностей результаты измерений по своей природе представляют собой тоже случайные величины, истинного значения $x_{\text{ист}}$ измеряемой величины указать нельзя. Однако можно установить некоторый интервал значений измеряемой величины вблизи полученного в результате измерений значения $x_{\text{изм}}$, в котором с определенной вероятностью содержится $x_{\text{ист}}$. Тогда результат измерений можно представить в следующем виде:

$$x_{\text{изм}} - \Delta x \leq x_{\text{ист}} \leq x_{\text{изм}} + \Delta x, \quad (1.8)$$

где Δx – погрешность измерений.

Вследствие случайного характера погрешности точно определить ее величину невозможно. В противном случае найденную погрешность можно было бы ввести в результат измерения в качестве поправки и получить истинное значение $x_{\text{ист}}$. Задача наилучшей оценки значения $x_{\text{ист}}$ и определения пределов интервала (1.8) по результатам измерений является предметом математической статистики. Воспользуемся некоторыми ее результатами.

Пусть проведено n измерений величины x . Тогда за лучшую оценку истинного значения результата измерений принимается среднее арифметическое значение

$$\langle x \rangle = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad (1.9)$$

где x_i – результат i -го измерения.

Для оценки случайной погрешности измерения существует несколько способов. Наиболее распространена оценка с помощью стандартной или средней квадратичной погрешности σ (ее часто называют стандартной погрешностью или стандартом измерений).

Средней квадратичной погрешностью называется величина

$$S_n = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\langle x \rangle - x_i)^2}{n-1}}, \quad (1.10)$$

где n – число наблюдений.

$$\sigma = \lim_{x \rightarrow \infty} S_n. \quad (1.11)$$

Именно этот предел и входит в качестве параметра σ в распределение Гаусса (1.7). Квадрат этой величины называется дисперсией измерений. В действительности, по результатам измерений всегда вычисляется не σ , а ее приближенное значение S_n , которое, вообще говоря, тем ближе к σ , чем больше n .

Все сказанное выше о погрешностях относится к погрешностям отдельного измерения. Однако важнее знать, насколько может уклоняться от истинного значения x среднее арифметическое $\langle x \rangle$, полученное по формуле (1.9) для n повторных равнозначных измерений. Теория показывает, что средняя квадратичная погрешность среднего арифметического S равна средней квадратичной погрешности отдельного результата измерений S_n , деленной на корень квадратный из числа измерений n , то есть

$$S = \frac{S_n}{\sqrt{n}}. \quad (1.12)$$

Это фундаментальный закон возрастания точности при росте числа наблюдений.

Пусть α означает вероятность того, что результат измерений отличается от истинного на величину, не большую, чем Δx . Вероятность α в этом случае носит название доверительной вероятности, а интервал значений измеряемой величины от $\langle x \rangle - \Delta x$ до $\langle x \rangle + \Delta x$ называется доверительным интервалом.

Определим доверительный интервал. Чем большим будет установлен этот интервал, тем с большей вероятностью $x_{\text{ист}}$ попадает в этот интервал. С другой стороны, более широкий интервал дает меньшую информацию относительно величины $x_{\text{ист}}$. Если ограничиться учетом только случайных погрешностей, то при небольшом числе измерений n для уровня доверительной вероятности α полуширина доверительного интервала (1.8) равна

$$\Delta x_{\text{ст}} = t_{\alpha, n} S, \quad (1.13)$$

где $t_{\alpha, n}$ – коэффициент Стьюдента.

Таблица 1.4

Коэффициенты Стьюдента

$\alpha = 0,68$		$\alpha = 0,95$		$\alpha = 0,9$	
n	$t_{\alpha, n}$	n	$t_{\alpha, n}$	n	$t_{\alpha, n}$
1	2	3	4	5	6
2	2,0	2	12,7	2	63,7
3	1,3	3	4,3	3	9,9
4	1,3	4	3,2	4	5,8
5	1,2	5	2,8	5	4,6
6	1,2	6	2,6	6	4,0
7	1,1	7	2,4	7	3,7
8	1,1	8	2,4	8	3,5
9	1,1	9	2,3	9	3,4
10	1,1	10	2,3	10	3,3
15	1,1	15	2,1	15	3,0
20	1,1	20	2,1	20	2,9
30	1,1	30	2,0	30	2,8
100	1,0	100	2,0	100	2,6

Смысл понятий «доверительный интервал» и «доверительная вероятность» состоит в следующем: пусть $\alpha = 0,95$, тогда можно утверждать с надежностью 95 %, что истинное значение величины $x_{\text{ист}}$ не отличается от оценки (1.9) больше, чем на $\pm \Delta x_{\text{сл}}$. Значения коэффициентов $t_{\alpha, n}$ в зависимости от α и n табулированы (табл. 1.4). Чтобы окончательно установить границы доверительного интервала, необходимо расширить его с учетом систематической погрешности $\Delta x_{\text{сист}}$. Систематическая погрешность, как правило, указана в паспорте или на шкале прибора, а в простейших случаях может быть принята равной половине цены деления младшего разряда шкалы. Обычно (хотя, строго говоря, и неверно) суммарная погрешность определяется как корень квадратный из суммы квадратов случайной и систематической погрешностей:

$$\Delta x = \sqrt{\Delta x_{\text{сл}}^2 + \Delta x_{\text{сист}}^2}. \quad (1.14)$$

Определенная согласно (1.14) величина Δx является абсолютной погрешностью. Очевидно, что при одном и том же значении Δx результат может оказаться достаточно точным при измерении некоторой большой величины, тогда как при измерении малой величины его

точность будет недостаточной. Например, пусть имеется возможность измерять линейные размеры с погрешностью $\Delta x = 1$ мм. Ясно, что это заведомо превышает необходимую точность при измерении, скажем, размеров комнаты, но измерение окажется слишком грубым при определении толщины монеты. Таким образом, становится понятной необходимость введения относительной погрешности, которая определяется как

$$\sigma = \frac{\Delta x}{\langle x \rangle} \quad (1.15)$$

и выражается, обычно, в процентах. Как видно, выражение (1.15) позволяет оценить величину погрешности по отношению к самой измеряемой величине. Очевидно, что в тех случаях, когда измеряемая величина представляет собой условное число, например, астрономическое время в данный момент (но не интервал времени между двумя событиями), пространственная координата (но не расстояние между двумя точками) и т.п., определение относительной погрешности смысла не имеет. Действительно, точность определения текущего времени по одним и тем же часам одинакова и в 12 часов, и в 1 час.

Рассмотрим теперь случай, когда при повторении измерений в одних и тех же условиях устойчиво получаются одинаковые значения $x = x_0$. В этом случае систематическая погрешность настолько превышает случайную, что влияние случайной погрешности полностью маскируется. Истинное значение x отнюдь не равно x_0 . Оно, по-прежнему, остается неизвестным, и для него можно записать $x = x_0 \pm \Delta x$, причем погрешность Δx определяется в данном случае воспроизводящимися от опыта к опыту ошибками, связанными с неточностью измерительных приборов или метода измерений. Такую погрешность Δx , как отмечалось, называют систематической. Для более точного определения физической величины x в данном случае необходимо изменить постановку самого опыта: взять прибор более высокого класса точности, улучшить методику измерений и т.п.

Класс точности прибора (приведенная погрешность) – это выраженная в процентах относительная погрешность, которую дает данный прибор при измерении им наибольшего значения измеряемой величины, указанной на шкале прибора. Тогда абсолютная погрешность оказывается одинаковой по всей шкале прибора. Например, пусть имеется амперметр класса 1,5 со шкалой 20 А. При измерении им любого значения тока абсолютная погрешность будет равна $0,015 \cdot 20 = 0,3$ А. Нетрудно видеть, что при измерениях в конце шкалы относительная

погрешность оказывается меньше, приближаясь к приведенной. Класс точности обычно указывается на шкале прибора соответствующей цифрой. Если на шкале такого обозначения нет, то данный прибор внеклассный, и его приведенная погрешность более 4 %.

Рассмотрим, каким образом оценить случайную погрешность косвенно измеряемой величины y , которая является функцией некоторого числа m непосредственно измеряемых величин x_i , т.е.

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_m). \quad (1.16)$$

Само среднее значение $\langle y \rangle$ можно найти из известной функциональной зависимости (1.16), подставляя в качестве аргументов усредненные по всем проведенным опытам значения непосредственно измеренных величин $\langle x_i \rangle$. Соответствующие вычисления показывают, что абсолютная погрешность Δy в этом случае определяется по формуле

$$\Delta y = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \Delta x_i \right)^2}, \quad (1.17)$$

где $\frac{\partial f}{\partial x_i}$ обозначает так называемую частную производную.

Частная производная – это такая производная, которая вычисляется от функции f по аргументу x_i , притом как все остальные аргументы считаются постоянными.

Относительная погрешность для косвенно измеряемой величины y определяется как

$$\delta = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial \ln f}{\partial x_i} \Delta x_i \right)^2}. \quad (1.18)$$

Формулу (1.17) применяют в тех случаях, когда в зависимости (1.16) измеряемые величины x_i входят, в основном, в виде слагаемых, а формула (1.18) оказывается особенно удобной тогда, когда правая часть (1.16) представляет собой произведение величин x_i . Учитывая простую связь между абсолютной и относительной погрешностями $d = \Delta y / \langle y \rangle$, легко по известной величине Δy вычислить d и наоборот. Рассмотрим применение формул (1.17) и (1.18) на примере. Пусть функциональная зависимость косвенно измеряемой величины y от непосредственно измеряемых величин x_i имеет следующий простой вид:

$$y = ax_1 + bx_2.$$

Поскольку функция y представляет собой сумму двух слагаемых, находим частные производные

$$\frac{\partial y}{\partial x_1} = a ; \quad \frac{\partial y}{\partial x_2} = b$$

и подставляем их в формулу (3.17):

$$\Delta y = \sqrt{(a\Delta x_1)^2 + (b\Delta x_2)^2} ,$$

причем абсолютные погрешности Δx_1 и Δx_2 должны быть предварительно определены, как указано выше, по формулам (1.10)–(1.14).

Пусть теперь функциональная зависимость косвенно измеряемой величины y от непосредственно измеряемых величин x_i имеет следующий вид:

$$y = \sqrt{\frac{ax_1^3}{x_2}} .$$

В этом случае для определения погрешности косвенно измеряемой величины y воспользуемся формулой (1.18). Для этого сначала найдем логарифм, а затем – частные производные:

$$\ln y = \frac{1}{2}(\ln a + 3\ln x_1 - \ln x_2);$$

$$\frac{\partial \ln y}{\partial x_1} = \frac{3}{2x_1}; \quad \frac{\partial \ln y}{\partial x_2} = \frac{1}{2x_2} .$$

Подставляя в (1.17), найдем

$$\delta y = \sqrt{\left(\frac{3\Delta x_1}{2x_1}\right)^2 + \left(\frac{\Delta x_2}{2x_2}\right)^2} = \frac{1}{2} \sqrt{\left(3\frac{\Delta x_1}{x_1}\right)^2 + \left(\frac{\Delta x_2}{x_2}\right)^2} .$$

Нетрудно видеть, что предварительное логарифмирование существенно упростило вид частных производных. Измеряемая величина y , вообще говоря, имеет какую-то размерность. Брать логарифм от размерной величины конечно же нельзя. Чтобы устранить некорректность, достаточно разделить y на постоянную, равную единице данной размерности (если y – длина, то разделим на 1 м). После логарифмирования получится дополнительное слагаемое, которое все равно исчезнет при взятии частных производных (производная от постоянной равна нулю), поэтому наличие такого слагаемого обычно подразумевается.

При обработке результатов измерений предлагается следующий порядок операций.

При прямых (непосредственных) измерениях:

1. Вычисляется среднее из n измерений:

$$\langle x \rangle = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i.$$

2. Определяется среднеквадратичная погрешность среднего арифметического:

$$S = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(\langle x \rangle - x_i)^2}{n(n-1)}}.$$

3. Задается доверительная вероятность α и определяется коэффициент Стьюдента $t_{\alpha, n}$ для заданного α и числа произведенных измерений n по табл. 1.4.

4. Находится полуширина доверительного интервала (абсолютная погрешность результата измерений):

$$\Delta x = \sqrt{\Delta x_{\text{сист}}^2 + \Delta x_{\text{сл}}^2},$$

где $\Delta x_{\text{сл}} = t_{\alpha, n} S$.

5. Оценивается относительная погрешность результата измерений

$$\delta = \frac{\Delta x}{\langle x \rangle}.$$

6. Окончательный результат записывается в виде

$$x = \langle x \rangle \pm \Delta x.$$

При косвенных измерениях:

1. Для каждой серии измерений величин, входящих в определение искомой величины, производится обработка в описанной выше последовательности. При этом для всех измеряемых величин задают одно и то же значение доверительной вероятности α .

2. Оценивается точность результата косвенных измерений по формуле (1.17) либо (1.18), где производные вычисляются при средних значениях величин.

3. Определяется относительная погрешность результата серии косвенных измерений.

4. Окончательный результат записывается в виде

$$y = \langle y \rangle \pm \Delta y,$$

где $\langle y \rangle = f(\langle x_1 \rangle, \langle x_2 \rangle, \dots, \langle x_m \rangle)$.

Возможен и другой подход к оценке погрешности результата косвенного измерения. Вместо определения искомой величины через средние значения $\langle x_i \rangle$ как

$$\langle y \rangle = f(\langle x_1 \rangle, \langle x_2 \rangle, \dots, \langle x_m \rangle)$$

можно для каждого выполненного опыта вычислить

$$y_i = f(x_1^{(i)}, x_2^{(i)}, \dots, x_m^{(i)}),$$

а затем найти $\langle y \rangle$ как среднее арифметическое согласно (1.9) и далее абсолютную погрешность Δy по формулам (1.10)–(1.13). Оба способа дают близкие результаты.

Оценка результата измерения

Задача состоит в том, чтобы по полученным экспериментальным путем результатам наблюдений, содержащим случайные погрешности, найти оценку истинного значения измеряемой величины – результат измерения. Будем полагать, что систематические погрешности в результатах наблюдений отсутствуют или исключены. К оценкам, получаемым по статистическим данным, предъявляются требования состоятельности, несмещенности и эффективности. Оценка называется состоятельной, если при увеличении числа наблюдений она стремится к истинному значению оцениваемой величины. Оценка называется несмещенной, если ее математическое ожидание равно истинному значению оцениваемой величины. В том случае, когда можно найти несколько несмещенных оценок, лучшей из них считается та, которая имеет наименьшую дисперсию. Чем меньше дисперсия оценки, тем более эффективной считают эту оценку.

Способы нахождения оценок результата зависят от вида функции распределения и от имеющихся соглашений по этому вопросу, регламентируемых в рамках законодательной метрологии. Общие соображения по выбору оценок заключаются в следующем.

Распределения погрешностей результатов наблюдений, как правило, являются симметричными относительно центра распределения, поэтому истинное значение измеряемой величины может быть определено как координата центра рассеивания $X_{\text{ц}}$, т.е. центра симметрии распределения случайной погрешности (при условии, что систематическая погрешность исключена). Отсюда следует принятое в метрологии правило оценивания случайной погрешности в виде интервала, симметричного относительно результата измерения $(X_{\text{ц}} \pm \Delta X)$. Координата $X_{\text{ц}}$ может быть найдена несколькими способами. Наиболее общим

является определение центра симметрии из принципа симметрии вероятностей, т.е. нахождение такой точки на оси x , слева и справа от которой вероятности появления различных значений случайных погрешностей равны между собой и составляют $P_1 = P_2 = 0,5$. Такое значение $X_{ц}$ называется медианой.

Координата $X_{ц}$ может быть определена и как центр тяжести распределения, т.е. как математическое ожидание случайной величины.

При асимметричной кривой плотности распределения вероятностей оценкой центра распределения может служить абсцисса моды распределения, т.е. координата максимума плотности. Однако есть распределения, у которых не существует моды (например, равномерное), и распределения, у которых не существует математического ожидания.

В практике измерений встречаются различные формы кривой закона распределения, однако чаще всего имеют дело с нормальным и равномерным распределением плотности вероятностей.

Учитывая многовариантность подходов к выбору оценок и в целях обеспечения единства измерений, правила обработки результатов наблюдений обычно регламентируются нормативно-техническими документами (стандартами, методическими указаниями, инструкциями). Так, в стандарте на методы обработки результатов прямых измерений с многократными наблюдениями указывается, что приведенные в нем методы обработки установлены для результатов наблюдений, принадлежащих нормальному распределению.

1.9.7. Поверка средств измерений

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

Средства измерений, подлежащие метрологическому контролю и надзору, подвергаются поверке при выпуске из производства или ремонта, при ввозе по импорту, при продаже и выдаче на прокат, а также при эксплуатации.

Правилами ПР 50.2.006–94 «ГСИ. Поверка средств измерений. Организация и порядок проведения» установлено, что поверку средств измерений осуществляют органы государственной метрологической службы (ГМС), государственные научные метрологические центры (ГНМЦ), а также аккредитованные метрологические службы юридических лиц.

Поверка проводится физическим лицом, аттестованным в качестве поверителя в соответствии с правилами ПР 50.2.012–94 «ГСИ. Порядок аттестации поверителей средств измерений», по нормативным документам, утверждаемым по результатам испытаний с целью утверждения типа. Если средство измерений по результатам поверки признано пригодным к применению, то на него и (или) техническую документацию наносится оттиск *поверительного клейма* и (или) выдается «Свидетельство о поверке». Если по результатам поверки средство измерений признано не пригодным к применению, оттиск поверительного клейма и (или) «Свидетельство о поверке» аннулируются и выписывается «Извещение о непригодности» или делается соответствующая запись в технической документации.

Существуют следующие виды поверок:

Первичная поверка — проводится для средств измерений утвержденных типов при выпуске их из производства, после ремонта, при ввозе из-за границы. При утверждении типа средств измерений единичного производства на каждое из них оформляется сертификат об утверждении типа; первичную поверку данные средства измерений не проходят.

Периодическая поверка проводится для средств измерений, находящихся в эксплуатации, через определенные межповерочные интервалы. Необходимость поверки обусловлена возможностью утраты измерительным средством метрологических показателей из-за временных и других воздействий.

Периодичность поверки зависит от временной нестабильности метрологических характеристик (метрологической надежности), интенсивности эксплуатации и важности результатов, получаемых с помощью средств измерений.

Существуют рекомендация ВНИИМС – МИ2273–93 «ГСИ. Области использования средств измерений, подлежащих поверке», согласно которой первый межповерочный интервал устанавливается при утверждении типа. Корректировка межповерочных интервалов с учетом специфики применения средств измерений производится в соответствии с методическими материалами МИ 1872–88 «ГСИ. Межповерочные интервалы образцовых средств измерений. Методика определения и корректировки», а также МИ 218–92 «ГСИ. Межповерочные и межкалибровочные интервалы средств измерений. Методика определения».

Внеочередная поверка проводится: при необходимости подтверждения пригодности средства измерений к применению; в случае приме-

нения средства измерений в качестве комплектующего по истечении половины межповерочного интервала; в случае повреждения клейма или утери свидетельства о поверке; при вводе в эксплуатацию после длительной консервации (более одного межповерочного интервала); при отправке средств измерений потребителю после истечения половины межповерочного интервала.

Экспертная поверка проводится при возникновении разногласий по вопросам, относящимся к метрологическим характеристикам, исправности средств измерений и пригодности их к применению.

Инспекционная поверка выполняется в рамках государственного надзора или ведомственного контроля, для контроля качества первичных или периодических поверок и определения пригодности средств измерений к применению.

1.9.8. Калибровка средств измерений

В настоящее время в Российской Федерации с переходом к рынку возникла необходимость поиска новых форм организации метрологической деятельности, которые соответствовали бы рыночным отношениям в экономике. Одной из таких форм является организация Российской системы калибровки (РСК).

Контроль средств измерений на предмет их пригодности к применению в мировой практике осуществляется двумя основными видами: поверкой и калибровкой.

Калибровка средства измерений – это совокупность операций, выполняемых калибровочной лабораторией с целью определения и подтверждения действительных значений метрологических характеристик и (или) пригодности средства измерений к применению в сферах, не подлежащих государственному метрологическому контролю и надзору в соответствии с установленными требованиями.

Результаты калибровки средств измерений удостоверяются *калибровочным знаком*, наносимым на средства измерений, или *сертификатом о калибровке*, а также *записью в эксплуатационных документах*.

Поверку (обязательная госповерка) может выполнять, как правило, орган государственной метрологической службы, а калибровку – любая аккредитованная и не аккредитованная организация.

Поверка обязательна для средств измерений, применяемых в сферах, подлежащих Государственному метрологическому контролю (ГМК), калибровка же – процедура добровольная, поскольку относится к средствам измерений, не подлежащим ГМК. Предприятие вправе самостоятельно решать вопрос о выборе форм и режимов контроля

состояния средств измерений, за исключением тех областей применения средств измерений, за которыми государства всего мира устанавливают свой контроль – это здравоохранение, безопасность труда, экология и др.

Освободившись от государственного контроля, предприятия попадают под не менее жесткий контроль рынка. Это означает, что свобода выбора предприятия по «метрологическому поведению» является относительной, все равно необходимо соблюдать метрологические правила.

В развитых странах устанавливает и контролирует исполнение этих правил негосударственная организация, именуемая «национальной калибровочной службой». Эта служба берет на себя функции регулирования и разрешения вопросов, связанных со средствами измерений, не подпадающими под контроль государственных метрологических служб.

Желание иметь конкурентоспособную продукцию побуждает предприятия иметь измерительные средства, дающие достоверные результаты.

Внедрение системы сертификации продукции дополнительно стимулирует поддержание измерительных средств на соответствующем уровне. Это согласуется с требованиями систем качества, регламентируемыми стандартами ИСО серии 9000.

Построение Российской системы калибровки (РСК) основывается на следующих принципах: добровольность вступления; обязательность получения размеров единиц от государственных эталонов; профессионализм и компетентность персонала; самокупаемость и самофинансирование.

Основное звено РСК – калибровочная лаборатория. Она представляет собой самостоятельное предприятие или подразделение в составе метрологической службы предприятия, которое может осуществлять калибровку средств измерений для собственных нужд или для сторонних организаций. Если калибровка проводится для сторонних организаций, то калибровочная лаборатория должна быть аккредитована органом РСК. Аккредитацию осуществляют государственные научные метрологические центры или органы Государственной метрологической службы в соответствии со своей компетенцией и требованиями, установленными в ГОСТ 51000.2–95 «Общие требования к аккредитующему органу».

Порядок аккредитации метрологической службы утвержден постановлением Госстандарта РФ от 28 декабря 1995 г. № 95 «Порядок ак-

кредитации метрологических служб юридических лиц на право проведения калибровочных работ».

Допускается применение четырех методов поверки (калибровки) средств измерений: непосредственное сличение с эталоном; сличение с помощью компаратора; прямые измерения величины; косвенные измерения величины.

Метод непосредственного сличения поверяемого (калибруемого) средства измерения с эталоном соответствующего разряда широко применяется для различных средств измерений в таких областях, как электрические и магнитные измерения, для определения напряжения, частоты и силы тока. В основе метода лежит проведение одновременных измерений одной и той же физической величины поверяемым (калибруемым) и эталонным приборами. При этом определяют погрешность как разницу показаний поверяемого и эталонного средств измерений, принимая показания эталона за действительное значение величины. Достоинства этого метода в его простоте, наглядности, возможности применения автоматической поверки (калибровки), отсутствии потребности в сложном оборудовании.

Метод сличения с помощью компаратора основан на использовании прибора сравнения, с помощью которого сличаются поверяемое (калибруемое) и эталонное средства измерения. Потребность в компараторе возникает при невозможности сравнения показаний приборов, измеряющих одну и ту же величину, например, двух вольтметров, один из которых пригоден для постоянного тока, а другой — переменного. В подобных ситуациях в схему поверки (калибровки) вводится промежуточное звено — компаратор. Для приведенного примера потребуется потенциометр, который и будет компаратором. На практике компаратором может служить любое средство измерения, если оно одинаково реагирует на сигналы как поверяемого (калибруемого), так и эталонного измерительного прибора. Достоинством данного метода специалисты считают последовательное во времени сравнение двух величин.

Метод прямых измерений применяется, когда имеется возможность сличить испытуемый прибор с эталонным в определенных пределах измерений. В целом этот метод аналогичен методу непосредственного сличения, но методом прямых измерений производится сличение на всех числовых отметках каждого диапазона (и поддиапазонов, если они имеются и приборе). Метод прямых измерений применяют, например, для поверки или калибровки вольтметров постоянного электрического тока.

Метод косвенных измерений используется, когда действительные значения измеряемых величин невозможно определить прямыми изме-

рениями либо когда косвенные измерения оказываются более точными, чем прямые. Этим методом определяют вначале не искомую характеристику, а другие, связанные с ней определенной зависимостью. Искомая характеристика определяется расчетным путем. Например, при поверке (калибровке) вольтметра постоянного тока эталонным амперметром устанавливают силу тока, одновременно измеряя сопротивление. Расчетное значение напряжения сравнивают с показателями калибруемого (поверяемого) вольтметра. Метод косвенных измерений обычно применяют в установках автоматизированной поверки (калибровки).

Для обеспечения правильной передачи размеров единиц измерения от эталона к рабочим средствам измерения составляют *поверочные схемы*, устанавливающие метрологические соподчинения государственного эталона, разрядных эталонов и рабочих средств измерений.

Схемы передачи информации о размерах единиц при их централизованном воспроизведении называют поверочными.

Поверочная схема – это утвержденный в установленном порядке документ, регламентирующий средства, методы и точность передачи размера единицы физической величины от государственного эталона или исходного образцового средства измерений рабочим средствам измерений.

Поверочная схема может быть: государственной и локальной.

Государственная поверочная схема устанавливает передачу информации о размере единицы в масштабах страны. Она возглавляется государственными или специальными эталонами.

Локальные поверочные схемы предназначены для метрологических служб министерств (ведомств) и юридических лиц. Все локальные поверочные схемы должны соответствовать требованиям соподчиненности, которая определена государственной поверочной схемой. Государственные поверочные схемы разрабатываются научно-исследовательскими институтами Госстандарта РФ, держателями государственных эталонов. Локальная поверочная схема уточняет требования государственной схемы применительно к специфике данного ведомства. Она возглавляется рабочими эталонами.

Государственные поверочные схемы утверждаются Госстандартом РФ, а локальные – ведомственными метрологическими службами или руководством предприятия.

Рассмотрим содержание государственной поверочной схемы (рис. 1.3) в общем виде. Наименование эталонов и рабочих средств измерений обычно располагают в прямоугольниках (для государственного эталона прямоугольник двухконтурный). Здесь же указывают метрологические характеристики для данной ступени схемы.

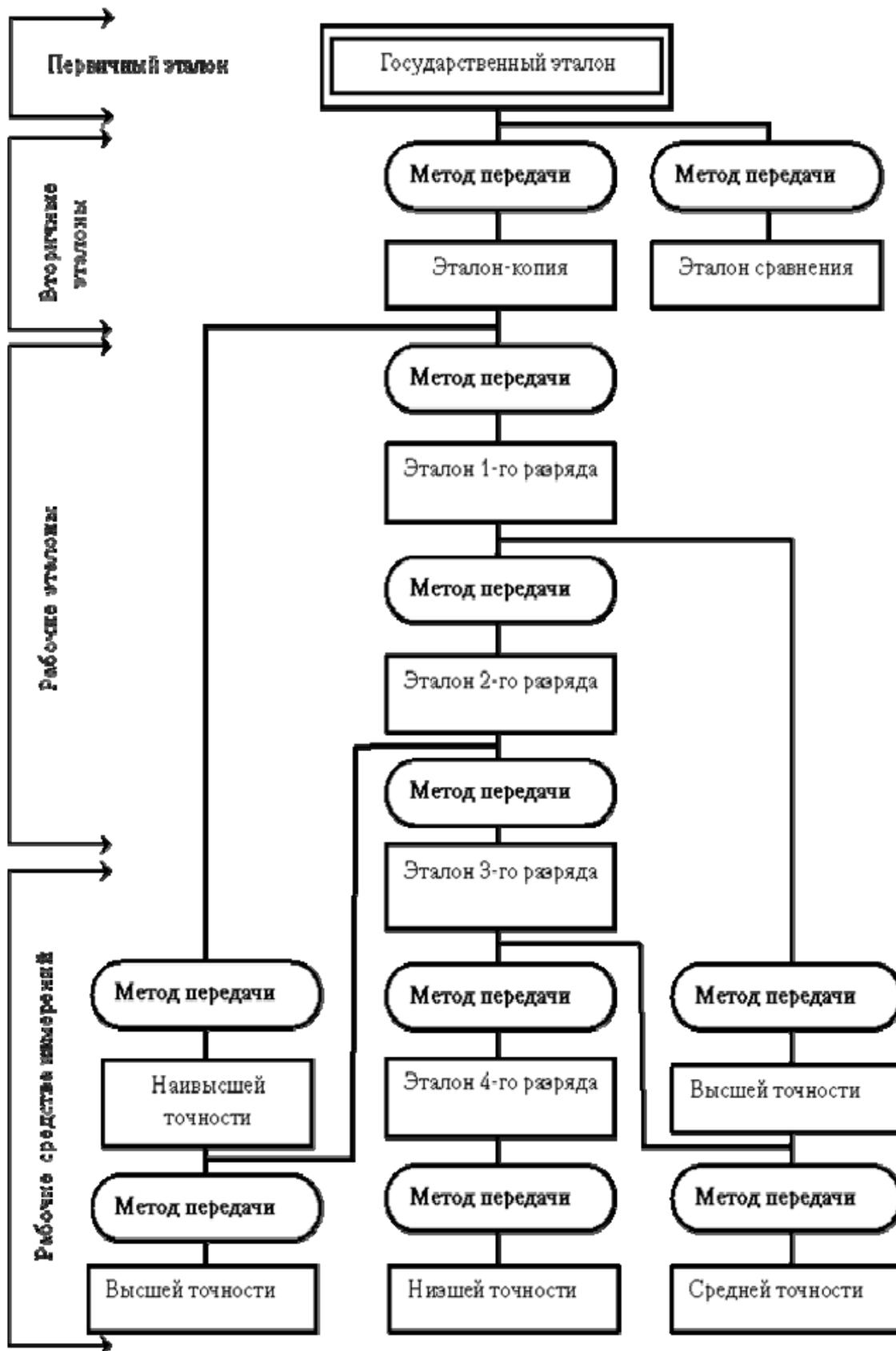


Рис. 1.3. Общий вид государственной поверочной схемы

В нижней части схемы расположены рабочие средства измерений, которые в зависимости от их степени точности (то есть погрешности измерения) подразделяют на пять категорий: наивысшей точности; высшей точности; высокой точности; средней точности; низшей точности. Наивысшая точность обычно соизмерима со степенью погрешности средства измерения государственного эталона. В каждой ступени поверочной схемы регламентируется порядок (метод) передачи размера единицы. Наименования методов поверки (калибровки) располагаются в овалах, в которых также указывается допускаемая погрешность метода поверки (калибровки).

Сертификация средств измерений

В соответствии с законом РФ «О сертификации продукции и услуг» в России создана Система сертификации средств измерений, которая предусматривает добровольный характер сертификации и удостоверяет соответствие измерительных средств заявителей метрологическим правилам и нормам. При организации Системы принимались во внимание и в большой степени учитывались нормативные документы международных организаций ИСО, МЭК, ИЛАК, Системы сертификации ГОСТ Р и Системы сертификатов МОЗМ.

Сертификацию средств измерений осуществляют аккредитованные органы по сертификации средств измерений с учетом результатов испытаний, проведенных аккредитованными на техническую компетентность и независимость испытательными лабораториями (центрами). Проведение испытаний в лабораториях (центрах), аккредитованных только на техническую компетентность, допускается при наличии лицензионного соглашения с органом по сертификации, который в таких ситуациях несет ответственность за объективность и достоверность результатов. Аккредитацию органов по сертификации проводит центральный орган системы.

Организационно в Систему входят: Управление метрологии Госстандарта РФ – центральный орган системы, координационный совет, апелляционный комитет, научно-методический центр – Всероссийский научно-исследовательский институт метрологической службы (ВНИИМС), органы по сертификации, испытательные лаборатории (центры) средств измерений.

2. ПРАКТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИЗМЕРЕНИЙ

Лабораторная работа №1 ШТАНГЕНИНСТРУМЕНТ

Штангенинструменты применяют для линейных измерений, не требующих высокой точности. К этому виду универсальных измерительных инструментов относятся: штангенциркуль, штангенрейсмас, штангенглубиномер и штангензубомер. Они применяются для линейных измерений контактным абсолютным методом.

Устройство и расчет нониуса

Объединяет все штангенприборы единая конструкция отсчетного устройства, основанного на применении линейного нониуса. **Нониусом называется дополнительная шкала, нанесенная на линейку специального устройства.** Принцип действия нониуса состоит в совмещении соответствующих штрихов линейных шкал, интервалы деления которых отличаются на определенную величину. Конструкция нониуса использует то обстоятельство, что невооруженный человеческий глаз, неспособный непосредственно количественно оценивать малые значения несовмещения штрихов, в то же время способен фиксировать наличие весьма малых смещений двух штрихов от их симметричного расположения. При использовании нониуса глаз определяет пару штрихов на основной шкале и нониусе, не имеющих взаимного смещения, и по соответствующему штриху нониуса снимает отсчет. Величина отсчета по нониусу в основном равна 0,1 и 0,05 мм.

Отсчет показаний штангенинструмента производится следующим образом. Допустим, что нулевой штрих шкалы нониуса с отсчетом 0,1 мм (рис. 2.1) занял положение между 10 и 11 мм основной шкалы, а пятый штрих шкалы нониуса совпадает с одним из штрихов основной шкалы. В этом случае показания в целых миллиметрах – 10 мм, а пять делений нониуса умножают на величину отсчета и прибавляют к показаниям в целых мм: $5 \cdot 0,1 = 0,5$; итого: 10,5 мм.

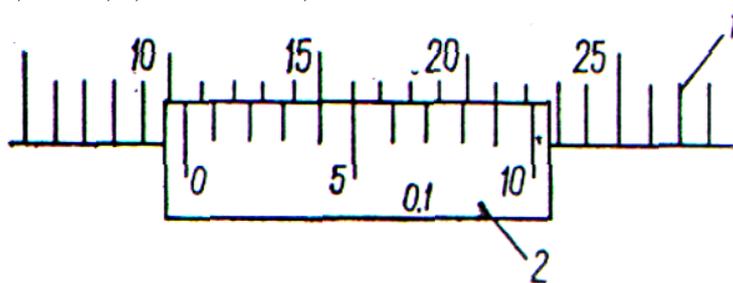


Рис. 2.1. Схема отсчета по нониусу

1. Штангенциркуль

Штангенциркуль как универсальный измерительный инструмент широко применяется при станочных, слесарных, разметочных и других видов работ. Он предназначен для измерения наружных и внутренних размеров и разметки. Конструктивно штангенциркули различаются по величине, форме губок и подвижной рамки и по точности.

В общем случае штангенциркуль (рис. 2.2) состоит из штанги 1 с неподвижной измерительной губкой и рамки 2, перемещающейся по штанге с другой измерительной губкой и нониусом 5. По форме измерительных губок различаются модели: ШЦ-I – с двусторонним расположением губок для измерения наружных и внутренних размеров и с линейкой для измерения глубин (рис. 2.2, а); ШЦ-II – с двусторонним расположением губок для измерения наружных и внутренних размеров и для разметки (рис. 2.2, б); ШЦ-III – с односторонними губками (рис. 2.2, в).

Губки для измерения внутренних размеров имеют два варианта исполнения: в модели ШЦ-I губки 4 имеют ножевидную форму, при использовании которых сразу получается измеряемый размер; в моделях ШЦ-II и ШЦ-III губки 4, выполненные ступенчатыми, имеют определенный суммарный размер, который следует прибавлять к отсчитываемому размеру. В штангенциркуле ШЦ-II для проведения разметки имеются острозаточенные концы измерительных губок, а штангенциркули модели ШЦ-III для этой же цели могут снабжаться съемными разметочными устройствами. Большинство штангенциркулей оснащаются дополнительной подвижной рамкой 6 (хомутиком) и соединенным с ней микрометрическим винтом, которые служат для точной установки необходимого размера. Во всех моделях штангенциркулей все подвижные рамки 2 могут быть закреплены в любом положении на штанге зажимным винтом 3. Для обеспечения поджима подвижной рамки к базовой нижней поверхности штанги 1 при перемещении рамки и измерении в специальный паз рамки устанавливается стальная пружина или бронзовый, слегка изогнутый размерный вкладыш. Все модели штангенциркулей выпускаются полностью закаленными и хромированными. Для современной конструкции штангенциркуля характерно выполнение рамки 2 открытой формы, не закрывающей каких-либо участков шкалы, а также выполнение утопленной шкалы, что предохраняет её от истирания подвижной рамкой (рис. 2.2, б, в).

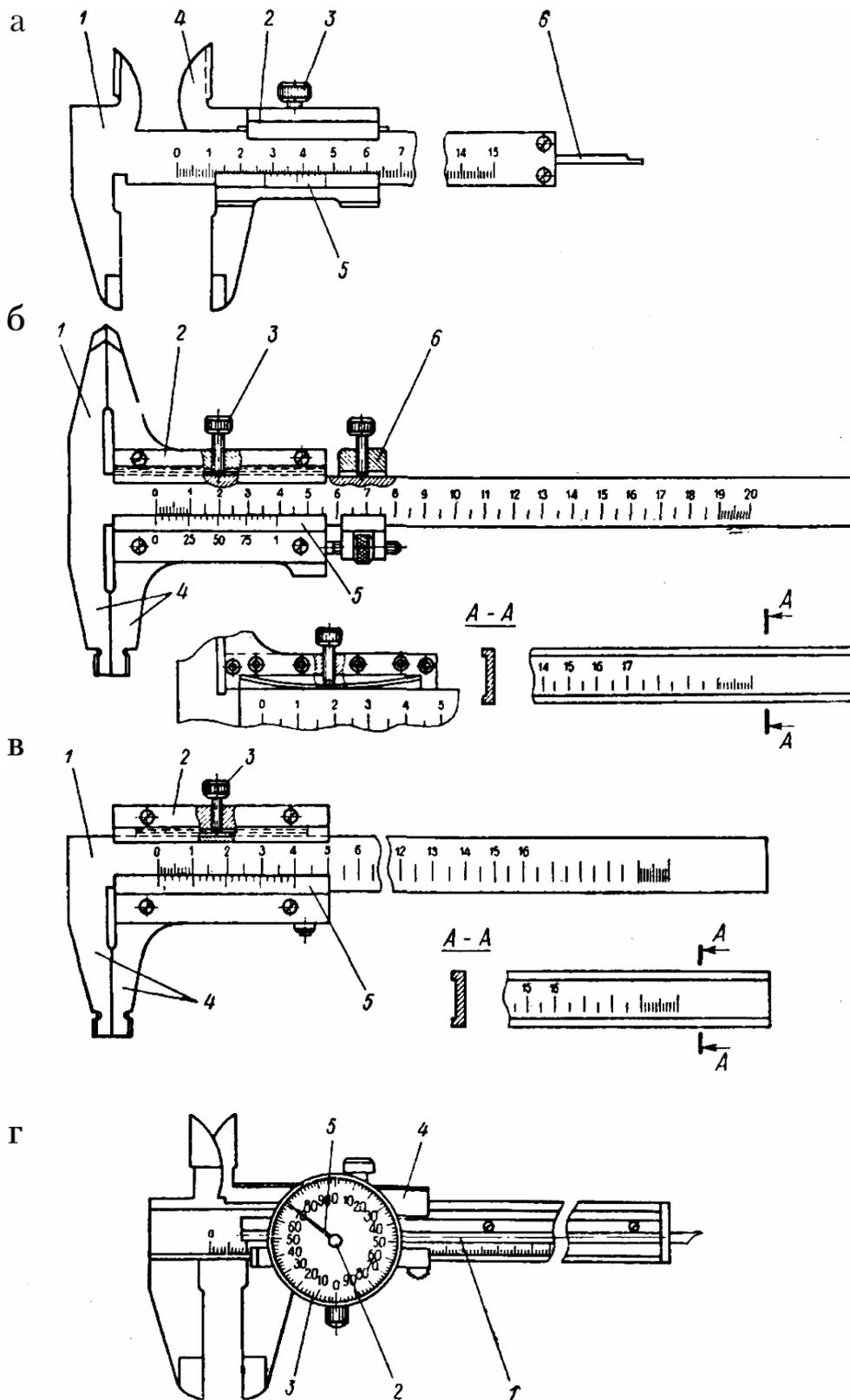


Рис. 2.2. Штангенциркули типов:
 а – ЩЦ-I; б – ЩЦ-II; в – ЩЦ-III;
 г – швейцарской фирмы «Теза»

Кроме моделей основного исполнения промышленность выпускает по заказам потребителей ряд моделей штангенциркулей, обладающих дополнительными возможностями. Для проведения разметочных работ выпускается специальный штангенциркуль типа ШЦР, предназначенный для разметки плоскостей на разных высотах и от базовых отверстий. Штангенциркуль-угломер предназначен для построения углов при разметке. Штангенциркуль ШЦО-III позволяет производить измерения размеров деталей при расточке без вывода инструмента из контролируемого отверстия. С этой целью его губки оснащены парой измерительных наконечников, расположенных перпендикулярно плоскости штанги и измерительных губок. Штангенциркуль ШЦТ имеет губки с твердым сплавом.

2. Штангенрейсмас

Штангенрейсмас (рис. 2.3) служит для измерения высот и выполнения разметочных работ. Он имеет массивное основание 13 с одной подвижной губкой 2, на которую при помощи хомутика 14 монтируются ножки специальной конструкции. К штангенрейсмасу прикладывается три типа таких ножек, устанавливаемых в дополнительный хомут 14. Ножка *a* предназначена для разметки, поэтому грань *b* этой ножки остро заточена и закалена. Ножка *в* имеет две измерительные поверхности, из которых верхняя служит для внутренних измерений (рис. 2.4 а), а нижняя – для наружных измерений (рис. 2.4, б).

При измерении охватываемых размеров к показанию штангенрейсмаса *M* необходимо прибавить толщину ножки *g* (рис. 2.3 и рис. 2.4, а). Чтобы нулевой отсчет соответствовал положению, при котором измерительная поверхность ножек совпадает с плоскостью основания, ножки делают коленчатыми. Третий тип ножки представляет собой державку *г* (рис. 2.3), в которой можно закреплять иглы различной длины. При помощи игл измеряют высоты в том случае, когда одна из поверхностей измеряемого изделия труднодоступна (рис. 2.4, г). При измерении надо от показаний штангенрейсмаса *M* вычесть величину *m*, которая соответствует такому положению рамки, когда острие иглы находится в одной плоскости с плоскостью основания (рис. 2.4, д). Если глубина впадины неглубокая, иглу устанавливают в рамке так, чтобы величина *m* была равна нулю. При использовании штангенрейсмаса для разметки изделие и сам инструмент устанавливают на плиту.

Штангенрейсмасы с пределами измерения более 200 мм имеют прямые ножки, а поэтому нижний предел измерения у них равен не нулю, а 30–60 мм.

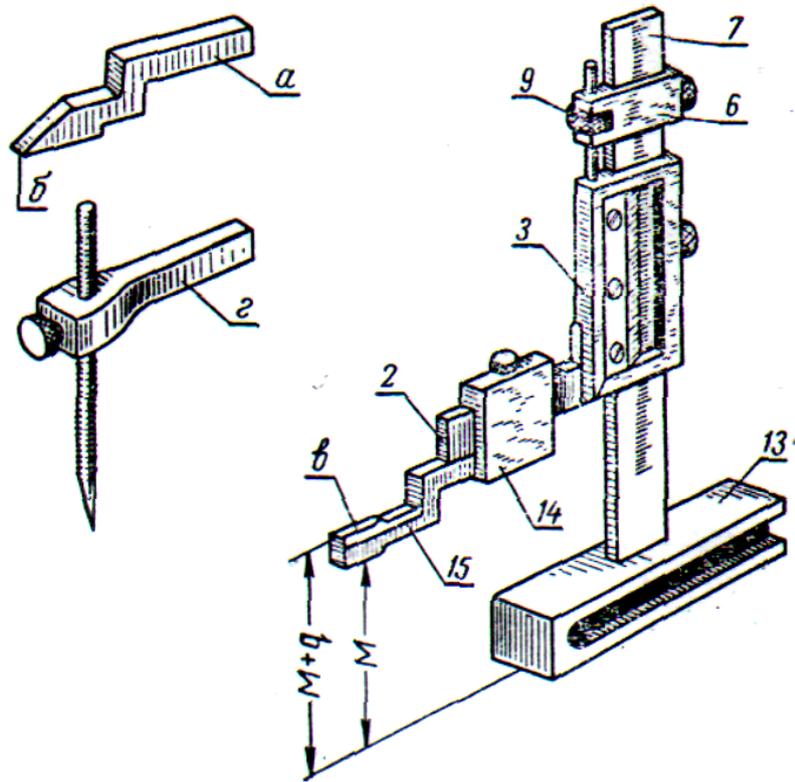


Рис. 2.3. Штангенрейсмас

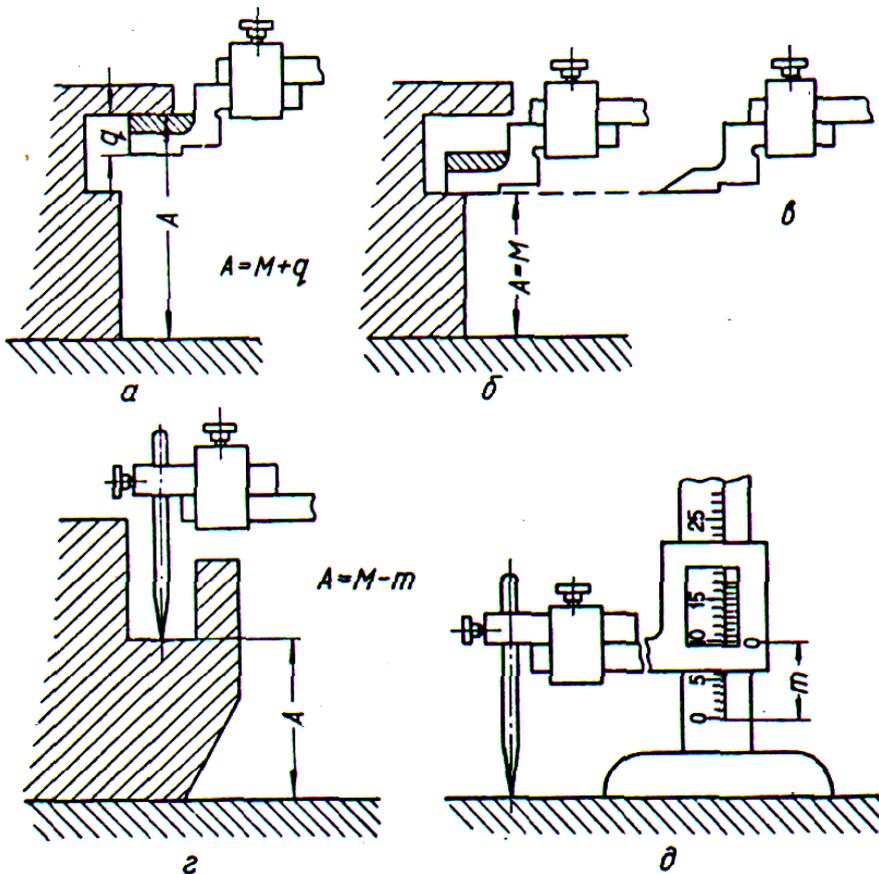


Рис. 2.4. Примеры применения штангенрейсмаса

4. Штангенглубиномер

Штангенглубиномер (рис. 2.5) измеряют глубины, выточки, канавки, уступы и т.д. Он отличается от штангенциркуля тем, что не имеет на штанге 7 неподвижных губок, а подвижные губки на рамке конструктивно оформлены в виде опорного основания – траверсы 12 с плоскостью, расположенной перпендикулярно к направлению штанги. Этой плоскостью штангенглубиномер устанавливают на измеряемый объект. При измерении основание 12 накладывают опорной поверхностью на плоскость измеряемого объекта, а затем, после ослабления стопорных винтов 4 и 5 рамки 3 и хомутика 6, продвигают штангу вниз до тех пор, пока она не коснется своим торцом плоскости или выступа измеряемого изделия. В этом положении рамку закрепляют стопорным винтом 4. Правильность установки глубиномера при измерении определяют по просвету, который можно наблюдать между плоскостью основания и плоскостью измеряемой детали. Проверяя штангенглубиномер перед работой, необходимо убедиться в том, что между измерительной поверхностью основания и плитой, на которой устанавливают инструмент, нет просвета, а нулевые штрихи шкал совпадают.

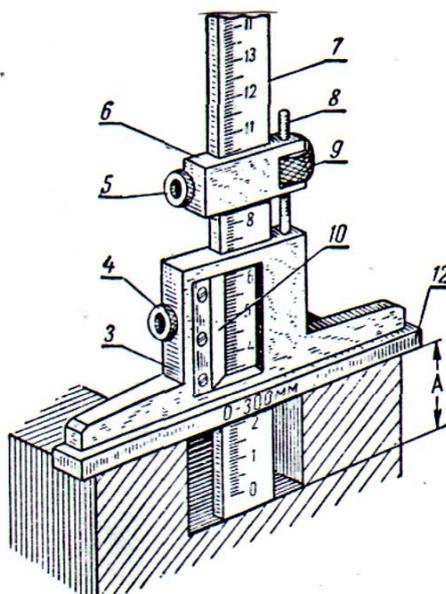


Рис. 2.5. Штангенглубиномер

5. Порядок выполнения работы

1. Перед измерением необходимо проверить штангенинструмент, для чего нужно ослабить винты зажима основной и микрометрической рамки и передвинуть рамку по штанге. Штанга должна перемещаться плавно, без заеданий и заметного люфта. Сдвинуть рамку в крайнее

левое положение, плотно свести измерительные губки. Нулевые штрихи шкалы нониуса и штанги должны совпадать, а просвет между губками не должен превышать величину погрешности.

2. Дать краткую метрологическую характеристику инструмента с помощью табл. 2.1.

3. Провести измерение размеров детали, изготовленной по 9 качеству ЕСП, согласно схеме измерений, для чего:

- избегая ударов и толчков, поместить деталь между измерительными губками таким образом, чтобы губки охватывали поверхность детали;
- закрепить хомутик на штанге стопорным винтом;
- вращая микрометрическую гайку, переместить губку вплотную к измеряемой детали, избегая излишнего давления;
- закрепить рамку стопорным винтом;
- прочесть показания и записать его.

При пользовании плоскими губками нужно строго следить за тем, чтобы основная линейка была перпендикулярна оси детали, так как при наклонном положении штангенциркуля вместо фактического можно получить искаженный размер.

Измерения диаметров производить в двух взаимно перпендикулярных плоскостях в 3-кратной повторности. Длину каждого участка также определять в 3-кратной повторности в 3-х плоскостях через 120 градусов.

4. Произвести обработку полученных результатов, для чего:

- определить среднеарифметическое 3-х наблюдений одной и той же величины \bar{x} ;
- определить величину погрешности формы (овальности и конусности) по формуле

$$\Delta = \frac{\bar{x}_{\max} - \bar{x}_{\min}}{2};$$

– сравнить полученное значение с погрешностью штангенинструмента. Если предельная погрешность $\Delta_{\text{lim}} > \Delta$, то деталь имеет правильную геометрическую форму в данном сечении; если $\Delta > \Delta_{\text{lim}}$, то деталь имеет погрешность формы полученной величины.

5. Начертить эскиз детали и проставить на нем результаты замера (длина, диаметр наружный, диаметр внутренний, глубины отверстий).

6. Показать эскиз преподавателю.

7. Сдать деталь и штангенинструмент преподавателю.

Вопросы для самоконтроля

1. Назовите типы штангенинструмента.
2. Какова может быть точность измерения штангенинструментом?
3. Каким образом можно проверить правильность работы штангенинструмента?

Таблица 2.1

Метрологические характеристики штангенинструмента, мм

Инструмент	Тип	Диапазон измерения	Цена деления	Пределы допускаемой погрешности		Пример обозначения
				Цена деления	Пределы допускаемой погрешности	
Штангенциркуль	ШЦ-I	0-125	0,1		$\pm 0,05$	Штангенциркуль ШЦ-II-250-0,05 ГОСТ 166-80 (пределы измерения 0-250 мм; значение отсчета по нониусу 0,05 мм)
	ШЦ-II и ШЦ-III	0-160	0,1 и 0,05	При нониусе 0,05 – $\pm 0,05$ При нониусе 0,1: $\pm 0,06$ для участка 0-100		
		0-200		$\pm 0,07$ – / – 100-200		
	ШЦ-III	0-250	0,1	$\pm 0,08$ – / – 200-300	$\pm 0,09$ – / – 300-400	
		0-315		$\pm 0,10$ – / – 400-1000	$\pm 0,16$ – / – 1000-1100	
		0-400		$\pm 0,17$ – / – 1100-1200	$\pm 0,18$ – / – 1200-1300	
		0-500		$\pm 0,18$ – / – 1200-1300	$\pm 0,19$ – / – 1300-1400	
		250-630		$\pm 0,20$ – / – 1400-2000		
		250-800				
	320-1000					
500-1250						
500-1600						
800-2000						
Штангенглубиномер	ШГ	0-160; 0-200; 0-250; 0-315; 0-400	0,05		$\pm 0,05$	Штангенглубиномер ШГ-200 ГОСТ 162-80
		0-250; 40-400; 60-630	0,05		$\pm 0,05$	Штангенрейсмас ШР-250-0,05
Штангенрейсмас	ШР	100-1000 600-1600 1500-2500	0,1		$\pm 0,1$ для участка до 1000 $\pm 0,15$ – / – 1000-1600 $\pm 0,2$ – / – 1600-2500	ГОСТ 164-80 (пределы измерений 0-250 мм; значение отсчета по нониусу 0,05 мм)

Лабораторная работа №2 МИКРОМЕТРИЧЕСКИЙ ИНСТРУМЕНТ

К микрометрическим инструментам относятся микрометры для наружных измерений, микрометры для внутренних измерений, микрометрические нутромеры (штихмассы), микрометрические глубиномеры и специальные микрометры для измерения толщины труб, листов и пр.

1. Отсчетное устройство

Принцип действия отсчетного устройства всех микрометрических инструментов основан на преобразовании угловых перемещений в линейные при помощи винтовой пары. Конструктивно микрометрическая пара выполняется в виде резьбовой гайки и микровинта, соединенного с отсчетным барабаном. Для учета осевого перемещения микровинта в целых оборотах служит продольная шкала. Интервал деления этой шкалы делается равным шагу микровинта и во всех выпускаемых конструкциях составляет $b = 0,5$ мм. Указателем для отсчета по этой шкале является торец барабана, закрепленного на микровинте. Для облегчения отсчета и использования шкалы с ценой деления 1 мм по обе стороны от продольного штриха на стебле нанесены две шкалы с интервалом в 1 мм, сдвинутые одна относительно другой на 0,5 мм. Для отсчета долей оборота микровинта служит круговая шкала с радиальными штрихами, нанесенными на конусной части барабана микровинта. Указателем для отсчета по этой шкале является продольный штрих, нанесенный на стебле. Круговая шкала содержит $n = 50$ делений. При повороте барабана вместе с микровинтом на угол, соответствующий смещению круговой шкалы относительно продольного штриха на одно деление, микровинт переместится вдоль своей оси на величину цены деления круговой шкалы $c = b/n = 0,5/50 = 0,01$ мм. Примеры отсчетов по шкале микрометра приведены на рис. 2.6.

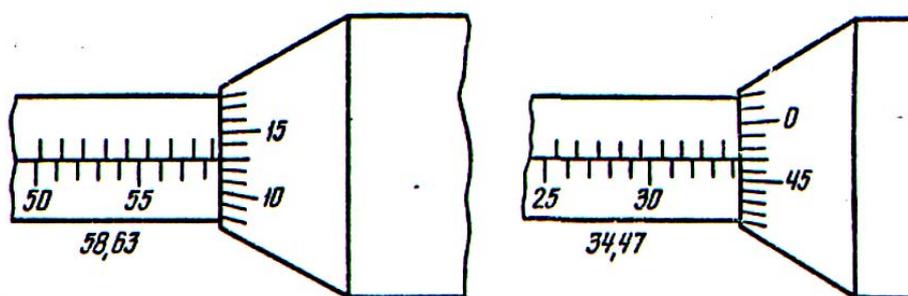


Рис. 2.6. Примеры отсчетов по шкале микрометра

У всех микрометрических инструментов длина винта не превышает 25 мм, так как в противном случае накопленная ошибка по шагу может оказаться больше точности отсчитывающего устройства.

2. Микрометры для наружных измерений

Гладкий микрометр имеет скобу 1 (рис. 2.7), на левом конце которой запрессована жесткая пятка 2, оканчивающаяся измерительной поверхностью *a*. На правом конце скобы смонтирована микрометрическая головка 6, состоящая из ряда узлов вспомогательного назначения. С микрометрической головкой связаны микровинт 4, гладкая часть (подвижная пятка) которого оканчивается измерительной поверхностью *б*, и трещоточное устройство 7, обеспечивающее постоянство измерительного усилия, составляющего от 5 до 9 Н. Как только сопротивление микровинта превысит данную величину, трещотка проворачивается и вращения винта не происходит. При измерении с целью уменьшения износа трещотки следует ограничиваться 2...3 щелчками храпового механизма. Стопорное тормозное приспособление 8 служит для закрепления микровинта при отсчете показаний и установки микрометра на нуль. Конструктивно это устройство выполняется трех типов: винтовое, эксцентриковое и цанговое. На рис. 2.7 показано тормозное устройство цангового типа.

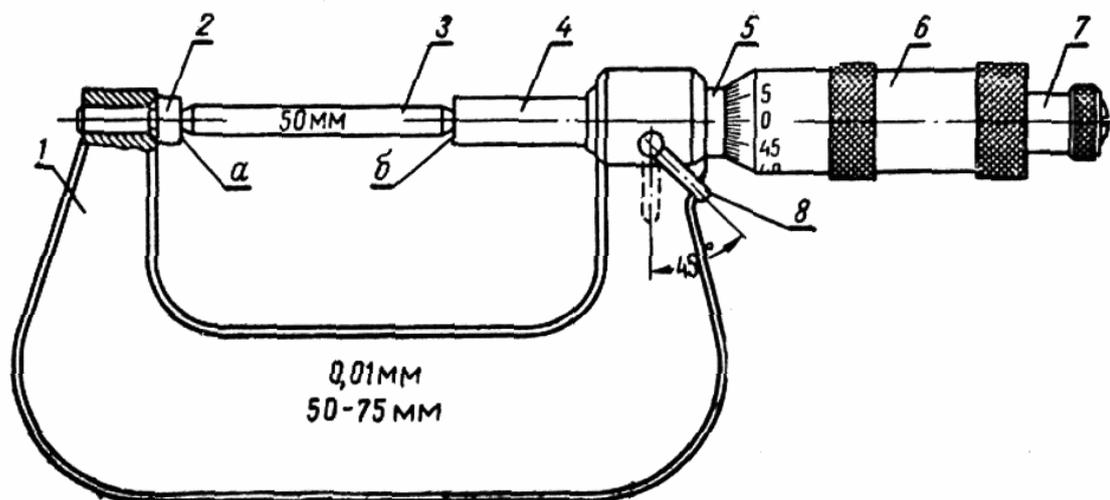


Рис. 2.7. Микрометр завода «Калибр»:

1 – скоба; 2 – жесткая пятка; 3 – калибр для установки на нуль;
4 – подвижная пятка (микровинт); 5 – стебель; 6 – микрометрическая головка; 7 – трещоточное устройство; 8 – тормозное приспособление

3. Проверка и настройка микрометра

При правильной установке микрометра нулевой штрих барабана совпадает с продольным отсчетным штрихом на стебле, а начальный штрих основной шкалы виден полностью. У начального штриха основной шкалы может стоять цифра 0; 25; 50; 75 мм и т.д., в зависимости от пределов измерения. Если указанные штрихи не совпадают, то микрометр нужно установить на нуль. Для этого у микровинта с пределом измерения от 0 до 25 мм вращают микровинт за трещотку, доводя измерительные плоскости пятки и микровинта до соприкосновения, и в таком положении стопорят микровинт. Если же необходимо установить микрометр с другими пределами измерения, то между измерительными плоскостями пятки и микровинта зажимают (также при помощи трещотки) настроечную меру, приложенную к микрометру, и стопорят микровинт. Затем осторожно отвинтить (не более чем на пол-оборота) установочный колпачок. В результате барабан освобождается и может быть повернут относительно оси настолько, чтобы обеспечить совпадение штрихов. После этого, придерживая барабан левой рукой, закрепляют его установочным колпачком. Освободить стопор и проверить правильность установки.

4. Другие виды микрометрического инструмента

Микрометры для внутренних измерений (рис. 2.8) предназначены для измерения диаметров отверстий, ширины пазов и выемок. Он отличается от микрометров тем, что с левой стороны стебля напрессована неподвижная губка 1, а подвижная губка 2 соединена с микровинтом. Подвижную губку закрепляют стопором 7. Для настройки микрометра служит специальное установочное кольцо 5. Микрометры такого типа выпускаются двух пределов измерения: 5–30 и 30–55 мм.

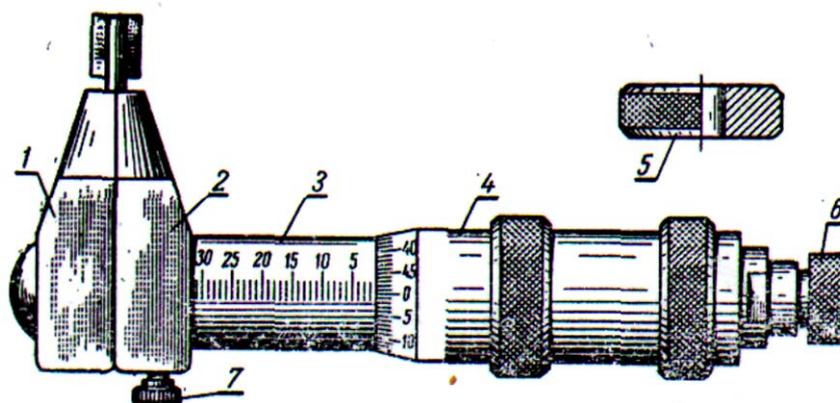


Рис. 2.8. Микрометр для внутренних измерений

Микрометрический нутромер (штихмасс) состоит из микрометрической головки (рис. 2.9, а) и набора удлинителей (рис. 2.9, б). Концы микрометрического винта 4 и конца стержня защитного удлинителя 1, ввертываемого в корпус 2 инструмента, являются измерительными поверхностями. В нутромере нет устройства, ограничивающего измерительное усилие. В измеряемом отверстии его устанавливают наощупь, поэтому погрешность при измерении нутромером значительно больше, чем при измерении микрометром, хотя точность отсчета у них одинакова – 0,01 мм.

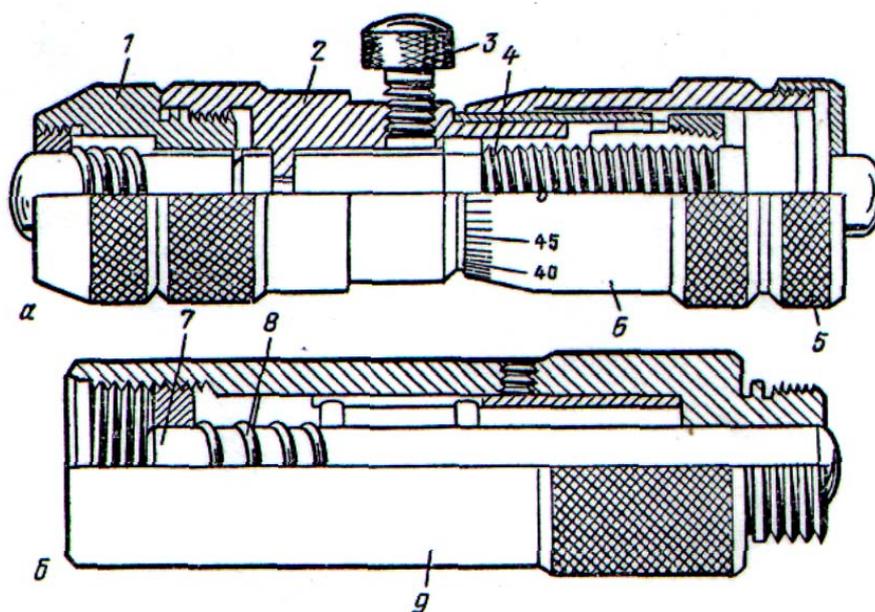


Рис. 2.9. Микрометрический нутромер

Нутромер проверяют по установочной мере, изготовленной в виде скобы. При необходимости его устанавливают на нуль. Для этого, не вынимая нутромер из установочной меры, стопорным винтом 3 закрепляют микрометрический винт 4. Затем, придерживая барабан 6, отвертывают колпачок 5, отсоединяя тем самым барабан от микровинта. Установив барабан в нужное положение, его соединяют с микровинтом колпачком 5 и вторично проверяют правильность настройки нутромера.

Удлинитель состоит из стержня 7, длина которого указана на трубке 9, предназначенной для присоединения стержня к нутромеру и предохранения его от повреждений. При заворачивании удлинителя пружина 8 плотно прижимает стержень к измерительной поверхности нутромера.

Микрометрический глубиномер (рис. 2.10) состоит из основания 5, микрометрической головки 2 и измерительного стебля 4, запрессованного в основание. Измерительными поверхностями инструмента явля-

ются нижняя плоскость основания и конец измерительного стержня. Для увеличения диапазона измерений глубиномер снабжен сменными измерительными стержнями 6. На нуль глубиномер устанавливают с измерительным стержнем 0...25 мм на поверочной плите.

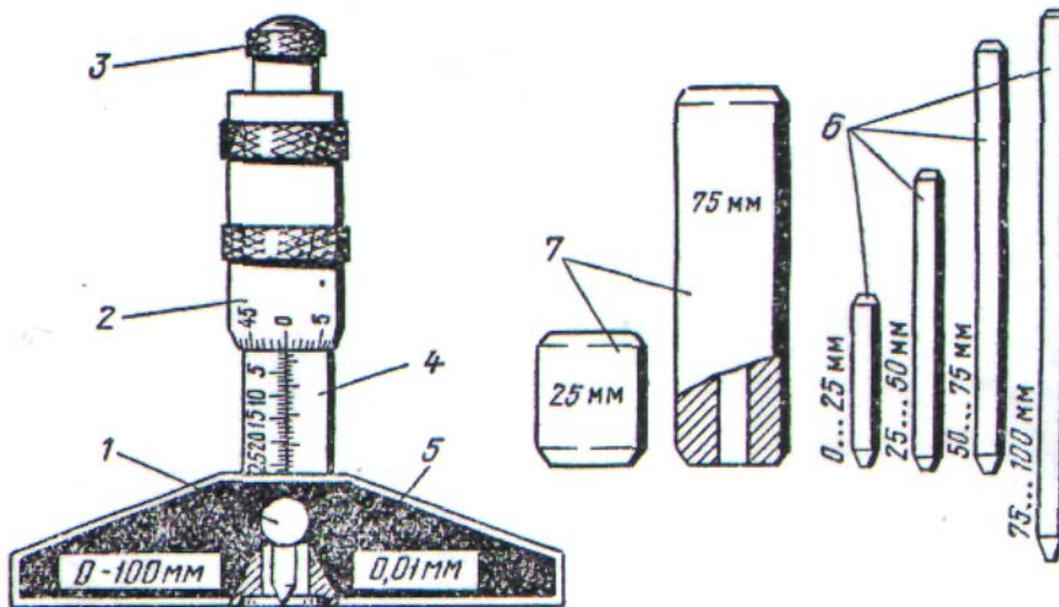


Рис. 2.10. Микрометрический глубиномер

Рычажный микрометр представляет собой (рис. 2.11) сочетание микрометрической головки с рычажно-зубчатым механизмом. Цена деления микрометрической головки 0,01 мм, рычажно-зубчатой шкалы – 0,002 мм.

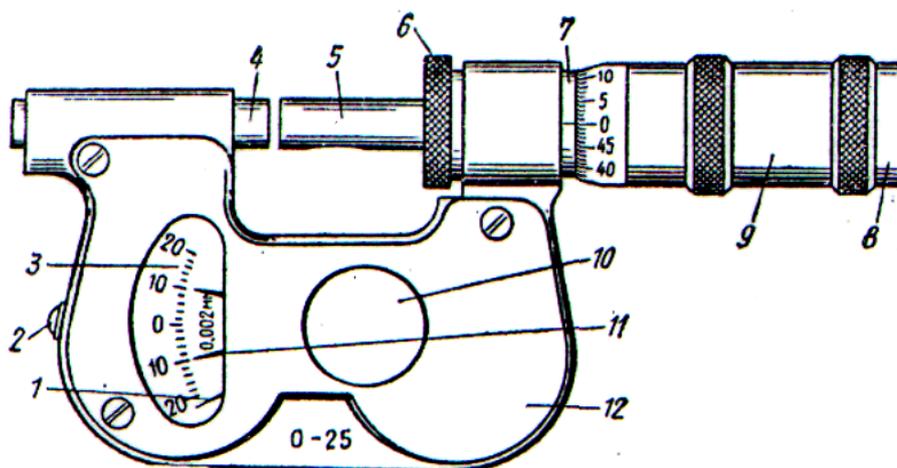


Рис. 2.11. Рычажный микрометр

При измерении барабан 9 микрометра вращают до тех пор, пока стрелка 1 рычажного механизма не встанет на нуль. Продолжают вращать барабан до совпадения ближайшего штриха его шкалы со штри-

хом на стебле 7. К полученному по микрометру показанию прибавляют размер отклонения от нуля стрелки рычажного механизма со своим знаком.

При измерении партии одинаковых деталей рычажным микрометром можно пользоваться как скобой. Для этого его настраивают на номинальный размер, а по шкале отсчитывают отклонения от номинального размера. Указатели границ поля допуска 11 облегчают работу контролера. Эти указатели устанавливают с помощью специального ключа, вводимого в гнездо, которые открываются, если отвернуть колпачок 10. Деталь будет годной, если стрелка при измерении остановится между указателями отклонений. Чтобы настроить прибор на нуль, следует вставить между измерительными пятками 4 и 5 установочную меру (для микрометров размером больше 25 мм) и вращать барабан до тех пор, пока стрелка 1 микрометра не совпадет с нулем. В этом положении микрометрический винт фиксируется стопором 6. Если в этом положении нулевой штрих барабана не совпадает с продольной линией на стебле, отвертывают гайку 8 и, освободив барабан, поворачивают его до совмещения нулевого штриха барабана с продольной риской на стебле 7. После этого, завертывая колпачок, закрепляют барабан. При контроле деталей мелкосерийного производства такой микрометр используют для относительных измерений. Для этой цели его настраивают двумя способами:

- если при измерении допустима небольшая точность, то номинальный размер или размер, от которого определяют отклонения, устанавливают прямо на микрометре;

- при проверке точных деталей микрометр устанавливают по блоку концевых мер с целью исключения влияния погрешностей микрометрической головки.

Кроме рассмотренного микрометра МР, для измерения изделий размером свыше 100 мм существуют микрометры МРИ, оснащенные специальным отсчетным устройством.

Все выпускаемые в настоящее время конструкции гладких микрометров предусматривают армирование измерительных пяток вставками из твердого сплава. Кроме обычных гладких микрометров на базе микрометрической пары выпускается ряд специализированных конструкций. Микрометр с плоскими вставками увеличенного диаметра (12 мм) типа МПВ предназначен для измерения деталей из мягких материалов – кожи, пластмассы или картона. Микрометр листового типа МЛ (рис. 2.12, а) предназначен для измерения толщины металлических листов и лент. По сравнению с гладкими микрометрами у скобы этого инструмента увеличен вылет, неподвижная пятка имеет

сферическую измерительную поверхность, а отсчетное устройство выполнено в виде неподвижного кольцевого циферблата и вращающейся вместе с барабаном стрелки. Применение циферблатного отсчетного устройства связано с невозможностью отсчета по шкале на барабане при контроле и измерении длинных листов. Микрометр трубного типа МТ (рис. 2.12, б) предназначен для измерения толщины листов стенок труб с внутренним диаметром 12 мм и более. В этом микрометре неподвижная пятка выполнена с сферическим контактом, а место крепления этой пятки на скобе имеет уменьшенную толщину, позволяющую измерить стенки труб небольшого диаметра. Выпускается также микрометр зубомерный (нормалемер типа МЗ), предназначенный для определения среднего значения и колебания длины общей нормали зубчатых колес с модулем от 1 мм. Его измерительные пятки оснащены специальными плоскими наконечниками (рис. 2.12, в). Микрометр со вставками для измерения метрических и дюймовых резьб типа МВМ (МВТ – для трапецеидальных резьб) оснащается вместо неподвижной измерительной пятки подвижной, несущей на себе измерительную призматическую вставку, а на конце микрометрического винта устанавливается коническая вставка. Вставки и установочная мера, поставляемая вместе с инструментом, имеют угол профиля 60 и 550, в зависимости от типа проверяемой резьбы (рис. 2.12, г).

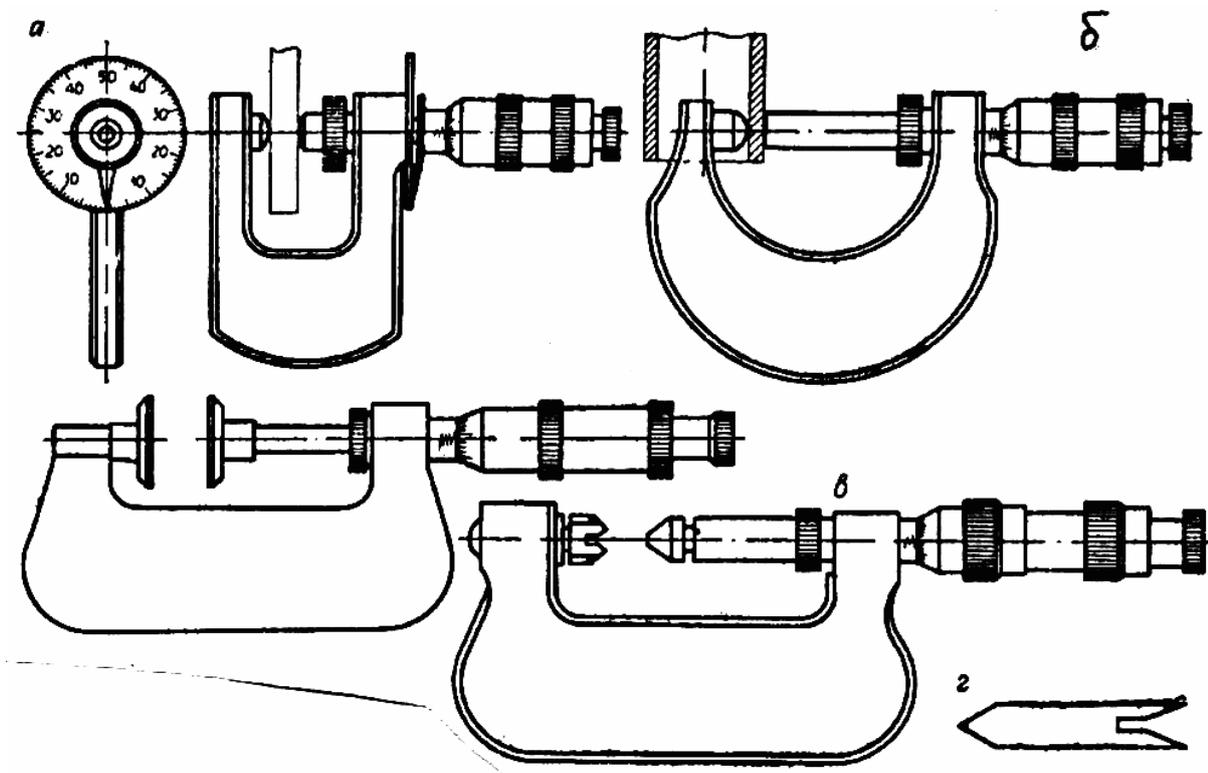


Рис. 2.12. Специальные микрометры: а – листовый; б – трубный; в – зубомерный; г – резьбомерный

2.5. Порядок выполнения работы

1. Перед измерением детали изучить конструкцию гладкого микрометра. С помощью штангенциркуля предварительно определить диаметр и длину детали и выбрать микрометры необходимых пределов измерения. Проверить комплектность и работоспособность инструмента, а также установку на нуль, и, при необходимости, произвести настройку.

2. Дать метрологическую характеристику используемых микрометров по табл. 2.2.

3. Составить схему измерения детали, на которой указать 3 секущие плоскости на определенном расстоянии от базы и номер детали.

4. Провести измерение диаметра и длины детали. С целью определения отклонений от правильной геометрической формы измерение диаметральных размеров в каждой секущей плоскости необходимо производить в 3-кратной повторности в двух взаимно перпендикулярных плоскостях. Для измерения деталь поместить между пятками микрометра и, вращая барабан за головку трещоточного устройства, подвести подвижную пятку до соприкосновения с деталью. После того как головка трещоточного устройства начнет проворачиваться, снять показания отсчетного устройства и записать их в таблицу. При измерении микрометр с целью снижения погрешности измерения желательно установить в стойку.

5. Произвести математическую обработку полученных результатов.

6. Дать заключение о правильности геометрической формы детали.

Вопросы для самоконтроля

1. Какова точность измерения микрометрическими инструментами?

2. Какие размеры можно измерять микрометрическими инструментами?

3. Каким образом можно проверить правильность работы микрометрического инструмента?

4. Назовите типы специальных микрометров?

Таблица 2.2

Метрологические характеристики микрометрического инструмента, мм

Прибор	Тип (модель)	Диапазон измерения	Цена деления (отсчёт по ноннису)	Пределы допускаемой погрешности при классе точности		Пример обозначения
				1	2	
Гладкий микрометр	МК	0–25	0,01	±0,002	±0,004	Микрометр МК-50-1 ГОСТ 6507–78 (диапазон измерения 25–50 мм; класс точности 1)
		25–50; 50–75 75–100		±0,0025		
		100–125 125–150		±0,003		
Рычажный микрометр	МР	0–25; 25–50 50–75 75–100	0,002	±0,003		Микрометр МР-50 ГОСТ 4381–87 (диапазон измерений 25–50 мм)
Нутромер с микрометрической головкой	НМ	50–75 75–175 75–600	0,01	±0,004 ±0,006 ±0,015		Нутромер НМ-75 ГОСТ 10–88 (верхний предел измерения 75 мм)
Микрометрический глубиномер	ГМ	0–25; 25–50 50–100 100–150	0,01	±0,003 ±0,003 ±0,004	±0,004 ±0,005 ±0,006	Глубиномер ГМ-150 ГОСТ 7470–78 (пределы измерения 100–150 мм)

Лабораторная работа №3 ИНДИКАТОР ЧАСОВОГО ТИПА

Индикатором часового типа называется измерительная головка, т.е. средство измерения, имеющее механическую передачу, которая преобразует малые перемещения измерительного наконечника в большие перемещения стрелки, наблюдаемые по шкале циферблата. По внешнему и внутреннему устройству индикатор похож на карманные часы, почему за ним и закрепилось такое название. Это наиболее распространенный прибор для относительных измерений.

Устройство индикатора

Конструктивно индикатор часового типа представляет собой измерительную головку с продольным перемещением измерительного наконечника. Основанием этого индикатора (рис. 2.13, а) является корпус 13, внутри которого смонтирован преобразующий механизм – зубчато-реечная передача. Через корпус 13 проходит измеритель-стержень-рейка 1 с измерительным наконечником 4. На стержне 1 нарезана рейка (рис. 2.13, б), движения которой передаются реечным 5 и передаточным 7 зубчатыми колесами, а так же трубкой 9 на основную стрелку 8. Величина поворота стрелки 8 отсчитывается по круговой шкале циферблату. Для установки индикатора на «0» круговая шкала поворачивается ободком 2.

Круговая шкала индикатора состоит из 100 делений, цена каждого деления 0,01 мм. Это означает, что при перемещении измерительного наконечника на 0,01 мм стрелка индикатора перемещается на одно деление круговой шкалы.

Индикатор часового типа относится к числу многооборотных измерительных головок, так как его основная стрелка 8 и трубка 9 при измерении могут делать как часть оборота, так и несколько оборотов в зависимости от величины перемещения чувствительного элемента наконечника 4. Для отсчета числа оборотов основной стрелки 8 на оси реечного колеса 5 и передаточного колеса 7 укреплен указатель числа оборотов 6, движение которой отсчитывается по малой секторной шкале. В действии механизма существенную роль играют пружины: пружина измерительного усилия 10, обеспечивающая постоянство силы, прижимающая измерительный наконечник 4 к поверхности измерительной детали, и пружинный волосок 12, который через контактное зубчатое колесо 11 обеспечивает постоянство контакта всех зубьев передача одними профилями независимо от направления движе-

ния измерительного стержня-рейки 1 – вверх или вниз. Этим ликвидируется «мертвый ход» при перемене направления хода стержня-рейки 1.

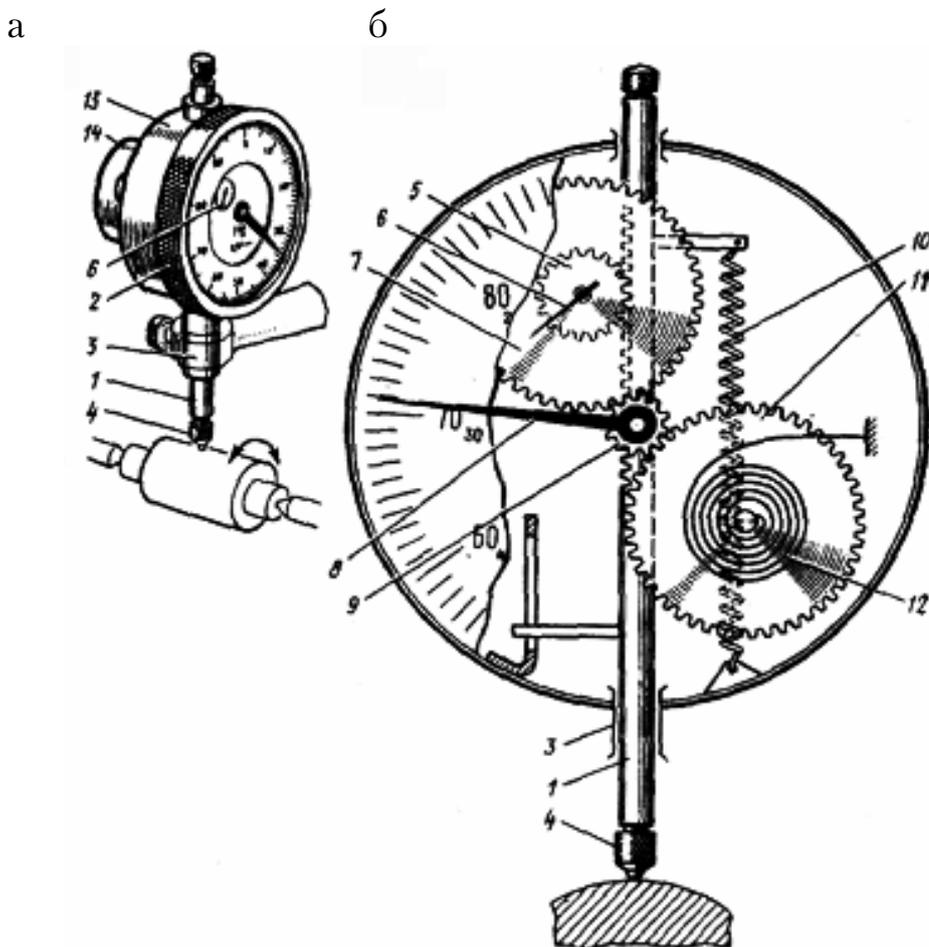


Рис. 2.13. Индикатор часового типа:
а – общий вид; б – схема зубчатой передачи

Основные параметры индикатора часового типа

Диаметр корпуса, мм	40; 60
Диапазон измерений, мм	0...2; 0...5; 0...10
Цена деления основной шкалы, мм	0,01
Присоединительный размер диаметр гильзы, мм	8

Индикатор часового типа во время измерений устанавливают в стойках или штативах с помощью гильзы 3 или ушка 14, расположенных на корпусе индикатора 13.

2. Стойки и штативы для измерения индикатором часового типа

Стойкой называют установленное устройство, снабженное кронштейном для крепления в вертикальном положении измерительной головки и столиком для измерительной детали. Различают стойки с подвижным и неподвижным основанием.

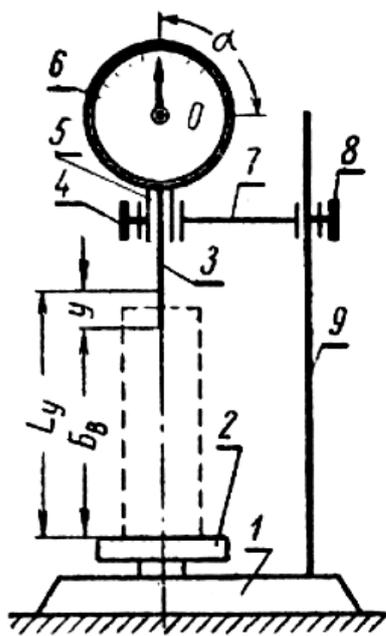


Рис. 2.14. Принципиальная схема стойки и установленного на ней индикатора (прибора):
 L_y – установленное значение размера детали;
 B_B – базовое значение размера детали;
 U – допуск на изготовление детали или «натяг»

Стенка состоит из следующих элементов (рис. 2.14). На основании 1 закреплена жесткая стенка 9, вдоль которой перемещается кронштейн 7, фиксируемый в нужном положении стопорный винт 8. С кронштейном при помощи винта 4 соединяется измерительная головка 6. На основании 1 установлен стол 2, на котором располагают детали, подлежащие измерению. В некоторых конструкциях стол сделан подвижным, он может занимать относительно основания различные положения, перемещаться вдоль оси. Необходимое расстояние, равное B_B , можно устанавливать как за счет изменения положения кронштейна 7, так и за счет изменения положения самого стола относительно основания. Объект измерения (деталь) располагается между измерительным стержнем 3 и столом 2.

Штативом называют установленное устройство, в котором закрепляют только измерительную головку (на не измеряемую деталь). Штативы применяют главным образом при измерении отклонений в

расположении поверхностей деталей – радиального и торцевого биений, отклонение от параллельности плоскостей и осей, требующих различного положения осей измерительной головки.

Штатив (рис. 2.15) имеет основание 1 с Т-образными пазами. На основании 1 стоит полочка 2, которую можно перемещать вдоль основания и закреплять в требуемом положении; на полочке расположен кронштейн 3, который может перемещаться по ней и поворачиваться в любом направлении. Сквозь кронштейн проходит штанга с присоединительным отверстием для гильзы измерительной головки; штанга может перемещаться в кронштейне вдоль своей оси на требуемую величину вылета и наклоняться на небольшую величину с помощью микропередачи головки 4.

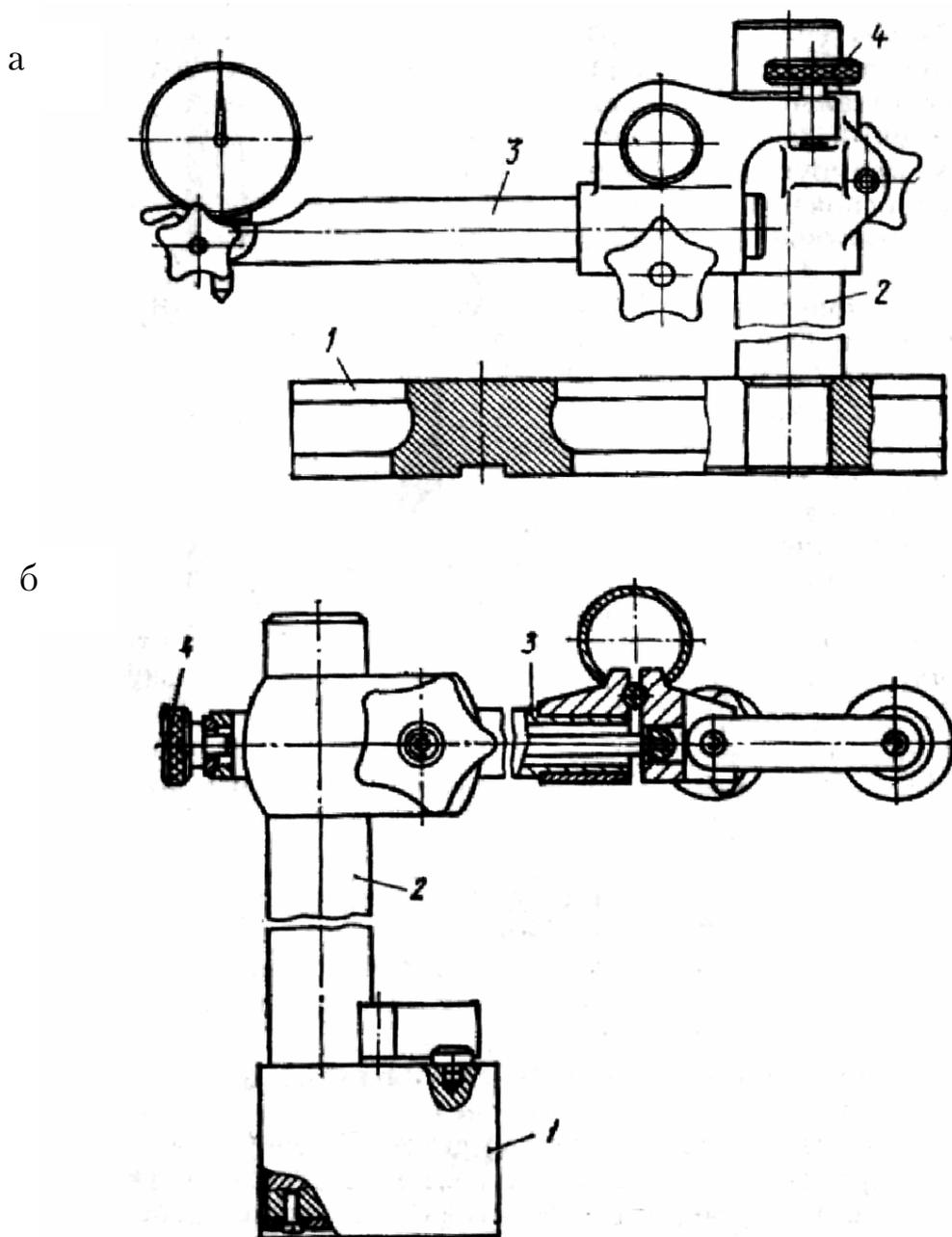


Рис. 2.15. Штатив:
 а – с подвижным основанием; б – с магнитным основанием

3. Настройка прибора

На практике существует много методов настройки таких приборов для определения действительных размеров искомой величины или отклонений от заданного размера. Почти все эти методы основаны на создании предварительного «натяга» U (см. рис. 2.14) путем последовательных проб, поэтому они требуют длительного времени для установки прибора.

Более приемлемым методом считается такой, при котором широко используется показания малой стрелки. Рациональный метод должен, кроме всего прочего, исключать в процессе установки прибора «ловли» какого-либо значения установочного натяга.

Для относительных измерений прибор можно настраивать четырьмя методами: с целью определения: а) отклонения от заданного размера (этот метод обычно применяется при изготовлении или восстановлении (ремонте) деталей, размеры которых должны лежать в границах допуска); б) действительных размеров, когда размеры заранее неизвестны (этот метод занимает по общему измерению ведущее место при ремонте); в) отклонение от заданной геометрической формы изделия (детали); г) размеров прямым методом измерения.

В приборах для измерений валов «натяг» достигается уменьшением установочного размера L_y на некоторое значение $У$, установочный размер L_y получают при этом по блоку кольцевых мер (эталоны).

В случае если искомое отношение не выйдет за пределы одного оборота большой стрелки, можно ограничиться установкой на нуль только большой стрелки, не обращая внимания на положение малой стрелки.

Если необходимо измерить действительные размеры детали, то необходимо прибегнуть к двум алгебраическим методам: первое связано с определением самого отношения, а второе – с определением действительного размера путем алгебраического суммирования полученных отношений с номинальным размером.

Прибор можно применять для прямых измерений тогда, когда размер детали не превышает пределов измерения индикаторной головки. Прибор настраивают так, чтобы после касания измерительного стержня малая стрелка остановилась против нулевого деления, а большая стрелка отклонилась от исходного на 1–2 деления. Тогда можно быть уверенным в том, что между столом и измерительным стержнем отсутствует зазор. Затем у прибора большую стрелку устанавливают на нуль. Отсчет показаний ведут с учетом показаний малой стрелки.

4. Порядок выполнения работы

1. Настроить прибор и провести измерения действительных размеров заданной детали.
2. Настроить прибор и провести измерения отношений от номинального размера заданной детали.
3. Начертить эскиз деталей и проставить на нем полученные результаты измерений.

4. Показать эскиз преподавателю.
5. Сдать прибор преподавателю.

Вопросы для самоконтроля

1. Что такое индикатор часового типа, из каких частей состоит индикатор?
2. Какова цена деления индикатора часового типа?
3. Какие виды измерений можно производить индикатором часового типа?
4. Для чего нужны стойки и штативы при измерении с помощью индикатора часового типа?
5. Из каких частей состоит стойка и штатив, чем они отличаются?

Лабораторная работа №4 НУТРОМЕР ИНДИКАТОРНЫЙ

В настоящее время широчайшее распространение как в машиностроительной промышленности, так и в ремонтном производстве получили индикаторные нутромеры. По конструктивному оформлению все индикаторные нутромеры могут быть разделены на четыре типа: цанговые, с клиновой, рычажной и прямой передачами. Все типы нутромеров оснащаются индикаторами с зубчатой передачей, принцип действия которых основан на преобразовании возвратно-поступательного движения измерительного стержня во вращательное движение стрелки при помощи зубчатого передаточного механизма. Отечественная промышленность выпускает индикаторы трех типов: нормальные, малогабаритные часового типа и торцовые. Индикаторы изготавливают с ценой деления 0,01 и 0,002 мм, а по пределам измерения: 0...0,2; 0...2; 0...3; 0...5 и 0...10 мм.

1. Индикаторный нутромер с рычажной передачей

Конструкция такого нутромера приведена на рис. 2.16. Они изготавливаются шести типоразмеров с диапазоном измерений: 18...35, 35...50, 50...100, 100...160, 160...250, 250...450 мм. Устроен нутромер следующим образом. В корпусе 15 закреплена втулка 12, в которую с одной стороны ввернут регулируемый стержень 14, а с другой – свободно перемещающийся вдоль оси стержень 2. Измерительные стержни – подвижный и неподвижный – располагаются на одной оси. Стержень 14 после установки на размер Б закрепляют гайкой 13.

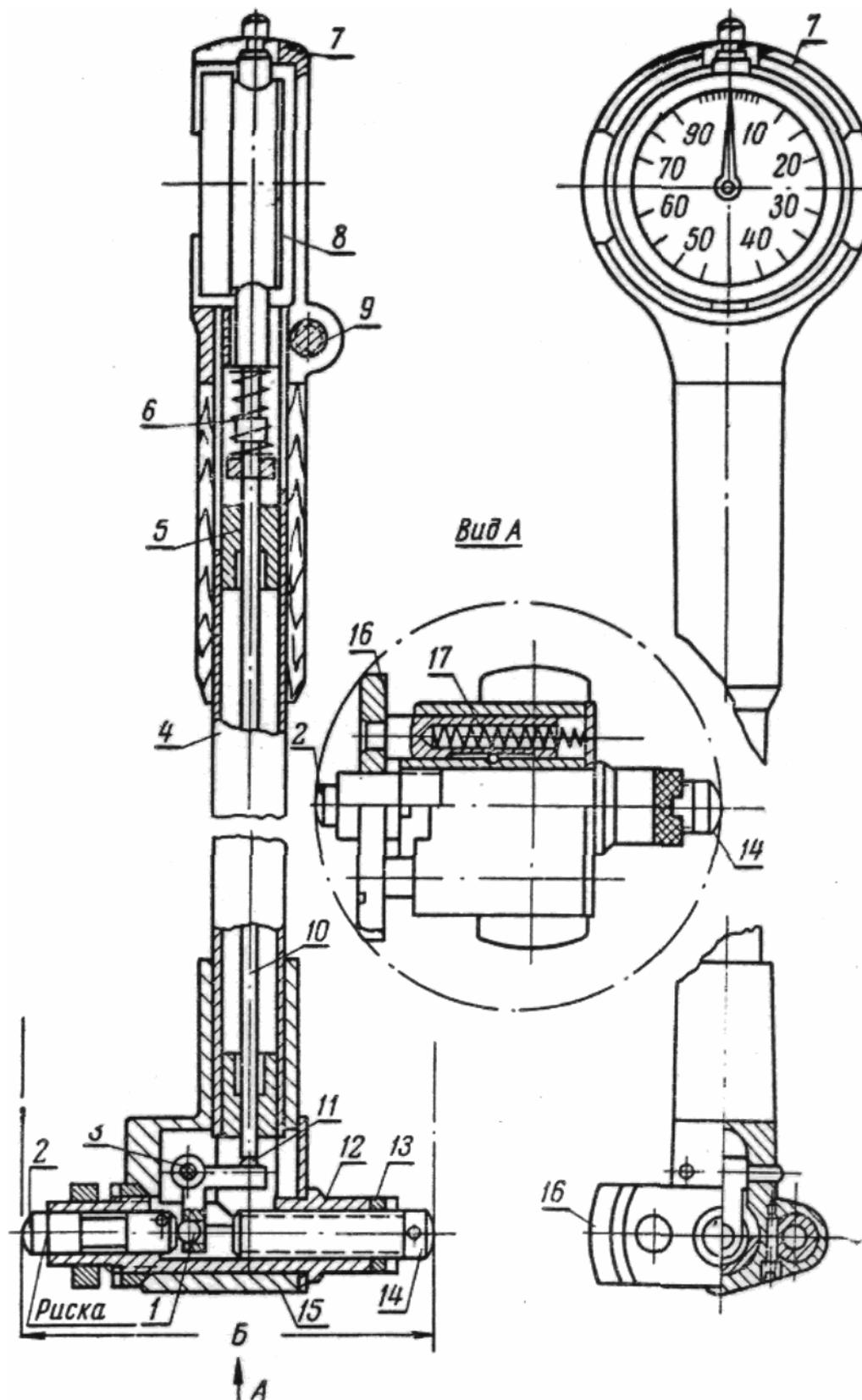


Рис. 2.16. Индикаторный нутромер с рычажной передачей:
 1 – шарик; 2 – подвижный стержень; 3 – ось; 4 – трубка;
 5 – теплоизоляционная накладка; 6 – пружина; 7 – кожух; 8 – индикаторная
 головка; 9 – стопорный винт; 10 – стержень; 11 – двуплечий рычаг;
 12 – втулка; 13 – стопорная гайка; 14 – переставной стержень; 15 – корпус;
 16 – центрирующий мостик; 17 – пружина

При установке индикаторного нутромера на размер необходимо следить за тем, чтобы риска измерительного стержня 2 находилась в плоскости торца втулки 12. В этом положении оба плеча рычага 11 располагаются перпендикулярно осям стержней 2 и 10, что обеспечит предельное снижение погрешностей, возникающих в передаче. Перемещение стержня 2 вдоль своей оси передается стержню 10 через двуплечий рычаг 11, который вращается на оси 3. Стержень 10 давит на стержень индикаторной головки 8, передавая размер к показывающей стрелке индикатора.

Для уменьшения погрешности при измерении в концы двуплечего рычага 11 впрессованы шарики 1, которыми он соприкасается с плоскими торцами стержней 2 и 10. В некоторых конструкциях стержень 14 сделан не нарезным, а гладким. Такой стержень просто вставляют во втулку 12 и закрепляют гайкой 18 (рис. 2.17). Стержень 10 перемещается в направляющих втулках трубки 4, которая соединена с корпусом. На верхний конец этой трубки насажена теплоизоляционная накладка 5 (см. рис. 2.16).

Измерительное усилие нутромера создается совместным действием пружины 6 и самого индикатора. Чтобы в процессе измерения оси измерительных стержней совпадали с диаметральным направлением, а не располагались по хорде, в конструкции нутромера предусмотрен центрирующий мостик 16, который под действием пружин 17 всё время прижимается к образующим измеряемого объекта. К этим нутромерам индикатор крепят вместе с кожухом 7, который предохраняет индикатор от случайных повреждений. У индикаторных нутромеров с диапазоном измерения 18...35 (рис. 2.18) центрирующий мостик 16 выполнен в виде коробки, установленной на пружине 19. У таких нутромеров переставной стержень 14 также закрепляется контргайкой 13.

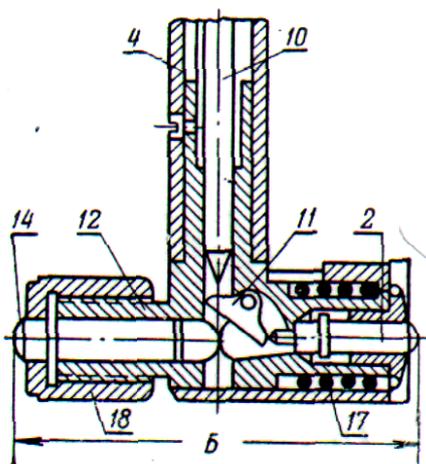


Рис. 2.17. Корпус индикаторного нутромера с рычажной передачей и вставным стержнем: 18 – гайка

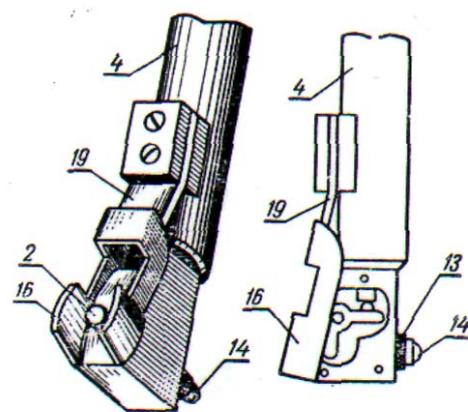


Рис. 2.18. Корпус индикаторного нутромера для размеров от 18 до 35 мм: 19 – пружина

2. Индикаторный нутромер с клиновой передачей

Такие нутромеры для измерения изготавливают двух типов: от 6 до 10 мм и от 10 до 18 мм. Передача размера осуществляется не через двухплечий рычаг, а при помощи клинового устройства (рис. 2.19, а). Подвижный стержень 2 на своем правом конце имеет косой срез. При перемещении стержня вдоль своей оси косой срез, упираясь в такой же срез штока 10, поднимает его вверх. Шток надавливает на движок 20, который давит на измерительный стержень индикаторной головки 8. Центрирующим мостиком в данном случае служит или плоская пружина (рис. 2.19), или фасонная пружина (рис. 2.20, б). Нутромеры размером от 6 до 10 мм бывают и без центрирующего мостика. В этих нутромерах стержни 14 также можно менять в зависимости от размера, подлежащего измерению. Таких сменных стержней прилагается девять с переходом от одного к другому через 1 мм – для нутромеров от 10 до 18 мм и через 0,5 мм – для нутромеров от 6 до 10 мм.

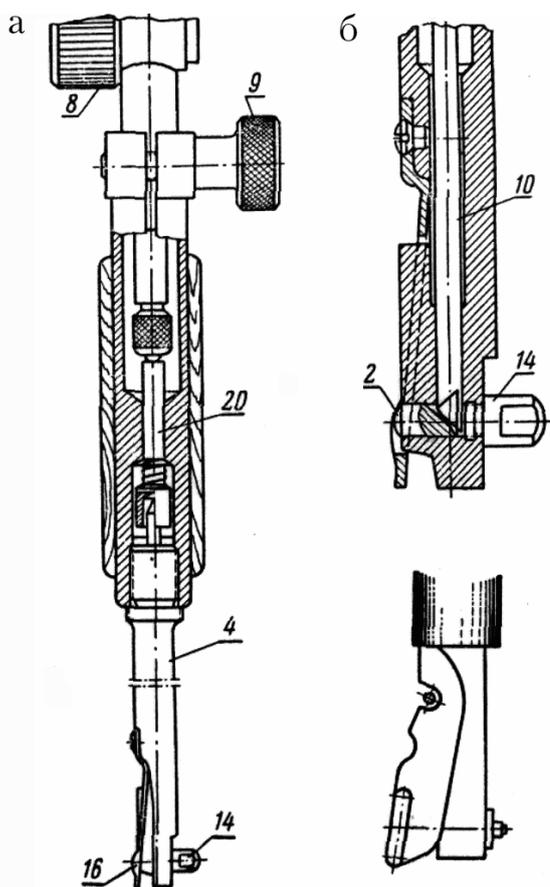


Рис. 2.19. Индикаторный нутромер с клиновой передачей:
2 – подвижный стержень с коническим срезом; 10 – шток с клиновым срезом в нижней части; 20 – движок

Обозначения остальных позиций указаны в подписи под рис. 4.1.

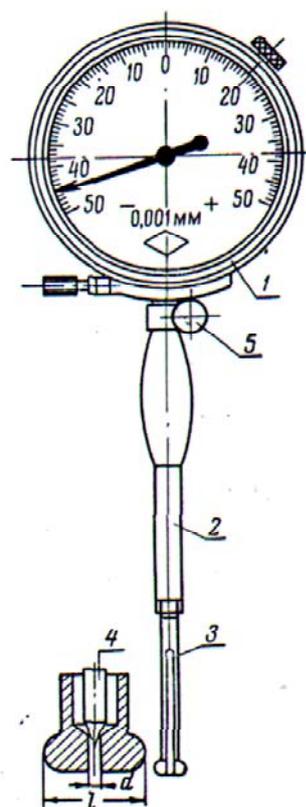


Рис. 2.20. Цанговый нутромер:
1 – измерительная головка;
2 – корпус; 3 – сменная цанга;
4 – стержень – шток;
5 – стопорный винт

3. Цанговый индикаторный нутромер

Такие нутромеры для измерения изготавливают двух типов: от 3 до 10 мм и от 6 до 10 мм. Они состоят (рис. 2.20) из трубчатого корпуса 2, внутри которого проходит стержень 4 с конусным концом, и сменной цанги 3 со сферическими измерительными наконечниками и измерительной головкой 1. В этих нутромерах чаще всего используются микронные измерительные головки с двусторонней шкалой, а также малогабаритные часового типа. При сжатии сферических наконечников изменяется размер ℓ , а вместе с ним и диаметр разрезного отверстия d , стенки которого, воздействуя на коническую часть стержня 4, поднимают его вверх. Таким образом осуществляется передача размера к индикаторной головке 1, измерительный стержень которой соприкасается с другим концом стержня 4.

4. Настройка индикаторного нутромера

Индикаторный нутромер с рычажной передачей настраивают следующим образом:

1. Выбирают головку и устанавливают ее на прибор. Порядок крепления головки зависит от конструктивной особенности нутромера. У нутромеров, индикаторная головка которых закрыта кожухом (рис. 2.16), замену головки производят в такой последовательности:

а) отпустить винт 9 и снять головку вместе с кожухом 7;

б) головку с кожухом надеть на конец трубки 4 так, чтобы в процессе измерения было удобно читать показания. Наиболее удобным при измерении будет такое положение, когда при обращенном вперед циферблате центрирующий мостик 16 будет также направлен вперед, а переставной стержень 14 – к противоположной стороне. У нутромеров без кожуха (рис. 2.20) при замене головки отпускают винт 5 и ставят головку так, чтобы было удобно читать показания в процессе измерения.

2. Устанавливают малую стрелку на нуль. Для этого, перемещая индикаторную головку вниз или вверх, добиваются такого положения, при котором малая стрелка, показывающая число оборотов, остановилась против нулевого штриха. В этом положении головку и кожух закрепляют стопорным винтом 9. Если применяется малогабаритная головка, у которой отсутствует малая шкала, то «натяг» создают в 2...3 деления основной шкалы.

3. Подбирают переставной стержень 14. Он должен быть такого размера, чтобы, ввернутый достаточно надежно в свое гнездо, отстоял

от торца подвижного стержня 2 на расстоянии немного больше, чем размер, от которого определяются отклонения.

4. Подбирают блок концевых мер на установочный размер.

5. Устанавливают микрометр или струбцину с блоком концевых мер в штатив. Если микрометр настраивают по блоку концевых мер, то блок должен быть установлен в струбцину с боковичками. Микрометр перед установкой в подставку также должен быть настроен на необходимый размер и застопорен.

6. Устанавливают большую стрелку индикатора на нуль (рис. 2.21).

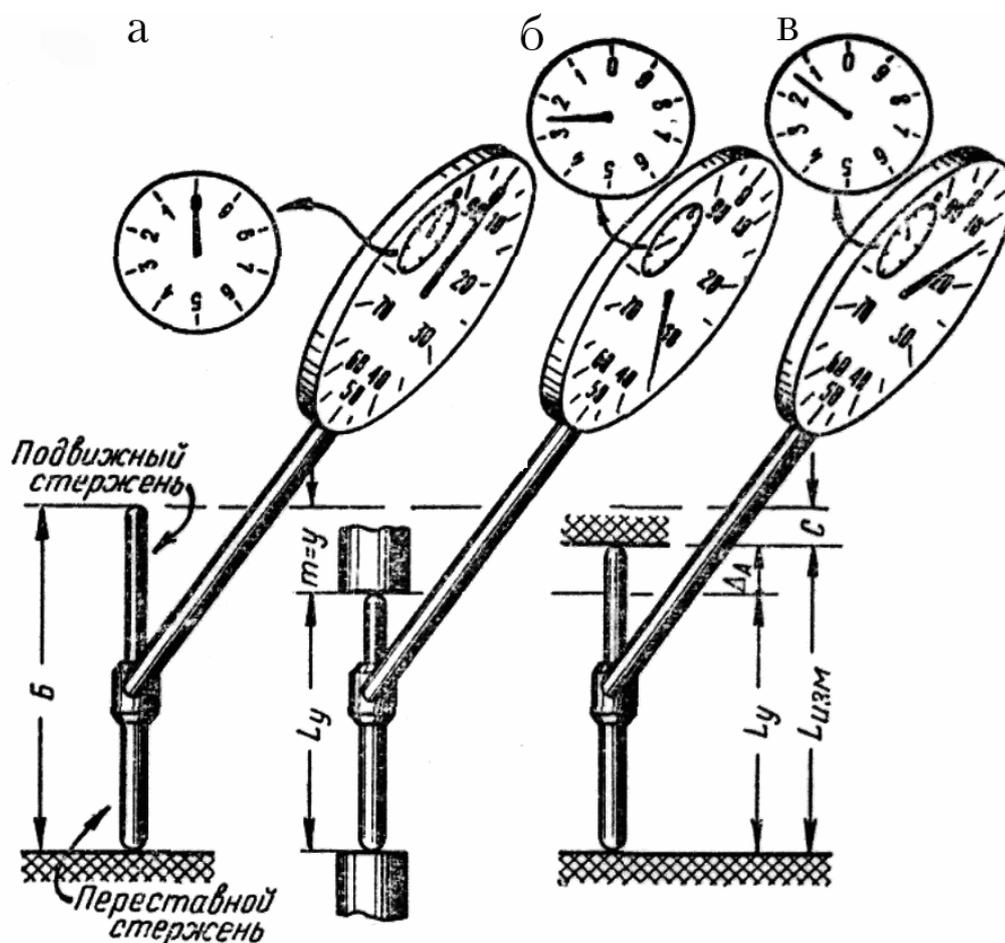


Рис. 2.21. Порядок настройки приборов для относительных измерений отверстий с целью определения отклонений от заданного размера: L_y – установочный размер; B – базовый размер при разгруженном состоянии системы; $L_{изм}$ – измеренный (действительный) размер; m – полный «натяг»; c – величина смещения измерительного стержня в процессе измерения; Δ_A – искомое отклонение

7. Создают необходимый «натяг» в системе, для чего:

а) ввертывают переставной стержень 14 (рис. 2.16) в корпус нутромера настолько, чтобы размер Б (рис. 2.21, а) был немного меньше (на 0,5...0,7 мм) установленного блока;

б) взяв в правую руку нутромер около корпуса и прижимая его стержнем 14 (рис. 2.16) к левому боковичку струбцинки или к неподвижной пятке микрометра, левой рукой медленно вывертывают стержень, следя в это время за большой стрелкой индикатора. Вывертывать стержень надо до тех пор, пока стрелка не сделает требуемого числа оборотов;

в) отклоняют нутромер в сторону мостика и извлекают его из струбцинки или микрометра;

г) не сбивая положения переставного стержня, закрепляют его стопорной гайкой 13;

д) снова вводят нутромер в струбцинку или микрометр. При этом необходимо придерживаться правил, изложенных ниже (в пункте 8). Найдя наибольшее отклонение стрелки, устанавливают величину y , которая представляет собой сумму целого числа оборотов малой стрелки и показаний большой стрелки (рис. 2.21, б). Эту величину следует запомнить или записать. В тех индикаторах, где нет малой шкалы, число оборотов большой стрелки считают непосредственно в процессе измерения.

8. Производят измерения. При этом соблюдают следующий порядок:

а) вводят индикатор-нутромер в отверстие так, как показано на рис. 2.22, а т.е. наклонно, чтобы опустился в сжатом виде мостик 16, а потом уже подвижный стержень 2;

б) в процессе измерения добиваются такого положения, чтобы ось стержней 2 и 14 (рис. 2.16) или а–б (рис. 2.22, а) была перпендикулярна оси измеряемого объекта. Это положение находят в процессе плавного перевода нутромера из положения А (рис. 2.22, б) в положение Б и обратно. Наблюдая в это время за индикаторной стрелкой, необходимо заметить наибольшее отклонение вправо. Этому отклонению стрелки и соответствует искомый размер измеряемой величины. При измерении же расстояния между параллельными плоскостями необходимо покачивать нутромер в двух взаимно – перпендикулярных направлениях и в каждом из них устанавливать точку возврата стрелки индикатора.

9. Производят отсчет показаний прибора. Показание u состоит опять из суммы показания целого числа оборотов малой стрелки и показания большой стрелки (рис. 2.21, в).

10. После окончания измерений нутромер снова наклоняют в сторону мостика 16 (рис. 2.22, а) до тех пор, пока стержень 2 не займет

своего крайнего левого положения, и в таком виде извлекают из отверстия. Если не соблюдать этого правила, можно поломать стрелку индикатора.

11. По формуле $\Delta_A = y - u$ определяют отклонение от установленной величины и его знак.

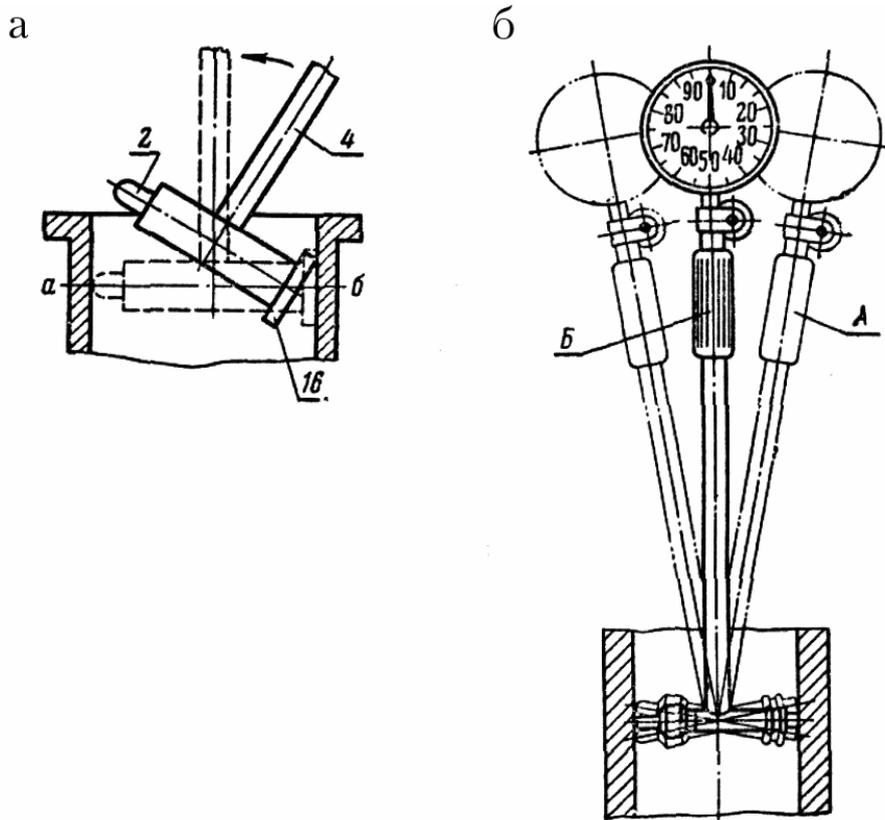


Рис. 2.22. Схема, иллюстрирующая порядок ввода индикаторного нутромера в отверстие (а) и положение нутромера при измерении

Индикаторный нутромер с клиновой передачей и цанговый нутромер настраивают в той же последовательности, как и нутромеры с рычажной передачей. Особенность их настройки заключается в том, что для нутромеров с клиновой передачей установлен набор стержней определенной длины: для нутромеров от 10 до 18 мм стержни отличаются по длине один от другого на 1 мм, а для нутромеров от 6 до 10 мм – на 0,5 мм. Значит, стержни и цанги необходимо брать такие, чтобы их размер L был больше номинала на то число оборотов стрелки, которое необходимо при заданном допуске.

Промышленностью выпускаются нутромеры повышенной точности по ГОСТ 9244–75 с ценой деления 0,001 мм для измерения внутренних размеров от 2 до 10 мм и с ценой деления 0,002 мм для измерения внутренних размеров от 10 до 450 мм.

5. Микрометраж гильзы цилиндра

Если характер износа гильзы неясен (неизвестен), то могут выбрать достаточное число поперечных сечений и указать на положение относительно обреза гильзы (а-а, б-б, в-в и т.д.). Перед измерениями эти сечения отмечают цветным карандашом или мелом. После проведения измерений нутромером строятся кривые износа (рис. 2.23), по которым легко и наглядно могут быть выявлены места наибольшего износа и причины, их вызывающие.

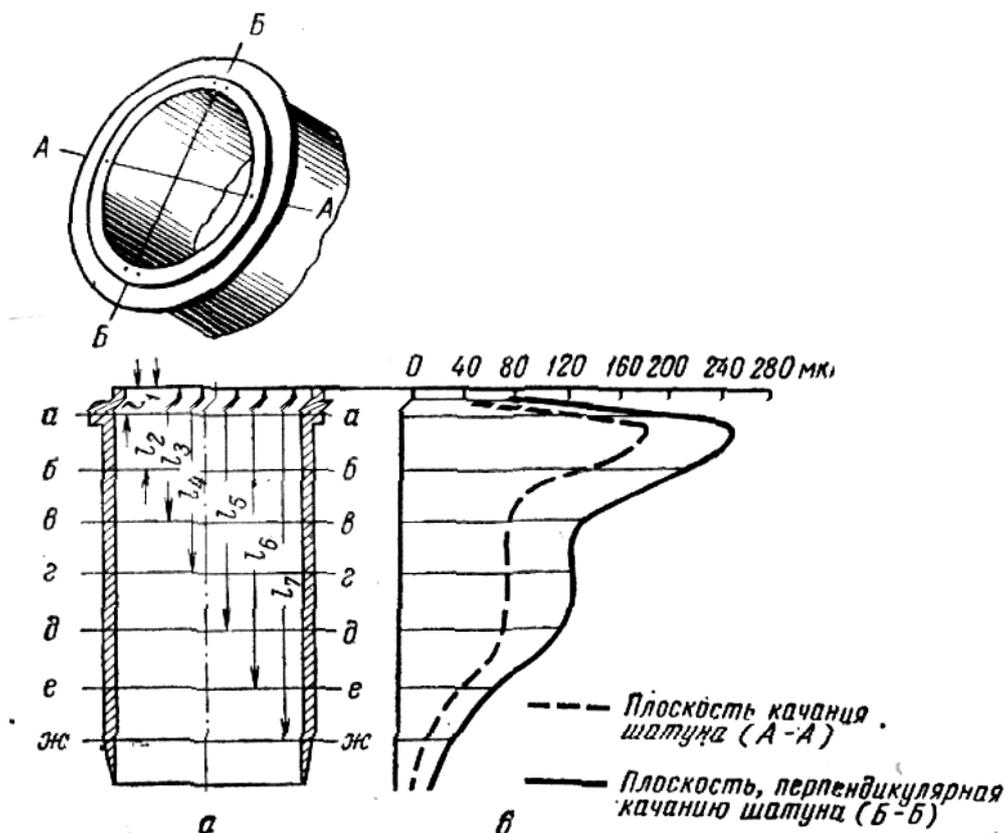


Рис. 2.23. Положение плоскостей и сечений при микрометраже гильзы цилиндра (а) и кривые, характеризующие износ гильзы (б)

6. Порядок выполнения работы

1. Настроить нутромер на измерение заданной гильзы цилиндра.
2. Провести микрометраж гильзы (рис. 2.20).
3. Дать микрометрическую характеристику применяемого нутромера по табл. 2.3.
4. Нарисовать эскиз детали и кривую, характеризующую износ гильзы.
5. Сделать заключение и объяснить, почему износ неравномерен.
6. Показать результаты работы преподавателю.
7. Сдать инструмент и гильзу преподавателю.

Таблица 2.3

Метрологические характеристики индикаторного инструмента, мм

Прибор	Тип (модель)	Диапазон измерения	Цена деления (отсчёт по нониусу)	Пределы допускаемой погрешности при классе точности		Пример обозначения	
				1	2		
Индикаторный нутромер	НИ	6-10; 10-18 18-50	0,01	±0,008	±0,012	Нутромер НИ 6-10-1 ГОСТ 868-82 (диапазон измерения 6-10 мм; класс точности 1)	
		50-100 100-160 160-250		±0,012	±0,015		
				±0,015	±0,018		
Нутромер с ценой деления 0,001 и 0,002 мм	----	2-3; 3-6; 6-10 10-18; 18-50 50-100; 100-160	0,001 0,002 0,002	± 1,8 ± 3,5 ± 4,0		Нутромер 10-18 ГОСТ 9244-75	
Индикатор часового типа	ИЧ	0-2 0-5 0-10 0-25	0,01	± 0,012 ± 0,016 ± 0,020 ± 0,030	-----	Индикатор ИЧ 10Б кл.1 ГОСТ 577-68 (диапазон измерений 0-10 мм; Б-брызгозащитный)	
Многооборотный индикатор	1 МИГ 2 МИГ	0-1 0-2	0,001 0,002	±0,002 ±0,003		Индикаторный 1 МИГ ГОСТ 9696-82	

Вопросы для самоконтроля

1. Какова точность измерения нутрометром?
2. Для чего на корпусе индикатора устанавливается теплоизоляционная ручка?
3. С помощью каких измерительных средств устанавливаем номинальный размер?
4. Как гильза цилиндра устанавливается на место в блоке?

Лабораторная работа №5 ПРЕДЕЛЬНЫЕ КАЛИБРЫ

1. Общие положения

Описанные выше инструменты и приборы для измерения и контроля называются универсальными средствами измерения (УСИ), которые применяются в основном в индивидуальном и мелкосерийном производстве.

В серийном и массовом производстве такие средства измерения по экономическим соображениям применять не выгодно. В этом случае наиболее выгодно применять калибры. Калибрами называют бесшкальные инструменты, предназначенные для контроля размеров, формы или взаимного положения деталей и их частей в изделии.

По способу проверки и контроля деталей различают калибры нормальные и предельные.

При проверке нормальным калибром годность изделия определяют по плотности его вхождения. При этом правильность определения годности целиком зависят от квалификации контролера.

В настоящее время нормальными калибрами пользуются редко и контроль изделия осуществляется предельными калибрами, которые не копируют форму и размер изделия, а только дают возможность определить, находится ли действительно размер контролируемого изделия в границах установленного допуска или нет. Поэтому для контроля одного размера в изделии необходимо иметь два калибра: калибр проходной ПР и калибр непроходной НЕ, при этом если калибр ПР проходит, а калибр НЕ нет, то изделие считается годным.

2. Разновидность калибров

2.1. Предельные калибры для контроля валов

Диаметры валов контролируют скобами. Наиболее удобны односторонние двухпредельные скобы (рис. 2.24). Они могут быть листовыми (рис. 2.24, а, б.), штампованными (рис. 2.24, в, г.) и литыми (рис. 2.24, д.). Длину проходных губок скоб делают в два-три раза больше длины непроходных губок, чтобы увеличить срок их службы.

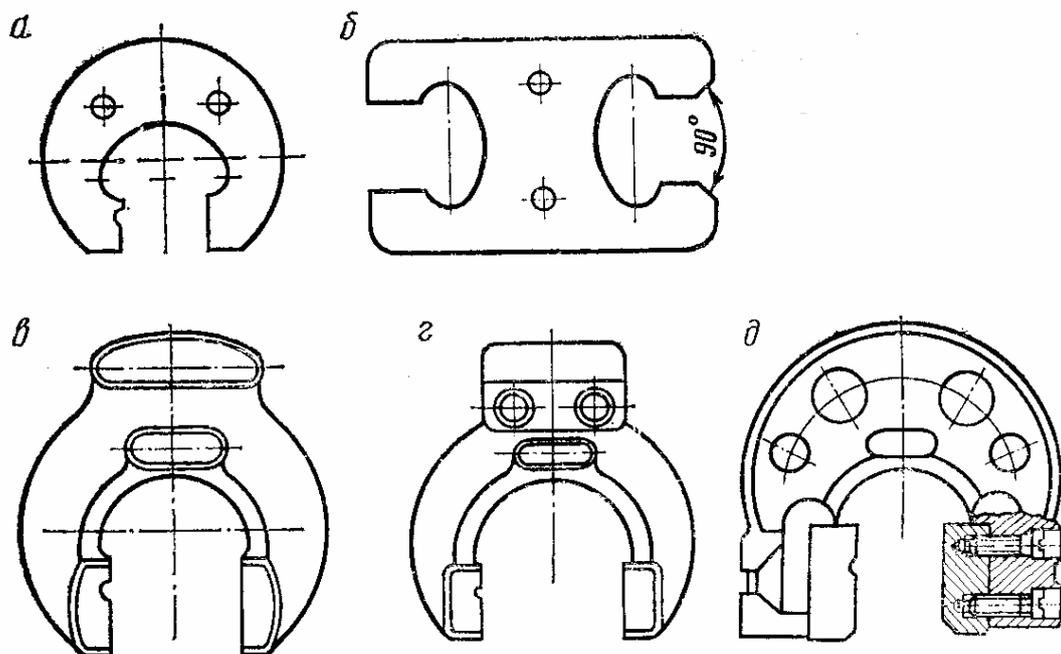


Рис. 2.24. Предельные калибры для контроля валов

Большое распространение при ремонте автомобилей получили регулируемые скобы (рис. 2.25).

Для установки скобы 1 на размер отворачивают на два-три оборота стопорный винт 6 и, нажав на головку винта, выталкивают втулку 5 стопора, освобождая измерительную головку 2. Между измерительными поверхностями скобы вставляют блок концевых мер 3 необходимого размера и винтом 4 выдвигают измерительную головку до соприкосновения с блоком плиток. В таком положении измерительную головку закрепляют стопорным винтом 6. После этого проверяют правильность установки скобы. Скобы должны с легким трением перемещаться по блоку плиток. Если скобу нельзя сдвинуть или она перемещается слишком свободно, настройку повторяют.

При контроле изделия скобами большую роль играет усилие измерения. Скоба должна проходить проходной стороной и задерживаться на непроходимой стороне под действием собственного веса. Если

скоба надвигается на изделие сбоку, то усилие измерения должно быть приблизительно равно весу скобы.

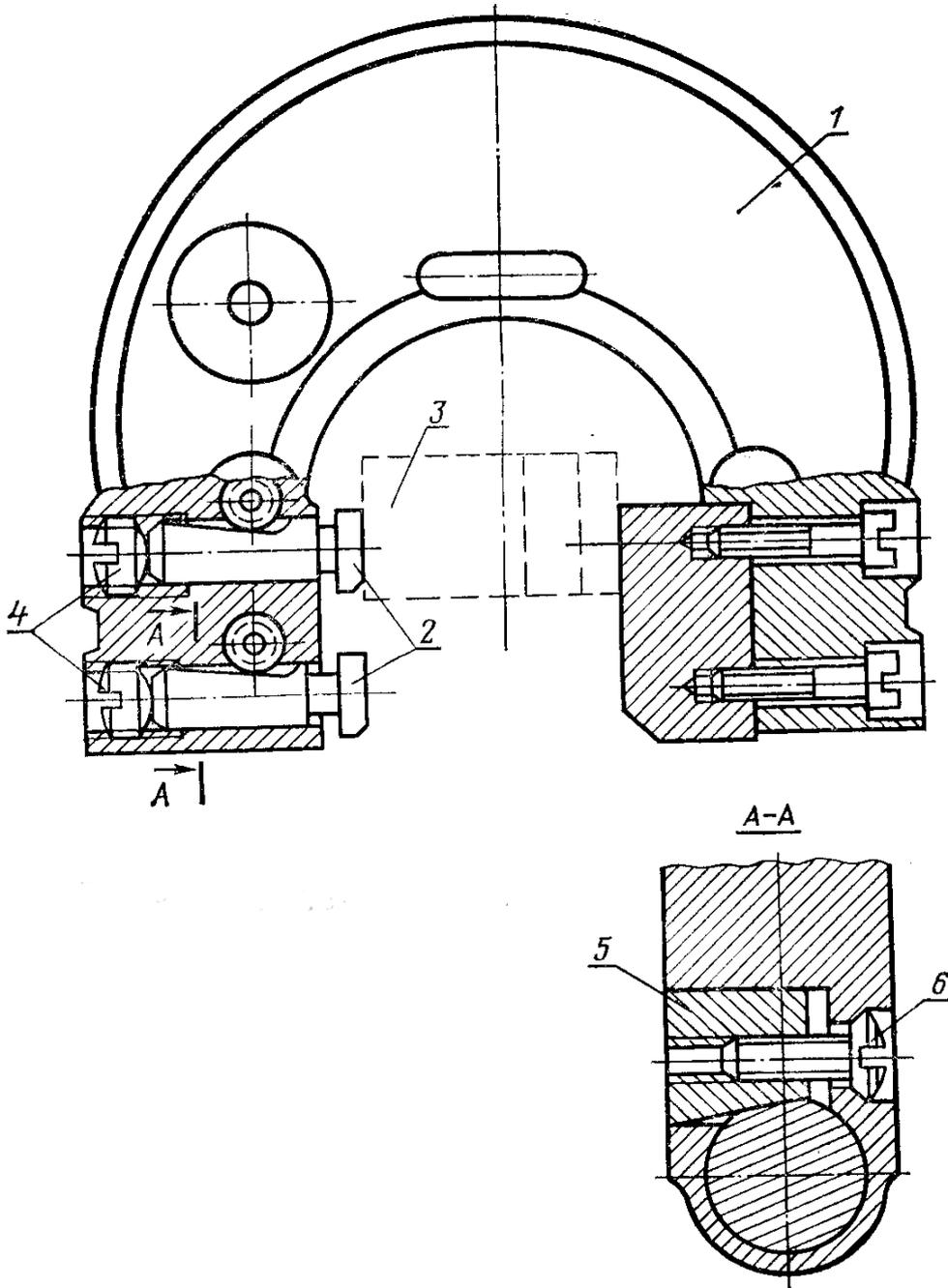


Рис. 2.25. Регулируемая скоба

2.2. Предельные калибры для контроля отверстий

Диаметры отверстий контролируют пробками. Наиболее распространены двухсторонние пробки (рис. 2.26). Если проходная сторона (ПР) изнашивается, ее можно заменить. Непроходная (НЕ) сторона служит дольше.

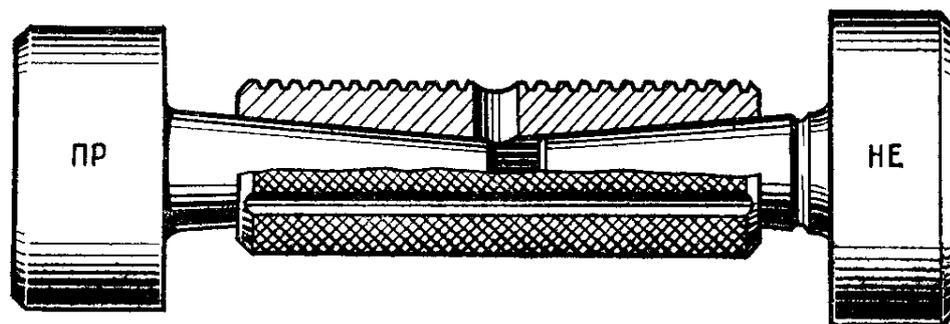


Рис. 2.26. Двухсторонняя пробка

3. Специальные предельные калибры

3.1. Методы и средства контроля резьб

Существует дифференцированный и комплексный метод контроля резьб. При дифференцированном методе контроля отдельно проверяют средний диаметр, шаг и половину угла профиля. Заключение о годности делают так же по каждому параметру отдельно. Принимают такой метод для контроля точных резьб (калибры- пробки, резьбообразующий инструмент и т. п.).

Комплексный метод контроля резьб осуществляется предельными резьбовыми калибрами (рис. 2.27).

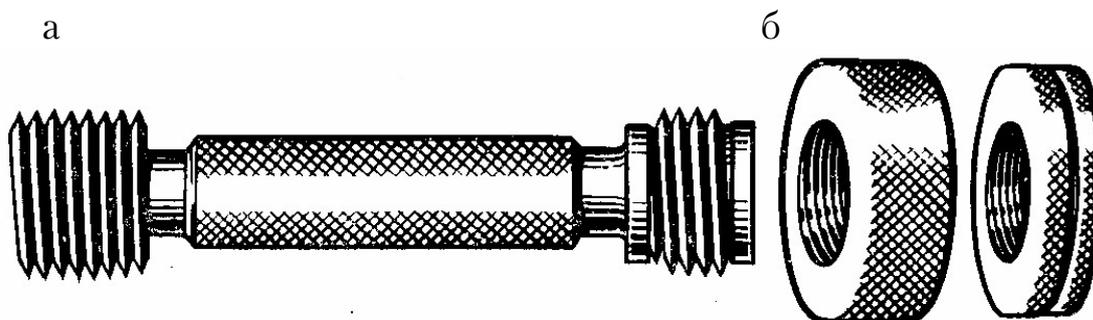


Рис. 2.27. Резьбовые калибры:
а – для внутренней резьбы (гайка); б – для наружной резьбы (болт)

При этом такими калибрами одновременно контролируется средний диаметр, шаг, половина угла профиля, а также внутренний и наружный диаметр резьбы. Это достигается путем сравнения действительного контура резьбовой детали с предельными.

Для различных калибров по внешнему виду на проходном кольце калибра имеет укороченный размер (короче проходного), притупление по наружному диаметру и прорезу канавок по внутреннему диаметру. Допускается ввинчивание калибра НЕ до двух оборотов.

3.2. Методы и средства контроля деталей шпоночного соединения

Дифференциальный метод контроля размеров деталей шпоночного соединения осуществляется универсальными средствами измерения (УСИ), однако это требует больших затрат времени. На заводах применяют контроль с помощью предельных калибров (рис. 2.28).

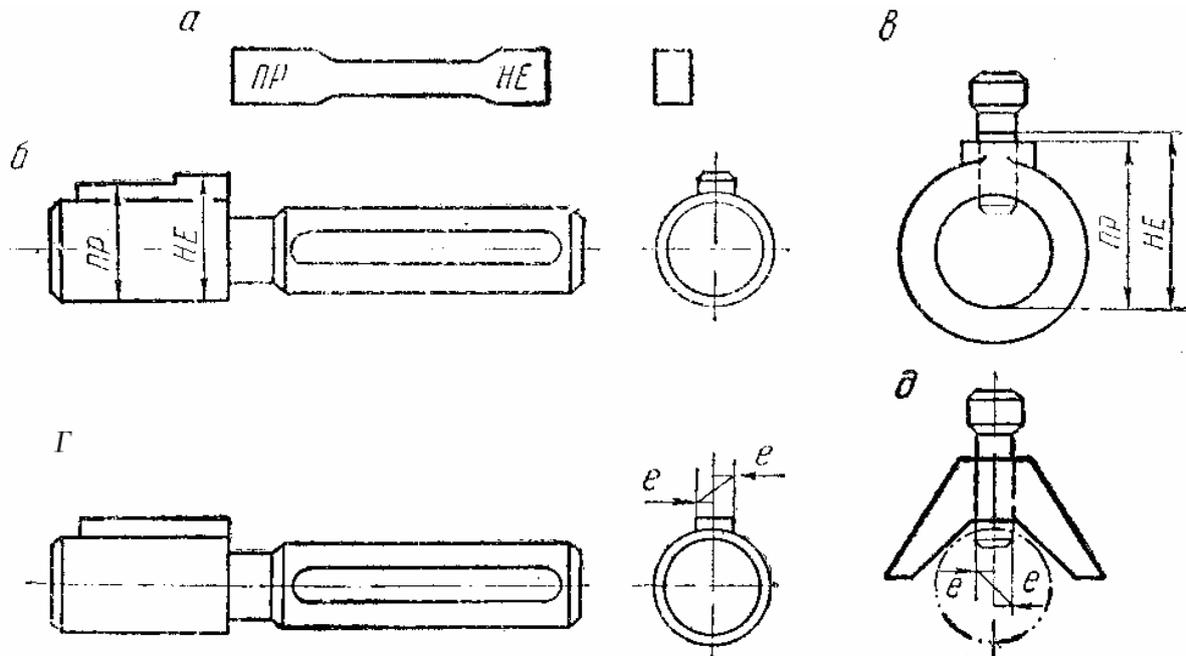


Рис. 2.28. Калибры для контроля деталей

Ширину паза вала и втулки проверяют пластинами, имеющими проходную и непроходную сторону (рис 2.28, а); размер от дна паза до образующей цилиндрической поверхностью ($D+t_1$) контролируют пробкой со ступенчатой шпонкой (рис. 2.28, б); глубину паза вала проверяют кольцевыми калибрами, имеющими стержень с проходной и непроходной ступенями (рис. 2.28, в). Симметричное расположение паза относительно осевой плоскости «е» контролируют у втулки пробкой со шпонкой (рис. 2.28, г), а вала – накладной призмой с контрольным стержнем (рис. 2.28, д).

3.3. Методы и средства контроля деталей шлицевых соединений

Каждый элемент соединения может быть измерен дифференциальным методом УСИ, однако это не значит, что собираемость деталей будет обеспечена. Для этого нужен комплексный подход, и, соответственно, комплексные калибры для контроля деталей шлицевых соединений (рис. 2.29).

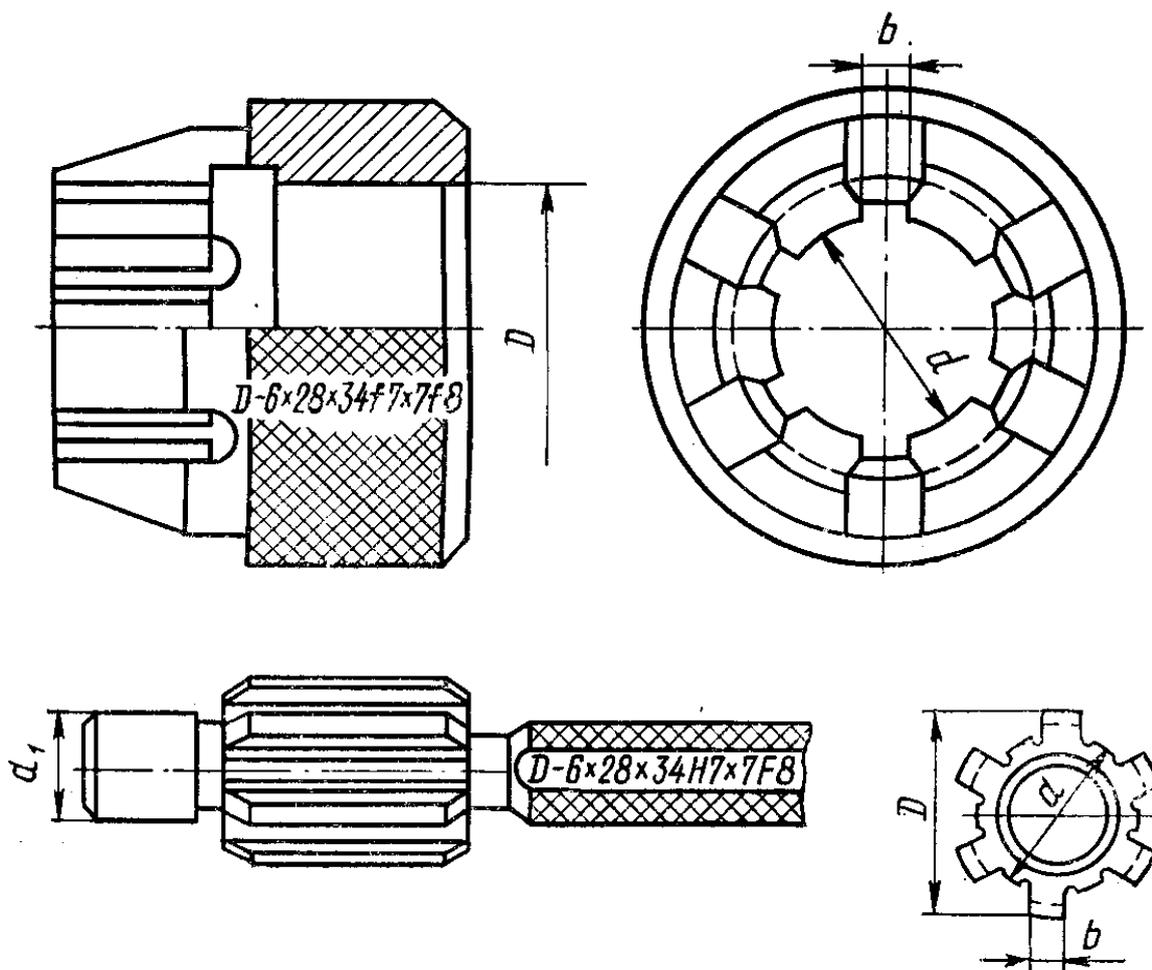


Рис. 2.29. Комплексные калибры для контроля деталей шлицевых соединений

Вал проверяют комплексным шлицевым кольцом, а отверстие – комплексной шлицевой пробкой. Комплексные калибры для шлицевых отверстий с прямобочным профилем шлица изготавливают двух типов:

- а) для соединения с центрированием по D – имеют поясok для направления калибра при вводе его в проверяемое отверстие.
- б) для соединения с центрированием по d – имеют два цилиндрических пояска шлицевой нарезки.

Шлицевой вал считается годным, если комплексный калибр (кольцо) проходит и толщина шлица не выходит за установленный нижний предел. Шлицевое отверстие считается годным, если комплексный калибр (пробка) проходит и ширина впадины не выходит за установленный верхний предел.

3.4. Порядок выполнения работы

1. Студентам выдаются детали:
 - с метрической резьбой;
 - в виде вала;
 - с круглыми отверстиями;
 - шпоночное соединение;
 - шлицевое соединение.
2. В соответствии с описанием и назначением предельных калибров студент подбирает соответствующий калибр.
3. Проводит измерение и контроль выбранными калибрами.
4. Делает заключение о годности деталей.
5. На эскизах деталей проставляем номинальные размеры и отклонения.

Вопросы для самоконтроля

1. Что такое калибр? Какие калибры называются предельными?
2. Назовите признаки годности деталей при контроле гладкими калибрами.
3. Что контролирует проходной калибр – кольцо ПР?
4. Что контролирует непроходной калибр – кольцо НЕ?
5. В каких случаях метрическая резьба считается годной?
6. Какие существуют калибры для контроля деталей шпоночного соединения?
7. Какие существуют калибры для контроля деталей шлицевого соединения?

Лабораторная работа №6 ВЫБОР УНИВЕРСАЛЬНЫХ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЯ

1. Общие положения

Средства измерения (СИ) выбирают с учетом метрологических и экономических факторов. При выполнении измерений в первую очередь учитывают следующие метрологические показатели: пределы измерения шкалы, точность прибора и инструмента, предельную погрешность измерений. К экономическим показателям относятся: стоимость средств измерений, продолжительность их работы до ремонта, время, затрачиваемое на установку и на сам процесс измерения, и, наконец, квалификация оператора.

На выбор СИ влияет и характер производства. При большом количестве контролируемых изделий целесообразно применять специальные СИ и калибры, при малом же количестве измеряемых изделий предпочтение отдается универсальным средствам измерений (УСИ).

Правильный выбор УСИ обеспечивает не только требуемую точность изготовления детали, но и ускоряет процесс измерений, сокращает время обработки и сборки и, следовательно, уменьшает себестоимость выпускаемой продукции. Неправильно выбранное по точности и предельной погрешности УСИ отрицательно сказывается на долговечности соединений и его деталей, надежности всего изделия в целом.

Основным из всех перечисленных выше метрологических показателей является погрешность измерений. В этот показатель входят: погрешность показаний прибора (инструмента), погрешность мер, по которым настраивают прибор, температурная погрешность, погрешность, вызываемая измерительным усилием, и т.д. Все эти погрешности в процессе измерений проявляются одновременно, носят случайный характер и подчиняются закону нормального распределения.

При выборе СИ основными показателями являются:

1. Величина допустимой погрешности измерений σ .
2. Величина предельного значения полной погрешности измерительного средства Δ .

2. Методика выбора УСИ линейных размеров

Величину допустимой погрешности измерений σ устанавливает ГОСТ 8.051–81 в зависимости от величины номинального размера, допуска T и качества. Для некоторых размеров и качеств значения величин T и σ приведены в табл. 2.4.

Таблица 2.4

Допустимые погрешности измерений σ
в зависимости от допусков размеров (ГОСТ 8.051–81), мкм

Номинальные размеры, мм	Квалитеты											
	6		7		8		9		10		11	
	T	σ	T	σ	T	σ	T	σ	T	σ	T	σ
св. 10 до 18	11	3	18	5	27	7	43	10	70	14	110	30
св. 18 до 30	13	4	21	6	33	8	52	12	84	18	130	30
св. 30 до 50	16	5	25	7	39	10	62	16	100	20	160	40
св. 50 до 80	19	5	30	9	46	12	74	18	120	30	190	40
св. 80 до 120	22	6	35	10	54	12	87	20	140	30	220	50
св. 120 до 180	25	7	40	12	63	16	100	30	160	40	250	50

Для средств измерений, выпускаемых промышленностью и применяемых в машиностроении для измерения линейных размеров, специальными исследованиями выявлены предельные значения полных погрешностей измерения Δ . Эти погрешности УСИ опубликованы в дерективно-методических указаниях Госстандарта РФ под названием РДМУ-98–77.

Часть из них приведены в табл. 2.5.

Порядок действий при выборе УСИ линейного размера:

1. Определяют по чертежу детали номинальный размер и предельные отклонения измеряемого элемента.

2. Подсчитывают величину допуска размера T в микрометрах:

$$T = \text{ВО} - \text{НО},$$

где ВО – верхнее отклонение;

НО – нижнее отклонение.

3. По величине допуска T и номинального размера находят по табл. 2.5 величину допускаемой погрешности измерения σ .

Т а б л и ц а 2.5

Предельные погрешности измерений Δ , мкм, наружных и внутренних размеров универсальными измерительными средствами

Средство измерения	Номинальный наружный размер, мм				Номинальный внутренний размер, мм		
	10...18	18...50	50...80	80...120	3...8	18...50	50...120
Штангенциркуль с отсчетом по нониусу 0,1 мм	150	150	200	200	200	200	250
Штангенциркуль с отсчетом по нониусу 0,05 мм	100	100	100	100	150	150	200
Индикатор часового типа с ценой деления 0,01 мм	20	20	20	200	—	—	—
	Номинальный наружный размер, мм						
	0...25	25...50	50...75	75...100			
Микрометр гладкий с ценой деления 0,01 мм	5	5	10	10	—	—	—
Скоба рычажная с ценой деления 0,002 мм	3	3,5	4	4,5	—	—	—
Нутрометр индикаторный (цена деления 0,01 мм)	—	—	—	—	10	10	15

4. По табл. 2.5 предельных погрешностей измерения Δ наружных или внутренних размеров выбирают и записывают наименование, средства измерения, диапазон измерения, цену деления шкалы и величину предельной погрешности измерения Δ .

5. Сопоставляют величину предельной и допустимой погрешности измерения и решают вопрос о пригодности выбранного УСИ.

Если предельная погрешность измерения выбранным УСИ не превышает допустимой погрешности измерения, то данные УСИ можно применить для заданного измерения, т.е. $\Delta \leq \sigma$.

3. Пример выбора универсального средства измерения

Задан номинальный размер шейки коленчатого вала и его предельные отклонения:

$$\begin{array}{c} -0,012 \\ \text{Ø}85\text{g}6 \\ -0,035 \end{array}$$

Требуется выбрать УСИ для определения годности данной детали. В принципе этот наружный размер цилиндрической части детали может быть измерен многими измерительными средствами. Однако размер, форма и масса детали не позволяют этого сделать такими стационарными приборами как оптиметр, микрокатор со стойкой, индикатор часового типа со стойкой. В этом случае удобнее применить переносной прибор типа индикаторной скобы, рычажной скобы или гладкого микрометра. Остается определить, какой из этих приборов обеспечит необходимую точность измерения.

В соответствии с вышеизложенной методикой определяем величину допуска:

$$T = \text{ВО} - \text{НО} = -0,012 - (-0,034) \cdot 10^3 = 22 \text{ мкм.}$$

По табл. 2.5 находим, что самый точный микрометр дает предельную погрешность $\Delta = 10$ мкм, т.е. $\Delta > \sigma$, что недопустимо, т.к. $\sigma = 6$ мкм (см. табл. 2.4).

Только рычажная скоба с ценой деления 0,002 мм обеспечивает точность измерения, т.к. у этого прибора предельная погрешность измерения $\Delta = 4,5$ мкм, т.е.

$$\Delta < \sigma (10 < 4.5).$$

Кроме того, данный прибор относительно легкий и позволяет переносить его в любое место (см. рис. 2.30).

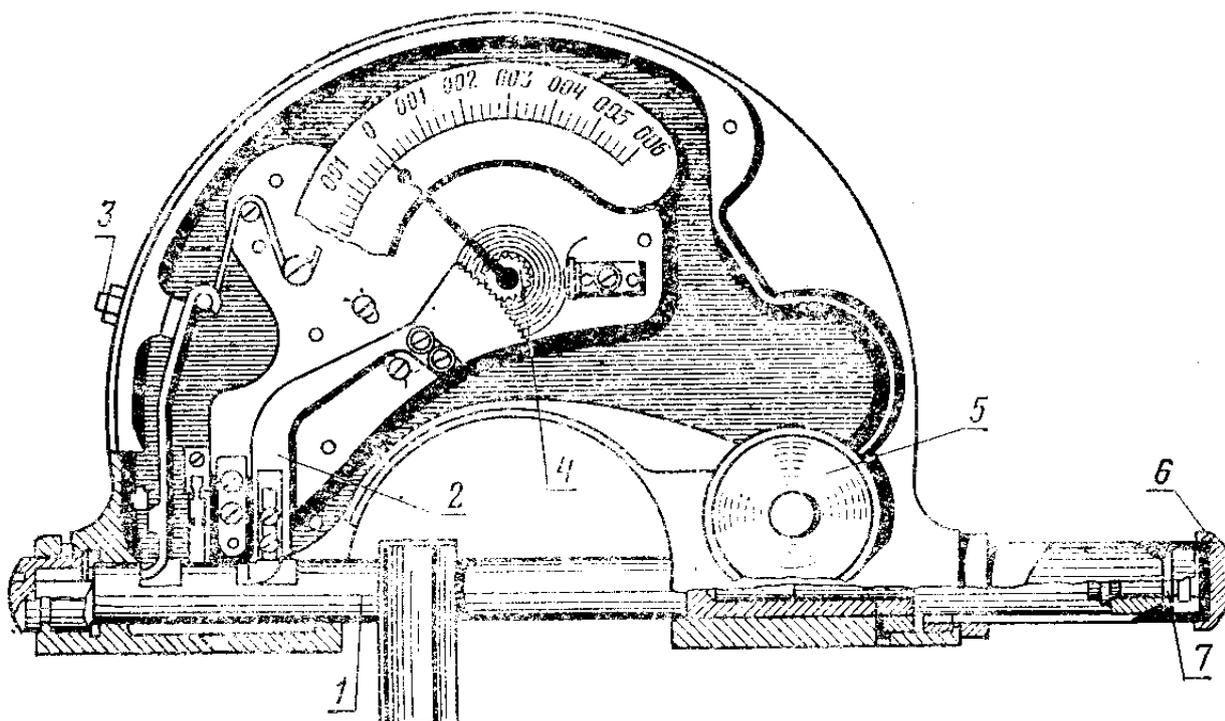


Рис. 2.30. Рычажная скоба

Принцип работы рычажной скобы: подвижная пятка 1 рычажной скобы передает движение рычагу 2, большое число которого заканчивается зубчатым сектором. Сектор, поворачиваясь, вращает трубку 4, на оси которой укреплена стрелка. Скобу настраивают по концевым мерам (в нашем случае размер концевой меры равен 85 мм). Для этого сжимают защитный колпачок 6, ослабляют стопорный винт 5 и, вставив между измерительными поверхностями блок плиток, размер которого равен номинальному размеру, вращают винт 7 микрометрической подачи до тех пор, пока стрелка прибора не встанет на нулевой штрих шкалы. В этом положение заворачивают стопорный винт и надевают защитный колпачок. После чего проводят измерение.

4. Порядок выполнения работы

1. Каждому студенту задается деталь с указанием номинального размера и отклонений (\varnothing вала или отверстия).
2. В соответствии с приведенной методикой определяются величины погрешностей σ и Δ .
3. По величинам σ и Δ определяется тип УСИ.
4. Проводится настройка выбранного УСИ на номинальный размер.
5. Проводится измерение заданной детали.

6. Чертится схема детали, проставляется на ней номинальный и действительный размер.
7. Делается заключение.
8. Результаты измерений показывают преподавателю.

Вопросы для самоконтроля

1. Перечислите факторы, которые необходимо учитывать при выборе УСИ.
2. Что такое допустимая погрешность измерения?
3. Что такое предельная погрешность средств измерения?
4. Каков порядок действий при выборе УСИ?
5. Назовите условие, при котором считается, что прибор (инструмент) выбран правильно.

Лабораторная работа №7 ВЫБОР ПОСАДОК В СИСТЕМЕ ОТВЕРСТИЯ И ВАЛА

1. Общие положения

В соответствии с ГОСТ 25346–89 существуют посадки с зазором, натягом и переходные посадки.

Посадки с зазором образуются полями допусков, которые установлены в квалитетах 5...12 (автомобильная промышленность) и применяются в неподвижных и подвижных соединениях для облегчения сборки при невысокой точности центрирования, для регулирования взаимного положения деталей, для облегчения смазки трущихся поверхностей и компенсации тепловых деформаций, для сборки деталей с антикоррозионными покрытиями.

Посадки с натягом по значению гарантированного натяга подразделяют на три группы:

1. Посадки с минимальным гарантированным натягом (H7/p6, P7/h6, H6/p5, P6/h5) применяют при малых нагрузках и для уменьшения деформаций собранных деталей; неподвижность соединения обеспечивают дополнительным креплением; эти посадки допускают редкие разборки.

2. Посадки с умеренным гарантийным натягом (H7/u7, H8/u8, U8/h7, H8/k8, H8/z8) передают тяжелые и динамические нагрузки без дополнительного крепления; необходима проверка соединяемых деталей на прочность, сборка осуществляется в основном способом термического нагрева.

Переходные посадки образуются полями, которые установлены в квалитетах 5...8, характеризуются возможностями получения сравнительно небольших зазоров или натягов; применяются в неподвижных разрешенных соединениях при необходимости дополнительное крепление собранных деталей. Также посадки подразделяются на три группы:

1. Посадки с более вероятными натягами (H7/m6, H7/n6, M7/h6, N7/h6) применяют при больших ударных нагрузках, при повышенной точности центрирования и редких разборках, а также при затрудненной сборке в месте посадки с минимальным гарантированным натягом.

2. Посадки с равновероятными натягами и зазорами (H7/k6, K7/h6) имеют наибольшее применение из переходных посадок, так как для сборки и разборки не требуют больших усилий и обеспечивают высокую точность центрирования.

3. Посадки с более вероятными зазорами (H7/j6, J7/h6) применяют при небольших статических нагрузках, частных разборках, затруднений при сборке, а также для регулирования взаимного положения деталей.

Кроме выбора типа (вида) посадки необходимо выбирать и систему посадки (отверстия или вала). В системе отверстия (СО) посадки образуются изменением только полей допуска вала при постоянном поле допуска отверстия. В системе вала (СВ), наоборот, посадки образуются изменением полей допуска отверстия при постоянном поле допуска вала.

СО, как правило, экономически более выгодна, чем СВ, так как требует меньше типоразмеров режущих инструментов для обработки отверстий (сверла, протяжки, развертки и т.д.). В СО у всех соединений, имеющих одинаковый номинальный размер и одинаковый допуск на обработку, отклонения отверстий даже при различных посадках одинаковы. Вследствие этого появляется возможность обрабатывать одной протяжкой или разверткой отверстия в деталях различных назначений. Это удешевляет производство и ремонт машины.

Иногда целесообразно применять и СВ, а именно, когда на валу или отдельных его участках одного номинального размера необходимо обеспечить различные по степени подвижности посадки с другими деталями (отверстиями). Например, в соединении поршневого пальца с втулкой верхней головки шатуна двигателя, если палец в поршне должен быть посажен с натягом.

На рис. 2.31, а показан этот узел, выполненный в системе отверстия. В этом случае три отверстия имеют одинаковые размеры и выполняются с одним допуском на обработку δ_a . Для того чтобы получить в поршне натяг, необходимо поле допуска на обработку вала δ_b расположить ниже. Если выполнить этот узел таким образом, то палец

получится ступенчатым, по концам он будет иметь диаметр больше, чем в середине. При монтаже палец, проходя утолщенной частью через втулку меньшего размера, раздаст ее, и зазор S будет увеличен против необходимого. Долговечность соединения снизится или будет неработоспособным.

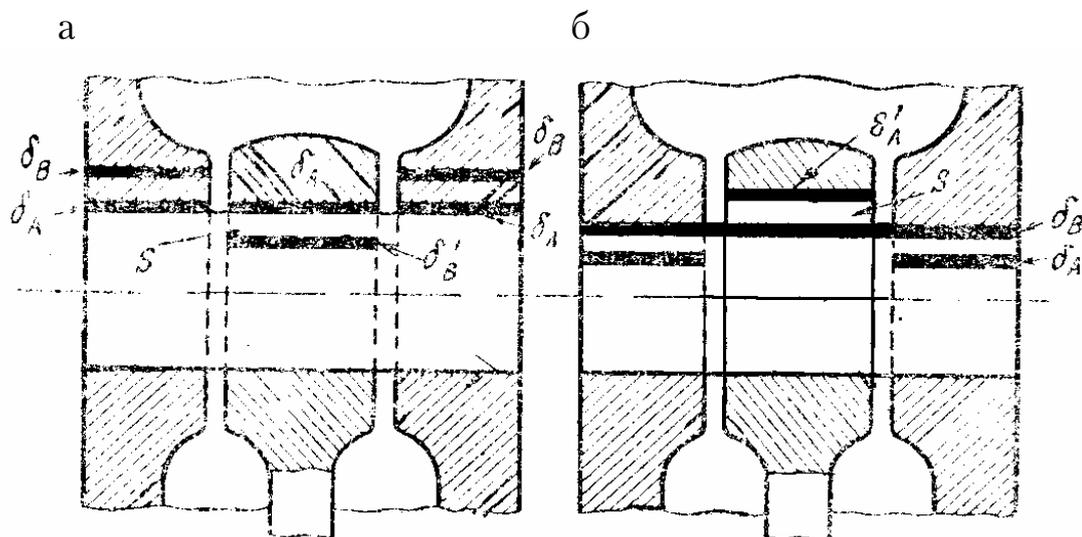


Рис. 2.31. Положение полей допуска для сопряжения деталей в СО (а) и СВ (б)

Совсем по-другому решается эта задача в системе вала (рис. 2.31, б). В этом случае палец не будет ступенчатым и при запрессовке свободно пройдет через втулку, не нарушая зазора, а по концам будут обеспечены необходимые натяги.

2. Примеры применения посадок в СО и СВ

Ниже рассматриваются сопряжения деталей применительно к сборочным единицам двигателя внутреннего сгорания.

Пример 1. Сопряжения подшипниковой втулки с головкой шатуна двигателя требует неподвижного соединения деталей, характеризуется резко переменными нагрузками средней тяжести, наличием вибраций. Такие условия работы вызывают необходимость назначения посадки в СО с умеренным гарантийным натягом. Такой посадкой может быть посадка Н7/г6 (см. п.1), показанная на рис. 2.32.

Пример 2. Сопряжение поршня двигателя с поршневым пальцем требует весьма высокой точности, характеризуется резко переменными нагрузками, разборке подвергается редко. Для таких условий можно назначить переходную посадку с более вероятным натягом. Такой посадкой может быть посадка N6/h5 (см. п.1) в системе вала, показанная на рис. 2.33.

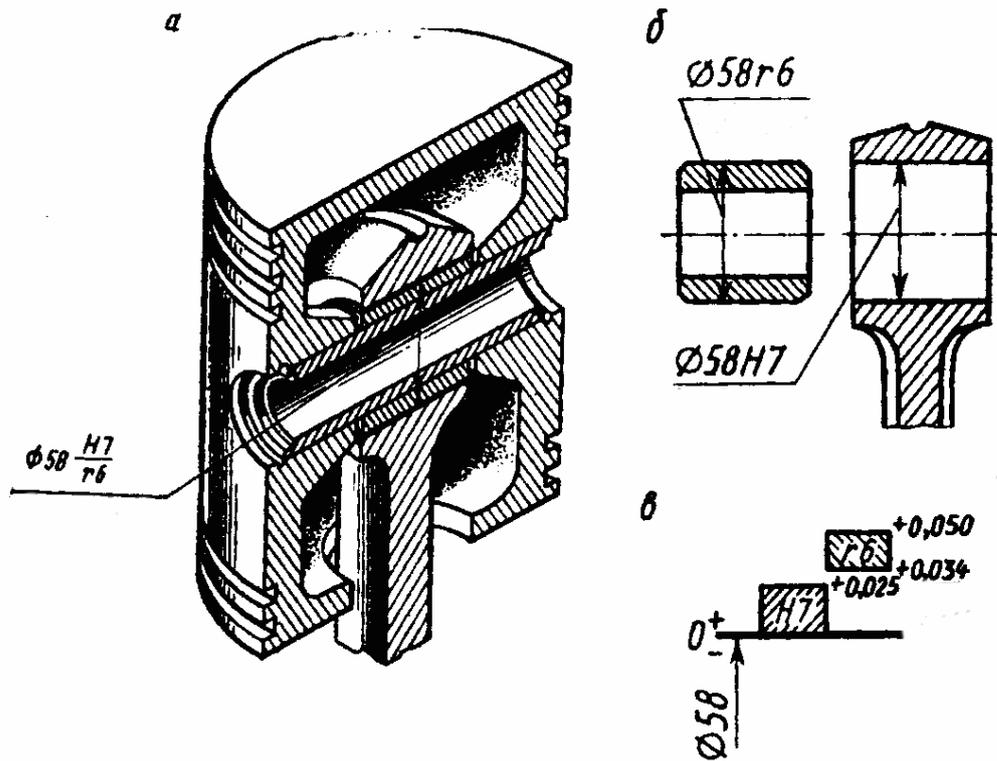


Рис. 2.32. Посадка с натягом:
 а – сборочная единица; б – чертежи деталей;
 в – графическое изображение посадки

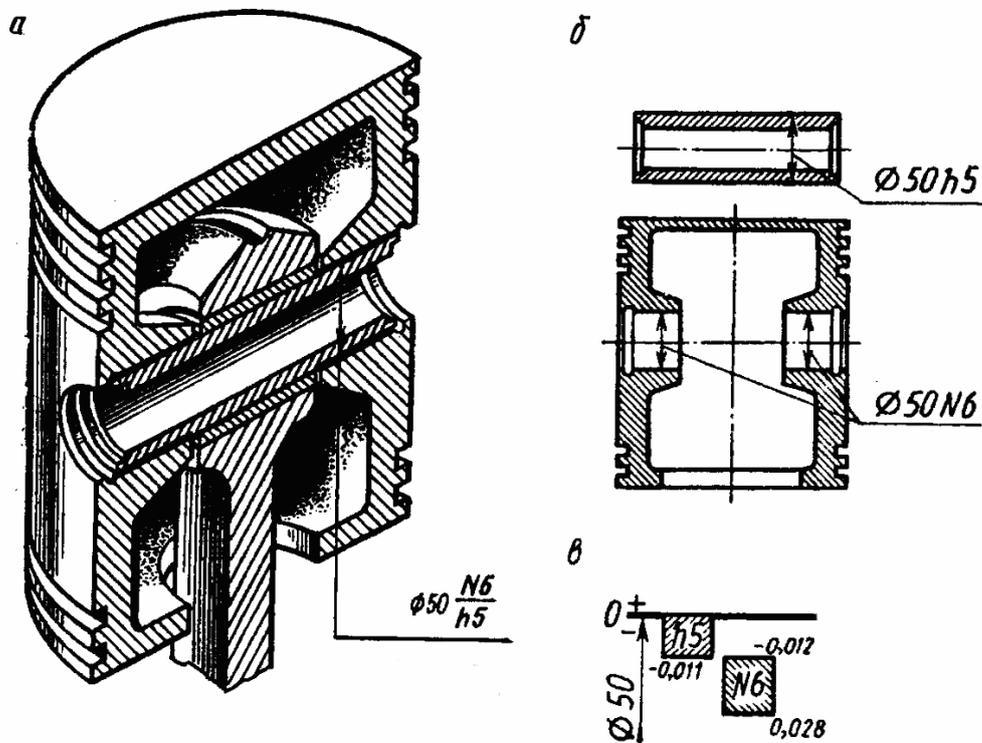


Рис. 2.33. Переходная посадка:
 а – сборочная единица; б – чертежи деталей;
 в – графическое изображение посадки

Пример 3. Сопряжение поршневого пальца двигателя с втулкой шатуна требует подвижного соединения весьма высокой точности, характеризуется резкими переменными динамическими нагрузками. Для этих целей можно назначить посадку с малым гарантированным зазором. Такой посадкой является посадка H6/h5 в системе вала, показанная на рис. 2.34. Наименьший зазор в этой посадке равен нулю.

В двух последних примерах применение СВ оправдано. Одна и та же деталь – поршневой палец – сопрягается в одном случае с поршнем (требуется переходная посадка), в другом – с втулкой шатуна (требуется посадка с зазором). При посадке по СВ палец представляет собой гладкий цилиндр, весьма технологический в изготовлении. И, наоборот, если назначить посадки в СО, то форма поршневого пальца усложняется – это будет ступенчатый цилиндр.

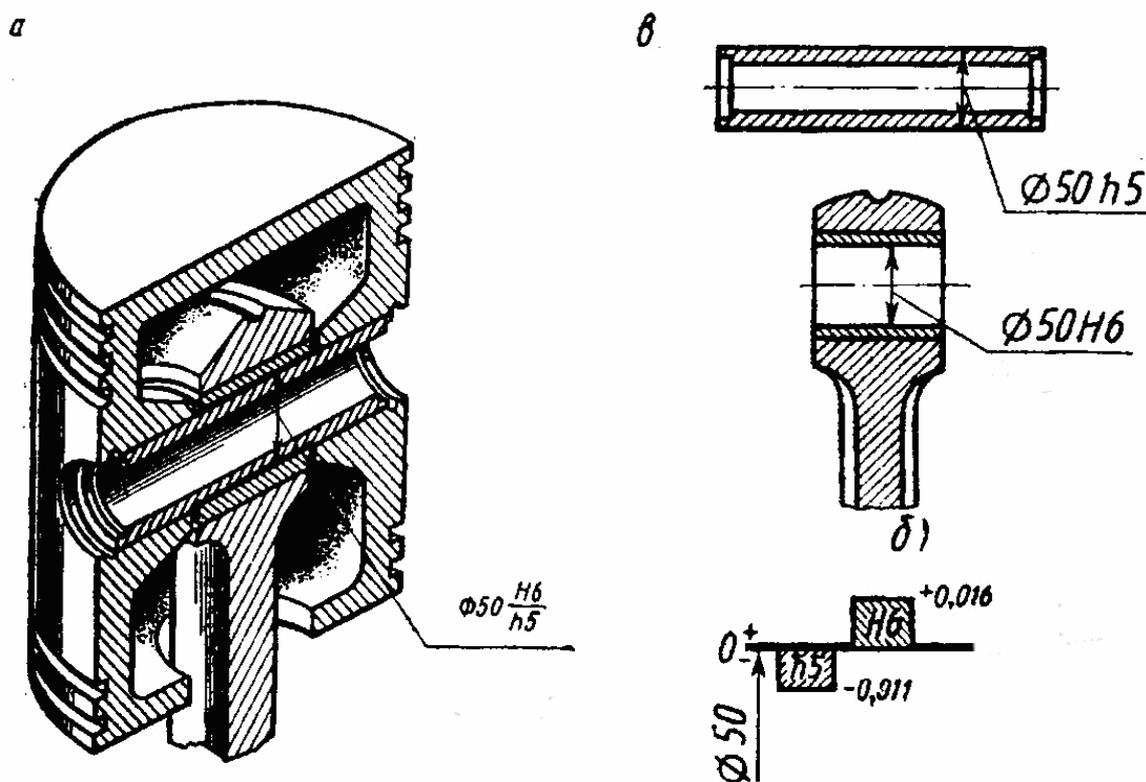


Рис. 2.34. Посадка с зазором:
 а – сборочная единица; б – детали соединения;
 в – графическое изображение посадки

3. Порядок выполнения работы

1. Студентам выдается сборочная единица (поршень-шатун).
2. Разобрать сборочную единицу на составные детали (поршень, шатун, поршневой палец).

3. Провести измерения диаметра поршневого пальца, определить номинальный диаметр.

4. Назначить посадки на соединение: втулка-головка шатуна; палец-поршень; палец-втулка шатуна и в какой системе (СО или СВ) выполняются эти посадки.

5. Начертить эскизы деталей сборочной единицы.

6. Проставить на них размеры и отклонения.

7. Графически изобразить посадки.

8. Показать выполненную работу преподавателю.

Вопросы для самоконтроля

1. Чем отличаются обозначения поля допусков отверстий и валов?

2. Что такое номинальный размер, действительный размер, чем они отличаются?

3. Что такое квалитет?

4. Какие виды посадок существуют по ГОСТ?

5. Приведите другие примеры посадок применительно к автомобилю?

6. Как расшифровать аббревиатуру ЕСДП?

Лабораторная работа №8 СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

1. Определение основных статистических характеристик

Данные, полученные в процессе измерений при контроле качества изделия, удобно представлять в виде статистических характеристик положения и рассеивания случайной величины. Важнейшей характеристикой положения на числовой оси (результатов измерения) считают её среднее арифметическое значение.

Среднее арифметическое значение результатов измерений является точечной оценкой математического ожидания статистического ряда. Его определяют по формуле

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad (2.1)$$

где x_i – результат измерения;

n – число измерений.

Для оценки рассеивания (однородность) наблюдаемых значений параметра качества при равноточных измерениях применяют несколько статистических характеристик. Простейшей из них является размах R , вычисляемой как разность между наибольшим x_{\max} и наименьшим x_{\min} значениями результата измерений в выборке

$$R = x_{\max} + x_{\min}. \quad (2.2)$$

Размах существенно зависит от случайных обстоятельств и может быть применен лишь в качестве приблизительной оценки рассеивания.

На практике более удачной характеристикой считают выборочное среднее квадратичное (СКО) σ , имеющее ту же размерность, что среднее арифметическое значение контролируемого показателя. СКО характеризует сходимость результатов (степень концентрации относительно центра).

При $n \leq 30$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}, \quad (2.3)$$

при $n > 30$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}}. \quad (2.4)$$

Отношение СКО к среднему арифметическому значению, выраженное в долях единицы или в процентах, называют коэффициентом вариации.

$$K_b = \frac{\sigma}{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\bar{x}} \cdot 100\%. \quad (2.5)$$

По величине K_b можно оценить однородность измеряемого параметра. В случае высокой однородности параметра результаты измерения имеют небольшой разброс и, как следствие, малое СКО и низкий коэффициент K_b .

Использование формул (2.3), (2.4), (2.5) возможно, если количество измерений достаточно велико ($n > 20$). При малом количестве измерений более точным является распределение Стьюдента. Распределение плотности вероятностей по этому закону зависит не только от случайной величины (доверительной вероятности P_d), но и от числа

измерений n . С учётом этого границы доверительного интервала для истинного значения параметра, определяемой по формуле

$$x_{л(пр)} = x \pm t_c \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{n}}, \quad (2.6)$$

где t_c – коэффициент Стьюдента, определяемый по табл. 2.6.

Т а б л и ц а 2 . 6

Значение коэффициента Стьюдента t_c для $n = 10$

Количество измерений n	Доверительная вероятность P_d			
	0,900	0,950	0,990	0,999
2	6,31	12,71	63,68	636,62
3	2,92	4,30	9,93	31,60
4	2,35	3,18	5,84	12,92
5	2,13	2,78	4,60	8,61
6	2,02	2,57	4,06	6,87
7	1,94	2,45	3,71	5,96
8	1,90	2,37	3,50	5,41
9	1,86	2,31	3,36	5,04
10	1,83	2,26	3,25	4,78

2. Методика и порядок расчета

1. Для удобства расчет ведут в табличной форме (табл. 2.7).

Т а б л и ц а 2 . 7

Расчет статистических характеристик выборки.

Номер измерения i	Результат измерения x_i	$x_i - \bar{x}$	$(x_i - \bar{x})^2$
1			
2			
...			
n			
Сумма	$\sum_1^n x_i$	$\sum_1^n (x_i - \bar{x})$	$\sum_1^n (x_i - \bar{x})^2$

2. Находят среднее арифметическое параметра по формуле (2.1).

3. Определяем СКО по формуле (2.3) или (2.4).

4. Для заданного значения доверительной вероятности P_d , определяется значение коэффициента t_c , в зависимости от количества измерений n по табл. 2.1.

5. По формуле (2.6) определяем границы доверительного интервала $x_{л}, x_{пр}$.

6. Строится графическое распределение результатов измерения (по аналогии с примером на рис. 2.35).

7. Результат измерений представляет вид $x = \left(\bar{x} \pm t_c \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \right)$.

8. Дается статистическая оценка результатов измерений при различных значениях x , n и P_d .

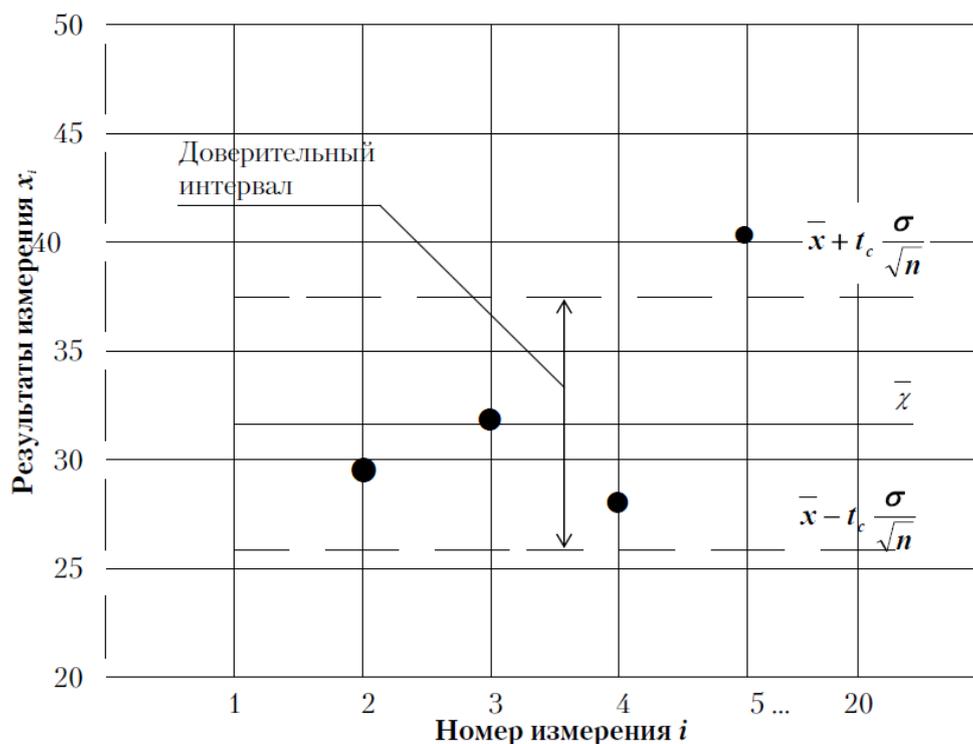


Рис. 2.35. Пример графика распределения результатов измерения

1. Задается 10 однотипных деталей.
2. Проводится измерение диаметра детали с помощью микрометрического инструмента.
3. Проводится расчет статистической характеристики выборки, состоящей из 10 измерений в соответствии с методикой изложенной в п. 2, для значений $P_d = 0,90; 0,95$.
4. Дается статистическая оценка результатов измерения.

Вопросы для самоконтроля

1. Что называется доверительным интервалом?
2. Какой вид имеет доверительный интервал на кривой нормального распределения?
3. По какой величине можно оценить однородность контролируемого параметра нормальным требованиям?
4. Что называется сходимостью измерения?
5. Что называется точностью измерения?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Воронин, Ю.В. Контроль измерительных приборов и специального инструмента [Текст] / Ю.В. Воронин, А.А. Рубцов. – М.: Машиностроение, 1981. – 200 с.
2. Допуски и посадки [Текст]: справочник: в 2-х ч. – 7-е изд., перераб. и доп. – Л.: Политехника, 1991.
3. Коротков, В.П. Основы метрологии и теории точности измерительных устройств [Текст] / В.П. Коротков, Б.А. Тайц. – М.: Изд-во стандартов, 1978. – 352 с.
4. Бурдун, Г.Д. Линейные и угловые измерения [Текст] / Г.Д. Бурдун, Г.С. Бирюков, М.Г. Богуславский [и др.]. – М.: Изд-во стандартов, 1977. – 512 с.
5. Марков, Н.Н. Погрешность и выбор средств при линейных измерениях [Текст] / Н.Н. Марков, Г.Б. Кайнер, П.А. Сацердотов. – М.: Машиностроение, 1967. – 392 с.
6. Марков, Н.Н. Конструкция, расчёт и эксплуатация измерительных инструментов и приборов [Текст] / Н.Н. Марков, Г.М. Ганевский. – М.: Машиностроение, 1981. – 367 с.
7. Гусев, К.И. Метрологическое обеспечение, взаимозаменяемость, стандартизация [Текст]: учеб. пособие для студентов машиностроительных специальностей вузов / К.И. Гусев, Р.В. Медведева, Е.П. Мышелов, Е.А. Яковлев. – М.: Машиностроение, 1992. – 384 с.
8. Метрология, стандартизация, сертификация [Текст]: Терминологический словарь-справочник / сост. И.П. Данилов, Л.П. Кураков. – М.: Изд-во стандартов, 1997. – 104 с.
9. Рекомендации по определению эффективности работ по стандартизации [Текст]: Приложение 1 к приказу Госстандарта России от 30.04.98 №270 «О проведении работ по определению эффективности деятельности в области стандартизации» // Вестник Госстандарта России. – 1998. – №8. – С. 21–24.
10. Тищенко, О.Ф. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения [Текст]: учебник для студентов приборостроительных специальностей вузов / О.Ф. Тищенко, А.С. Валединский. – М.: Машиностроение, 1977. – 357 с.
11. Точность и производственный контроль в машиностроении [Текст]: справочник / под общей ред. А.К. Кутая, Б.М. Сорочкина. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1983. – 368 с.

12. Фарзани, Н.Г. Технологические измерения и приборы [Текст] / Н.Г. Фарзани, Л.В. Илясов, А.Ю. Азим-Заде – М.: Высшая школа, 1989. – 456 с.
13. Хофман, Д. Техника измерений и обеспечение качества [Текст]: справочная книга. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 472 с.
14. Шишкин, И.Ф. Прикладная метрология [Текст]: учебник для вузов / И.Ф. Шишкин, В.Н. Яншин. – М.: РИЦ «Татьянин день», 1993. – 150 с.
15. Якушев, А.И. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения [Текст]: учебник для вузов / А.И. Якушев, Л.Н. Воронцов, Н.М. Федотов. – М.: Машиностроение, 1986. – 352 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИЗМЕРЕНИЙ.....	6
1.1. Сущность, цели и качество измерений.....	6
1.2. Классификация измерений	6
1.3. Международная система единиц.....	8
1.4. Шкала измерений, принципы и методы измерений	13
1.5. Средства измерений.....	16
1.6. Характеристики средств измерений.....	23
1.7. Выбор средств измерений.....	25
1.8. Правовая основа обеспечения единства измерений	26
1.9. Закономерности формирования результата измерения.....	31
2. ПРАКТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИЗМЕРЕНИЙ.....	62
Лабораторная работа №1. ШТАНГЕНИНСТРУМЕНТ	62
Лабораторная работа №2. МИКРОМЕТРИЧЕСКИЙ ИНСТРУМЕНТ.....	70
Лабораторная работа №3. ИНДИКАТОР ЧАСОВОГО ТИПА.....	79
Лабораторная работа №4. НУТРОМЕР ИНДИКАТОРНЫЙ	84
Лабораторная работа №5. ПРЕДЕЛЬНЫЕ КАЛИБРЫ	94
Лабораторная работа №6. ВЫБОР УНИВЕРСАЛЬНЫХ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЯ	100
Лабораторная работа №7. ВЫБОР ПОСАДОК В СИСТЕМЕ ОТВЕРСТИЯ И ВАЛА.....	105
Лабораторная работа №8. СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ.....	110
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	114

Учебное издание

Москвин Роман Николаевич
Салмин Владимир Васильевич
Белякова Елена Александровна

МЕТРОЛОГИЯ, СТАНДАРТИЗАЦИЯ И СЕРТИФИКАЦИЯ.
ОСНОВЫ ИЗМЕРЕНИЙ
Учебное пособие

Редактор В.С. Кулакова
Верстка Т.А. Лильп

Подписано в печать 10.05.13. Формат 60×84/16.
Бумага офисная «Снегурочка». Печать на ризографе.
Усл.печ.л. 6,74. Уч.-изд.л. 7,25. Тираж 80 экз.
Заказ № 118.



Издательство ПГУАС.
440028, г. Пенза, ул. Германа Титова, 28.