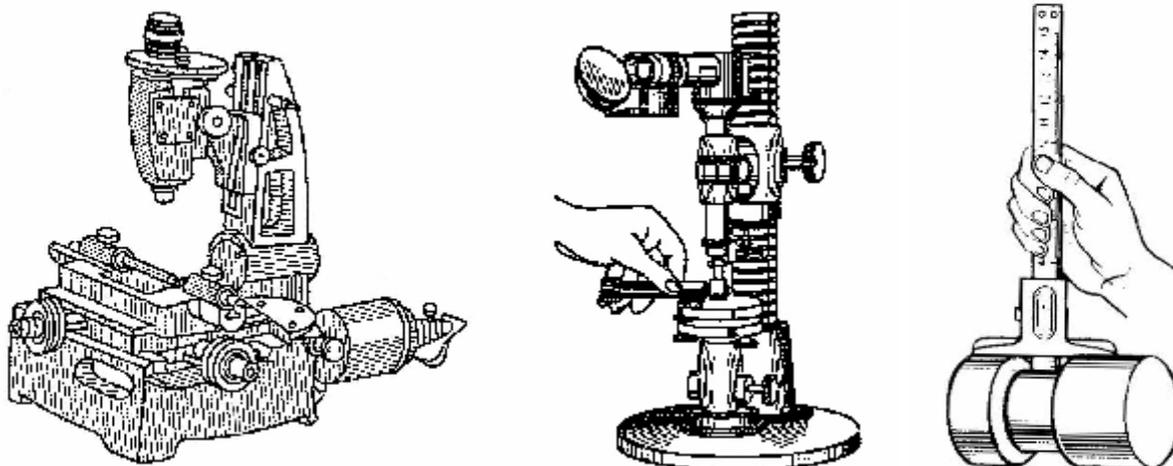


МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к лабораторным работам для студентов специальностей 1- 36 01 01
«Технология машиностроения» и 1- 36 01 03 «Технологическое обо-
рудование машиностроительного производства» в двух частях

Часть 1



Витебск
2007

УДК 531.717.088.006

Метрологическое обеспечение качества : методические указания к лабораторным работам для студентов специальностей 1-36 01 01 «Технология машиностроения» и 1-36 01 03 «Технологическое оборудование машиностроительного производства» в двух частях. Часть 1

Витебск: Министерство образования Республики Беларусь, УО «ВГТУ», 2007 год

Составители: к.т.н., проф. Махаринский Е.И., асс. Беляков Н.В.

Изложены общие положения и методика проведения метрологической экспертизы технической документации (чертежей деталей, сборочных единиц, карт технологических процессов механической обработки заготовок). Приведена классификация средств измерения и контроля геометрических величин в зависимости от принципа их действия и вида величины, а также методика выбора и использования средств измерения и контроля линейных размеров в машиностроении.

Указания предназначены для студентов специальностей 1-36 01 01 «Технология машиностроения» и 1-36 01 03 «Технологическое оборудование машиностроительного производства».

Одобрено кафедрой «Технология и оборудование машиностроительного производства» УО «ВГТУ»

_____ 2007 г. Протокол № _____

Рецензент к.т.н., доц. Угольников А.А.

Редактор к.т.н., доц. Ольшанский А.И.

Рекомендовано к опубликованию редакционно-издательским советом УО «ВГТУ»

_____ 2007 г. Протокол № _____

Ответственный за выпуск Герасимова О.С.

Учреждение образования «Витебский государственный технологический университет»

| | | | | | |
|------------------------|-------|--------|------------|---------------|------------|
| Подписано к печати | _____ | Формат | _____ | Уч.-изд. лист | _____ |
| Печать ризографическая | _____ | Тираж | _____ экз. | Заказ № | _____ |
| | | | | Цена | _____ руб. |

Отпечатано на ризографе

Учреждения образования «Витебский государственный технологический университет»

Лицензия №02330/0133005 от 1 апреля 2004г.

210035 Республика Беларусь, г. Витебск, Московский пр., 72

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|--|-----------|
| 1. Лабораторная работа №1. Метрологическая экспертиза чертежей деталей и технологических процессов механической обработки..... | 4 |
| 1.1. Общие положения..... | 4 |
| 1.2. Проведение метрологической экспертизы и оформление ее результатов.... | 5 |
| 1.3. Основные задачи МЭ..... | 6 |
| 1.4. Метрологическая экспертиза чертежей деталей..... | 7 |
| 1.5. Метрологическая экспертиза сборочных чертежей..... | 13 |
| 1.6. Метрологическая экспертиза технологической документации..... | 15 |
| 1.7. Пример проведения МЭ чертежа детали «Шпиндель»..... | 18 |
| Вопросы для самоконтроля..... | 21 |
| 2. Лабораторная работа №2. Выбор средств измерения и контроля линейных размеров в машиностроении..... | 22 |
| 2.1. Классификация средств и методов измерения и контроля геометрических величин в зависимости от их вида и принципа действия..... | 22 |
| 2.2. Средства измерения и контроля линейных размеров..... | 24 |
| 2.2.1. Плоскопараллельные концевые меры длины..... | 24 |
| 2.2.2. Меры длины штриховые. Щупы..... | 27 |
| 2.2.3. Контроль калибрами..... | 29 |
| 2.2.4. Штангенинструмент и микрометрические инструменты..... | 34 |
| 2.2.5. Средства измерения и контроля с механическим преобразованием..... | 38 |
| 2.2.6. Средства измерения и контроля с оптическим и оптико-механическим преобразованием..... | 44 |
| 2.2.7. Средства измерения и контроля с пневматическим преобразованием, электрические, электромеханические и радиоактивные измерительные приборы... | 51 |
| 2.3. Выбор средств измерений линейных величин..... | 54 |
| 2.3.1. Общие положения..... | 54 |
| 2.3.2. Порядок выбора средств измерения..... | 60 |
| Вопросы для самоконтроля..... | 64 |
| Литература..... | 66 |
| Приложения..... | 67 |
| Приложение 1. Предельные погрешности измерения наружных линейных размеров, биений и глубин универсальными измерительными средствами..... | 67 |
| Приложение 2. Предельные погрешности измерения внутренних линейных размеров универсальными измерительными средствами..... | 83 |
| Приложение 3. Измерение наружных размеров станковыми средствами измерения..... | 86 |
| Приложение 4. Измерение наружных размеров накладными средствами измерения..... | 89 |
| Приложение 5 Измерение внутренних размеров..... | 91 |
| Приложение 6. Измерение глубин и уступов универсальными измерительными средствами..... | 93 |
| Приложение 7. Измерение радиального и торцевого биения поверхностей..... | 95 |

1. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1

Метрологическая экспертиза чертежей деталей и технологических процессов механической обработки

Цель работы– приобретение навыков проведения метрологической экспертизы чертежей деталей.

Задачи студента:

ознакомиться с общими положениями проведения метрологической экспертизы технической документации, проведения метрологической экспертизы чертежей деталей, сборочных единиц, а также технологических процессов механической обработки заготовок;

согласно заданию провести метрологическую экспертизу чертежа детали; оформить отчет.

1.1. Общие положения

Измерения пронизывают все этапы проектирования, изготовления, испытаний и контроля любого промышленного изделия. Так, основу качественного проектирования изделия составляют стандартные справочные данные о свойствах применяемых материалов, результаты испытаний опытных образцов изделий, данные об эксплуатационных свойствах изделий аналогичного значения и другая измерительная информация.

Значительную роль в совершенствовании метрологического обеспечения разработки и производства продукции играет метрологическая экспертиза (МЭ) проектов изделий, конструкторской, технологической и нормативной документации, разрабатываемой в отрасли и на предприятиях и содержащей сведения о измеряемых (контролируемых) параметрах, нормах точности, методах, средствах, условиях и процедурах подготовки и проведения измерений, обработки и представления результатов измерений, а также показателях точности измерений.

Метрологическая экспертиза технической документации в соответствии с определением, данным в МИ 1326-86, – это анализ и оценка технических решений по выбору параметров, подлежащих измерению, установлению норм точности измерений и обеспечению методами и средствами измерений процессов разработки, изготовления, испытания и применения продукции. Исходя из этого определения, можно заключить, что содержание работ по МЭ концентрируется на трех взаимосвязанных направлениях: 1) выборе номенклатуры (оптимальной) измеряемых (контролируемых) параметров и регламентации требований к их точности; 2) установлении технически и экономически обоснованных норм точности измерений (предельно допускаемых погрешностей); 3) подготовке и проведении измерений такими методами и средствами измерений и в таких условиях, которые гарантируют, что фактическая погрешность получения результата не выходит за границы предельно допускаемой погрешности.

Основные положения и задачи МЭ установлены в МИ 1325—86 «ГСИ.

Метрологическая экспертиза конструкторской и технологической документации. Основные положения и задачи», на основании которых составляются отраслевые документы, устанавливающие правила проведения МЭ в отрасли. В отраслевых документах должны быть установлены конкретные виды технических документов, подвергаемые МЭ, подразделения, проводящие экспертизу, продолжительность МЭ, порядок представления документации на МЭ и другие организационные и методические вопросы.

Рекомендуемый перечень конструкторских и технологических документов, подвергаемых МЭ, приведен в МИ 1325-86. К таким документам относятся текстовые конструкторские документы (ТУ, пояснительные записки, программы и методики испытаний, расчеты, эксплуатационные и ремонтные документы), чертежи (сборочные, монтажные, габаритные, чертежи деталей), а также различные виды технологических документов (маршрутная и операционная карта, карта эскизов, технологические инструкции и регламенты и другие документы).

1.2. Проведение метрологической экспертизы и оформление ее результатов

МЭ может проводиться метрологическими службами предприятий (организаций). Это одна из их функций, регламентированная ГОСТ 1.25–76. Кроме этого, экспертиза может проводиться конструкторскими, технологическими и другими подразделениями, разрабатывающими документацию, а также службами стандартизации под методическим руководством метрологов и экспертными комиссиями. На практике встречаются различные варианты организации этой работы. При большом объеме документации метрологи-эксперты могут специализироваться по видам документации или по видам измерений. Такая форма проведения МЭ позволяет накапливать и обрабатывать данные о технических решениях и их метрологическом обеспечении как при разработке, производстве и испытаниях, так и в процессе эксплуатации продукции; об аттестованных методиках выполнения измерений, испытаний и т.п. и способствует повышению авторитета метрологической службы.

Метрологическая экспертиза может проводиться специалистами подразделений-разработчиков документации. Уполномоченные по проведению МЭ проходят специальное обучение, назначаются приказом по предприятию, их деятельность регламентируется стандартами предприятий или инструкциями. В этом случае отдел главного метролога осуществляет методическое руководство (планирование МЭ, консультации, разработка необходимых нормативно-технических и методических материалов), а также периодическую проверку качества проведения МЭ путем повторной проверки документов. Отдел главного метролога может проводить экспертизу наиболее ответственных видов документов (ТЗ, документации на СИ и т.п.).

Конструкторская и технологическая документация предъявляется на МЭ комплектно, в подлинниках (с представленных документов снимаются копии), прошедших все проверки и согласования, предшествующие нормоконтролю. На некоторых предприятиях для облегчения учета внесенных замечаний и предложений метрологическую экспертизу вновь разработанной документации

проводят в два этапа: проверка оригиналов (или даже черновиков) с составлением перечня замечаний и предложений и проверка подлинников с визированием документации.

Пометки карандашом, сделанные экспертом (ответственным за проведение МЭ) при проверке документации, сохраняются до визирования подлинников для вновь разработанной документации или до оформления извещений об изменении для действующей документации.

Регистрацию документов, представляемых на метрологическую экспертизу, а также замечаний и предложений, возникших при ее проведении, рекомендуется вести в специальном журнале по форме, установленной в отраслевых НТД. Замечания и предложения желательно оформлять в двух экземплярах: один для эксперта, другой — для разработчика документации.

Документация, прошедшая МЭ без замечаний, а также скорректированная по результатам МЭ, визируется: на поле для подшивки первого или заглавного листа основного конструкторского документа, на титульном листе технологического документа, под подписями разработчиков отчетов по НИР и ОКР и нормативных документов, в графе основных подписей комплекта документов.

В стандарте или другом НТД предприятия следует предусмотреть, что техническая документация, подлежащая МЭ, предъявляется на нормоконтроль только при наличии визы лица, ее проводившего.

Экспертное заключение оформляется по результатам МЭ документации, поступившей от других организаций и предприятий, а также если МЭ проводилась экспертной комиссией, когда требуется оформление изменений технической документации или разработка мероприятий по повышению эффективности метрологического обеспечения.

1.3. Основные задачи МЭ

К числу основных задач МЭ технической документации (МЭТД) в соответствии с МИ 1325-86 относятся:

определение оптимальности номенклатуры измеряемых параметров при контроле с целью обеспечения эффективности и достоверности контроля качества и взаимозаменяемости;

оценка обеспечения конструкцией изделия возможности контроля необходимых параметров в процессе изготовления, испытания, эксплуатации и ремонта изделий (контролепригодности конструкций);

установление соответствия показателей точности измерений требованиям эффективности и достоверности контроля и взаимозаменяемости;

установление соответствия показателей точности измерений требованиям обеспечения оптимальных режимов технологических процессов;

установление полноты и правильности требований к средствам измерений (в том числе нестандартизованным) и методикам выполнения измерений;

оценка правильности выбора средств измерений (в том числе нестандартизованных) и методик выполнения измерений;

выявление возможности преимущественного применения унифицированных, автоматизированных средств измерений, обеспечивающих получение за-

данной точности измерений и необходимой производительности;

оценка обеспечения применяемыми средствами измерений минимальных трудоемкости и себестоимости контрольных операций при заданной точности;

установление преимущественного применения стандартизованных или наличия аттестованных методик выполнения измерений;

оценка соответствия производительности средств измерений производительности технологического оборудования;

определение целесообразности обработки на ЭВМ результатов измерений, наличия стандартных или специальных программ обработки и соответствия требованиям, предъявляемым к обработке результатов измерений (округление, разрядность и т. п.), а также к формам представления результатов измерений, контроля и испытаний;

установление правильности наименований и обозначений физических величин и их единиц;

установление правильности указаний по организации и проведению измерений для обеспечения безопасности труда.

Реализация результатов метрологической экспертизы. На основе замечаний и предложений эксперта разработчики документации вносят в нее изменения в установленном порядке. При выявлении серьезных нарушений составляется план мероприятий по реализации результатов МЭ, который подписывается руководителем разработки, согласовывается с главным метрологом и утверждается главным инженером.

При разногласиях эксперта и разработчика документации вопрос передается на рассмотрение главного метролога и руководителя подразделения, разработавшего документацию. Если и на этом уровне не достигается договоренность, вопрос передается на рассмотрение главного инженера (или его заместителя), который принимает окончательное решение. При этом разработчик документации должен аргументировать свою позицию.

В отдельных случаях, с разрешения главного инженера, можно не учитывать в течение некоторого времени замечания эксперта (например, когда немедленное устранение недостатка остановило бы производство или привело к неоправданным затратам). Однако при этом должно быть запланировано мероприятие, позволяющее через некоторое время устранить выявленный недостаток.

1.4. Метрологическая экспертиза чертежей деталей

МЭ рекомендуется подвергать сборочные, монтажные, габаритные чертежи, а также чертежи отдельных деталей.

Наиболее распространенными ошибками конструкторов являются:

невозможность контроля (неконтролепригодность) детали или изделия в связи с особенностями конструкции, неправильным указанием допусков. В отдельных случаях контроль возможен, но требует применения слишком сложных, дорогих СИ или разработки новых, нестандартизованных СИ;

неправильный выбор измерительных баз;

несоблюдение соотношений между допусками размера, формы, расположения поверхностей и требованиями к шероховатости поверхности.

Основные задачи МЭ чертежей детали – проверка наличия необходимых и достаточных для контроля размеров, предельных отклонений и других параметров и требований, а также оценка их контролепригодности.

В задачи эксперта-метролога не входит проверка правильности условных обозначений на чертеже, но знать требования государственных стандартов, регламентирующих соответствующие правила, эксперт-метролог обязан (например, требования ГОСТ 2.308-79, устанавливающие правила указания допусков формы и расположения поверхностей).

МЭ чертежа детали целесообразно проводить в следующей последовательности.

1. При наличии на чертеже текстовой записи норм точности проверяют правильность терминологии. Особое внимание следует уделять проверке правильности записи требований к допускам формы и расположения поверхности.

До сих пор встречается применение терминов "некруглость", "непараллельность", "нецилиндричность", несмотря на то, что ГОСТ 24642—81 узаконил термины "отклонение от круглости", "отклонение от параллельности", "отклонение от цилиндричности", "допуск круглости", "допуск цилиндричности" и т. д.

В отдельных случаях в технических требованиях чертежа встречаются не только терминологические, но и смысловые ошибки. Например, непараллельность поверхностей Б и В относительно поверхности Г не более 0,01 мм (рис. 1.1), или размер А (блока концевых мер длины) должен быть параллелен на всей длине детали в пределах 0,025 мм (рис. 1.2).

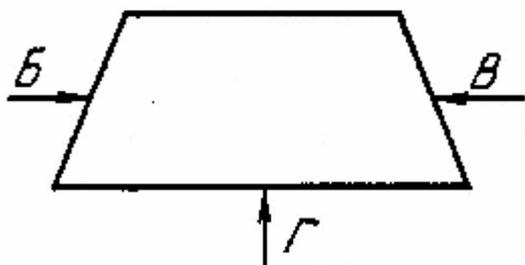


Рис. 1.1. Смысловая ошибка

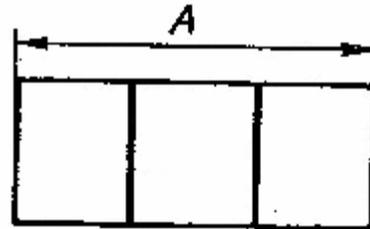


Рис. 1.2. Смысловая ошибка

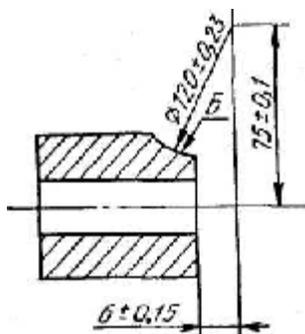
При обнаружении терминологических ошибок необходимо понять действительный смысл требований. В отдельных случаях до получения соответствующих разъяснений от разработчика проведение МЭ нецелесообразно.

2. Выявляют на чертеже размеры, ограниченные допусками, устанавливают необходимость и возможность их контроля с учетом выбора измерительных баз, а также контролепригодности конструкции.

Допуски на чертежах и рекомендуемые посадки должны соответствовать ГОСТ 25346-80 и ГОСТ 25347-82.

Под контролепригодностью принимают возможность осуществления контакта измерительных поверхностей СИ с контролируемой поверхностью и выполнения всех относительных перемещений средства и объекта измерений

(при контактных методах). При бесконтактных методах измерений — это возможность получения проекционного изображения заданного сечения контролируемой поверхности. Эксперт устанавливает те параметры, контроль которых при заданных нормах точности невозможен, затруднителен, требует привлечения операторов высокой квалификации, разработки новых, нестандартизованных СИ.



Например, контроль координат оси поверхности Б и ее радиуса (рис. 1.3), несмотря на свободные допуски, трудоёмок и требует применения универсального измерительного микроскопа или координатной измерительной машины и привлечения оператора высокой квалификации. В этом случае целесообразно обеспечить необходимую точность технологически.

При проведении МЭ чертежей эксперт "не выбирает СИ" для контроля того или иного параметра, но он обязан хорошо ориентироваться в вопросах выбора СИ, знать, какие СИ имеются на предприятии.

Таблица 1.1
Обозначения допусков формы и расположения поверхностей

| Группа допусков | Вид допуска | Знак |
|--|-------------------------------|------|
| Допуски формы | прямолинейности | — |
| | плоскостности | ▭ |
| | круглости | ○ |
| | цилиндричности | ∅ |
| | профиля продольного сечения | — |
| Допуски расположения | параллельности | ∥ |
| | перпендикулярности | ⊥ |
| | наклона | ∠ |
| | соосности | ◎ |
| | симметричности | ≡ |
| | позиционный | ⊕ |
| | пересечения осей | ⊗ |
| Суммарные допуски формы и расположения | радиального биения | ↗ |
| | торцового биения | |
| | биения в заданном направлении | |
| | полного радиального биения | ↘ |
| | полного торцового биения | |
| | формы заданного профиля | ⌒ |
| | формы заданной поверхности | D |

При решении данного вопроса конструкторами и экспертами используются стандарты предприятий, регламентирующих выбор СИ. Если таких НТД не имеется, при выборе СИ следует руководствоваться ГОСТ 8.051-81 и РД 50-98-86.

3. Проверяют взаимную увязку допусков размера, формы, расположения и требований к шероховатости поверхностей. Правила нанесения размеров и предельных отклонений на чертежах установлены в ГОСТ 2.307—68, а необходимые обозначения допусков формы и расположения поверхностей обозначаются на чертеже знаком в соответствии с табл. 1.1. Допуски формы Тф и расположения делятся на две группы: ограничиваемые полем допуска на размер и не огра-

ничиваемые этим полем. Если допуски формы и расположения не указаны на чертеже, такие виды отклонений, как отклонения от плоскостности, цилиндричности, крутости, параллельности плоскостей, симметричности и другие, допускаются в пределах поля допуска размера. Контроль допусков геометрии, ограниченных полем допуска размера и не указанных на чертеже, не является обязательным. Однако соблюдение допуска размера должно контролироваться с учетом имеющихся отклонений формы и расположения. Необходимые условия, ограничивающие контроль, следует указывать на чертеже. Если эти условия не соблюдаются, часть допуска формы и расположения остается неконтролируемой. Например, при длине проходных калибров, меньшей, чем длина соединения, остается неконтролируемым допуск прямолинейности оси на длине соединения.

В тех случаях, когда наибольшие значения допусков формы и расположения, ограниченных полем допуска размера, не обеспечивают служебного назначения деталей, рекомендуется ввести ограничение этих допусков. Такое ограничение бывает необходимым для улучшения технических и эксплуатационных показателей (точность и плавность хода, уровень шума, точность центрирования сопряжений, их прочность, герметичность и пр.). При этом допуск геометрии, в зависимости от относительной геометрической точности, выбранной с учетом служебного назначения детали, может составлять от 25 до 60 % допуска размера.

В соответствии с ГОСТ 24643-81 рекомендуются следующие уровни относительной геометрической точности: А – нормальная ($T_f/T_r \cdot 100 \% = 60 \%$); В – повышенная ($T_f/T_r \cdot 100 \% = 40 \%$); С – высокая ($T_f/T_r \cdot 100 \% = 25 \%$), где T_f — допуск формы; T_r – допуск размера.

Если для допусков геометрии используется менее 25 % от допуска размера, относительная геометрическая точность — особо высокая. Например, при изготовлении установочных колец для выборочного контроля колец подшипников на оптиметре используется соотношение $T_f/T_r=5-7 \%$.

Допуски формы цилиндрических поверхностей, соответствующие уровням А, В, С относительной геометрической точности, составляют примерно 30; 20 или 12 % допуска размера, так как допуск формы ограничивает отклонение радиуса цилиндрической поверхности, а допуск размера — отклонение диаметра.

Выбор допусков формы и расположения, не ограничиваемых полем допуска размера (допуск перпендикулярности, соосности, симметричности, допуск радиального и торцового биения), также целесообразно увязать с допуском размера.

Проверку взаимной увязки допусков формы и расположения поверхностей эксперту следует осуществлять, когда:

одни допуски включают в себя полностью или частично другие виды допусков (например, отклонение от круглости ограничивается допуском цилиндричности);

различные виды допусков, независимых один от другого, оказывают совместное воздействие на одни и те же показатели качества изделий.

Если какое-либо отклонение формы или расположения устанавливается

Таблица 1.2

Наибольшие допускаемые значения параметров шероховатости для различных уровней относительной геометрической точности

| Допуск размера по квалитетам | Относительная геометрическая точность | Номинальные размеры, мм | | | |
|------------------------------|---------------------------------------|---------------------------|--------------|---------------|---------|
| | | до 18 | св. 18 до 50 | св. 50 до 120 | св. 120 |
| | | Значение Ra, мкм не более | | | |
| IT3 | * | 0,2 | 0,4 | 0,4 | 0,8 |
| | A | 0,1 | 0,2 | 0,2 | 0,4 |
| | B | 0,05 | 0,1 | 0,1 | 0,2 |
| IT4 | * | 0,4 | 0,8 | 0,8 | 1,6 |
| | A | 0,2 | 0,4 | 0,4 | 0,8 |
| | B | 0,1 | 0,2 | 0,2 | 0,4 |
| IT5 | * | 0,4 | 0,8 | 1,6 | 1,6 |
| | A | 0,2 | 0,4 | 0,8 | 0,8 |
| | B | 0,1 | 0,2 | 0,4 | 0,4 |
| IT6 | * | 0,8 | 1,6 | 1,6 | 3,2 |
| | A | 0,4 | 0,8 | 0,8 | 1,6 |
| | B | 0,2 | 0,4 | 0,4 | 0,8 |
| IT7 | * | 1,6 | 3,2 | 3,2 | 3,2 |
| | A | 0,8 | 1,6 | 1,6 | 3,2 |
| | B | 0,4 | 0,8 | 0,8 | 1,6 |
| IT8 | * | 1,6 | 3,2 | 3,2 | 3,2 |
| | A | 0,8 | 1,6 | 3,2 | 3,2 |
| | B | 0,4 | 0,8 | 1,6 | 1,6 |
| IT9 | * | 3,2 | 3,2 | 6,3 | 6,3 |
| | A | 3,2 | 3,2 | 6,3 | 6,3 |
| | B | 1,6 | 3,2 | 3,2 | 6,3 |
| | C | 0,8 | 1,6 | 1,6 | 3,2 |
| IT10 | * | 3,2 | 6,3 | 6,3 | 6,3 |
| | A | 3,2 | 6,3 | 6,3 | 6,3 |
| | B | 1,6 | 3,2 | 3,2 | 6,3 |
| | C | 0,8 | 1,6 | 1,6 | 3,2 |
| IT11 | * | 6,3 | 6,3 | 12,5 | 12,5 |
| | A | 6,3 | 6,3 | 12,5 | 12,5 |
| | B | 3,2 | 3,2 | 6,3 | 6,3 |
| | C | 1,6 | 1,6 | 3,2 | 3,2 |
| IT12 | * | 12,5 | 12,5 | 25 | 25 |
| | A | 12,5 | 12,5 | 25 | 25 |
| IT13 | * | 6,3 | 6,3 | 12,5 | 12,5 |
| | B | 6,3 | 6,3 | 12,5 | 12,5 |
| IT14 | * | 12,5 | 25 | 50 | 50 |
| | A | 12,5 | 25 | 50 | 50 |
| | B | 12,5 | 12,5 | 25 | 25 |

Примечание. Знак "*" означает случаи, когда допуски формы не указаны на чертеже. При этом для квалитетов от 3 до 8 значения Ra с учетом достижимой шероховатости при тех методах обработки, которые обеспечивают получение соответствующих квалитетов.

несколькими условиями, его следует ограничивать наименьшей из всех ограничивающих величин. Например, отклонение от круглости ограничивается допусками размера, цилиндричности, радиального биения. Если все эти виды допусков заданы, отклонение от круглости должно быть ограничено наименьшим из них.

Если для одних и тех же поверхностей назначаются допуски расположения и формы, рекомендуется, чтобы допуски формы не превышали допусков расположения (например, для цилиндрических поверхностей допуск цилиндричности, а для коротких поверхностей допуск круглости не должны превышать допусков соосности, симметричности, позиционного допуска).

Проверка взаимной увязки допусков и требований к шероховатости поверхности. Шероховатость поверхности нормируется и контролируется отдельно от допусков размеров, формы и расположения поверхностей. Однако шероховатость поверхности в процессе сборки и эксплуатации изделия может привести к дополнительным отклонениям размера и формы за счет износа микронеровностей при трении или в результате их смятия и сглаживания при запрессовке и под действием нагрузок. Поэтому для каждого допуска размера и формы можно установить наиболее грубый предел допускаемых значений шероховатости.

Наибольшие допускаемые значения параметров шероховатости для различных уровней относительной геометрической точности приведены в табл. 1.2.

При заданных допусках биения Тб (радиального, торцового и в заданном направлении, а также полного радиального, полного торцового) значения параметров Ra и Rz рекомендуется ограничивать исходя из условий: $Ra \leq 0,1Tб$; $Rz \leq 0,4Tб$.

4. Поверяют правильность простановки размеров (замкнутые контуры на графах размерных связей) и допусков взаимного расположения (однозначность и достаточность, т.е. поля допусков не должны дублировать друг друга) [9].

5. Проверяют возможность контроля допусков взаимного расположения. При проведении контроля допусков взаимного расположения отклонения формы базовых поверхностей являются составляющими погрешности контроля. К поверхности, выбранной в качестве измерительной базы, должны быть, как правило, предъявлены более высокие точностные требования. Ее длина должна быть по возможности наиболее протяженной.

Неправильный выбор базовых поверхностей – одна из наиболее распространенных ошибок конструкторов, выявляемых при проведении МЭ. Например, при контроле радиального биения $\varnothing 20 (\pm 0,007)$ не ограничена форма базовой поверхности А (рис. 1.4). При установке детали на призмах погрешность измерения только за счет отклонения от круглости базы А может достигать значения: $(0,085 - 0,025)/2 = 30$ мкм, т. е. оказаться равной допуску радиального биения. При этом эксперт может поставить вопрос о необходимом расширении допуска или об изменении способа его задания. Например, независимый допуск соосности отверстий (рис. 1.5) может быть заменен на зависимый (если не предъявляются никакие другие требования, кроме собираемости деталей). Контроль зависимого допуска значительно быстрее и проще, в данном случае может быть применен калибр.

Зависимый допуск расположения или формы (допуск соосности, симметричности, позиционный) - переменный допуск, минимальное значение которого указывается на чертеже и которое допускается превышать на значение, соответствующее отклонению действительного размера рассматриваемого и (или) базового элемента от наибольшего предельного размера вала или наименьшего предельного размера отверстия. Примерами назначения зависимых допусков могут быть сравнительно грубые допуски (свыше 0,04 мм) на перекос шпоночного паза и оси вала (отверстия), отклонение от соосности относительно базового отверстия (шейки) смежного соосного отверстия (шейки) отклонение от соосности относительно общей оси двух соосных отверстий, если они не являются посадочными для подшипников.

В частном случае размер зависимого допуска $T_{зав}$ может быть равен нулю (отклонения расположения допускаются только за счет недоиспользованных полей допусков размеров (рис. 1.6). Если диаметры равны соответственно 80 и 55 мм, то $T_{зав} = 0$. В том случае, если огги равны 79,88 и 54,88 мм, $T_{зав}$ может достигать 0,24 мм ($T_{зав} = 0 + 0,24 = 0,24$ мм). Поскольку отклонения расположения в большинстве случаев не выявляются при контроле размеров и контроли-

руются либо универсальными СИ, либо комплексными калибрами, зависимые допуски, равные нулю, должны обязательно указываться на чертеже и не могут быть отнесены к числу неуказанных допусков.

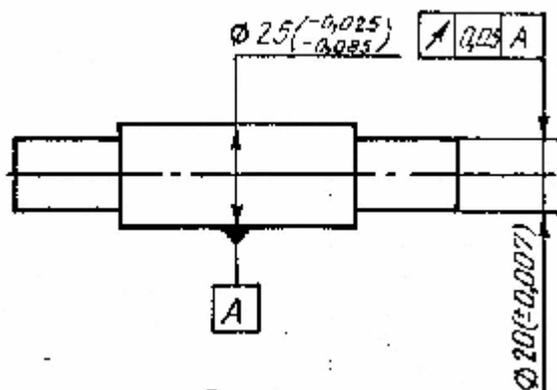


Рис. 1.4. Неверное задание допуска бие-

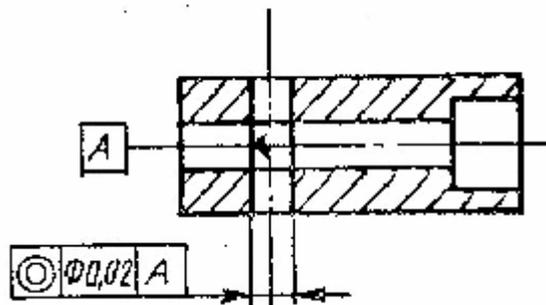


Рис. 1.5. Неверное задание допуска соосности

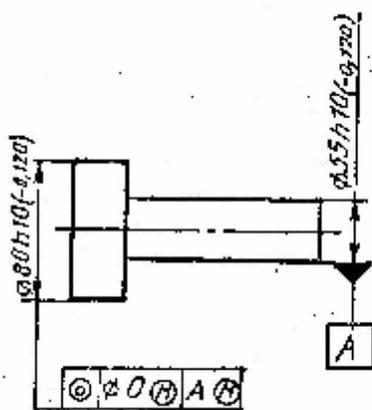


Рис. 1.6. Размер зависимого допуска

Независимый допуск расположения или формы – это допуск, числовое значение которого постоянно для всей совокупности деталей, изготавливаемых по данному чертежу, и не зависит от действительного размера рассматриваемого или базового элемента. Независимые допуски требуют более сложного контроля. Примеры назначения независимых допусков (сравнительно жестких, менее 0,04 мм) – отклонение от соосности относительно общей оси посадочных отверстий под подшипники или относительно базового посадочного отверстия смежного посадочного (под подшипник)

отверстия.

При оценке схем измерения для контроля того или иного допуска расположения целесообразно руководствоваться справочником [13].

1.5. Метрологическая экспертиза сборочных чертежей

Исходя из цели МЭ сборочных чертежей по обеспечению эффективности измерений при контроле взаимосвязанных размеров отдельных деталей, узлов, и сборочных единиц, решается основная задача МЭ сборочных чертежей, сформулированная в МИ 1325—86 — установление соответствия показателей точности измерений требованиям эффективности и достоверности контроля и взаимозаменяемости.

Процедуру проведения МЭ сборочных чертежей можно рекомендовать в следующей последовательности.

1. Устанавливают наличие полноты комплекта документации, в том числе

расчетов размерных цепей.

2. Устанавливают соответствие технических требований сборочного чертежа регламентированным в ТУ, а при необходимости это соответствие устанавливается по всем стадиям разработки вплоть до ТЗ.

Необходимость решения вопросов метрологического обеспечения изготавливаемого изделия (возможность и правильность выбора метода и средства измерений) на всех стадиях разработки, начиная от технического предложения до рабочей конструкторской документации, вытекает из требований ГОСТ 2.118-73 ЕСКД. "Техническое предложение", ГОСТ 2.119-73 ЕСКД. "Эскизный проект" и ГОСТ 2.120-73 ЕСКД. "Технический проект". Причем, начиная с эскизного проекта должна быть выявлена необходимость разработки новых средств измерений, составления технических требований, оформления заявок на их разработку и изготовление.

3. Рассматривают обоснование и оценивают оптимальность (необходимость и достаточность, а также полноту) номенклатуры размерных цепей и отдельно измеряемых параметров по всем ступеням подчиненности сборочного чертежа.

Эксперту необходимо иметь в виду, что обоснование и оценка оптимальности номенклатуры размерных цепей с учетом всех факторов "в их расчетах, влияющих на замыкающие звенья, как правило, увязывают с работами по технологическому контролю конструкторской документации, т. е. в соответствии с требованиями ГОСТ 14.206—73 "ЕСТПП. Технологический контроль конструкторской документации".

4. Определяют правильность наименований параметров, наличие и обоснование норм точности на параметры, норм точности измерений (испытаний) или требований к достоверности контроля (испытаний).

Особое внимание уделяется таким параметрам, как масса (в соответствии с ГОСТ 2.109—73 ЕСКД. "Основные требования к чертежам" должна указываться "фактическая масса — масса, определяемая измерением"), толщина и равномерность покрытий, отклонений формы и расположения поверхностей.

5. Проверяют правильность терминологии, наименований и обозначения единиц физических величин, записи числовых значений параметров.

При обнаружении терминологических ошибок уточняют (совместно с разработчиком) действительный смысл излагаемого термина.

6. Проверяют наличие указаний по обеспечению техники безопасности, промышленной санитарии и охране окружающей среды.

7. Проверяют увязку норм точности и технических требований сборочного чертежа с нормами точности чертежей различных ступеней подчиненности, учитывая все факторы, которые оказывают существенное влияние на нормы точности.

Проверяют также правильность проведения и оформления расчетов размерных цепей, при необходимости даются рекомендации по их корректировке, методам обеспечения норм точности и технических требований сборочного чертежа.

8. Устанавливают возможность контроля параметров с установленной нормой точности измерений.

При невозможности или затруднительности контроля выявляют (совместно с разработчиком) обоснованность установленных норм точности, возможность технологического обеспечения норм точности за счет высокой точности технологического процесса или контроля режимов технологического процесса.

9. Проверяют рациональность деления изделия на сборочные единицы и отдельные детали, обеспечивающие их контролепригодность.

10. Оценивают обеспечение максимальной степени совмещения технологических и измерительных баз с конструкторскими, т. е. обеспечение принципа единства баз.

В зависимости от выбора измерительных баз устанавливают правильность простановки размеров и их допусков, необходимость и достаточность простановки допусков формы и расположения поверхностей, а также требований к шероховатости поверхности.

11. Выявляют необходимость проведения специальных метрологических исследований.

12. Устанавливают обеспеченность средствами и методиками выполнения измерений, необходимость разработки нестандартизованных средств измерений и методик выполнения измерений (НСИ и МВИ).

Необходимость разработки НСИ и МВИ устанавливают в тех случаях, если она не установлена на стадии эскизного и технического проектов или на этих стадиях документация не разрабатывалась.

Возможность применения стандартизованных методов контроля проверяют при технологическом контроле конструкторской документации в соответствии с требованиями ГОСТ 14.206–73.

13. Оценивают экономическую эффективность средств и методов измерений, контроля и испытаний.

14. Устанавливают целесообразность использования средств вычислительной техники для обработки измерительной информации, наличие программ обработки.

1.6. Метрологическая экспертиза технологической документации

Основным при МЭ технологической документации является оценка возможности контроля содержащихся в документации норм точности, а также возможности реализации, достаточности и экономической целесообразности методик контроля.

МЭ могут подвергаться следующие виды технологических документов: маршрутная и операционная карты, карта эскизов, технологическая инструкция, карты технологического процесса, типового технологического процесса, типовой операции, технологический регламент.

В технологической документации:

1. Оценивают правильность формы записи контролируемых параметров. Как уже отмечалось, предпочтительной формой записи измеряемых параметров является указание их номинальных значений с допускаемыми отклонениями. В технологических документах нередко параметры указывают вообще без допусков (например, сверлить отверстие $d=2,5$ мм на глубину $l=3$ мм), или приводят

их в виде экстремальных значений. Указание параметров в форме "не более" или "не менее" нередко вызывает сомнение, а иногда является неправильным. Например, записано "...величина зазоров между подвижными элементами во всем диапазоне от 0° до 115° должна быть не менее 3 мм" (вероятнее всего, в данном случае имеет значение не только минимальное, но и максимальное значение зазора) или указано значение допустимого потребляемого тока ..." не более 1,2 А" (в данном случае необходимо указать допуск на параметр, так как нулевое значение потребляемого тока свидетельствует о неработоспособности блока, а снижение его до 0,5А — об отказе одного из подканалов блока).

2. Проверяют обеспеченность методами и средствами измерений всех установленных в данном документе контрольных операций (кроме параметров, обеспечиваемых технологически).

В тех случаях, когда нормируемые параметры не проверяются непосредственно и используются косвенные методы контроля, должны быть проверены наличие и правильность расчета, подтверждающего достаточность и достоверность этих методов.

При необходимости должны быть предусмотрены измерения опасных и вредных факторов, воздействующих на обслуживающий персонал и окружающую среду.

На стандартизованные методики приводят ссылки. Из нестандартизованных МВИ предпочтение следует отдавать аттестованным методикам, показатели точности измерений по которым найдены в результате исследований, выполненных при их метрологической аттестации.

3. Оценивают правильность выбранных методик выполнения измерений, т.е. возможность измерения нормируемых параметров с допускаемой погрешностью, с учетом наличия измерительных баз и доступа к контролируемым поверхностям.

Допускаемые погрешности измерений линейных размеров до 500 мм регламентирует ГОСТ 8.051—81. Нормы точности измерений больших размеров (более 500 мм), отклонений формы и расположения, параметров шероховатости поверхности, угловых и других величин должны быть регламентированы отраслевыми НТД.

Если допускаемая погрешность измерения не установлена, следует, оценив погрешность измерений, рассчитать вероятности ошибок контроля (для этого могут быть использованы формулы и графики ГОСТ 8.051-81). Если вероятность ошибок контроля приемлема, выбор МВИ можно считать правильным.

Погрешность измерений оценивают с учетом ее составляющих (погрешностей СИ, температурной погрешности, погрешности, обусловленной взаимодействием СИ и объекта измерения, погрешности, обусловленной отличиями свойств объекта от свойств приписываемой ему модели и других) для наиболее неблагоприятных из возможных реализаций свойств СИ, условий и процедуры измерений. Влиянием шероховатости поверхности на погрешность измерений можно пренебречь, если соотношения между параметрами шероховатости R_a и R_z , допуском размера T_r и допуском формы T_f не ниже рекомендованных табл. 1.2.

Если эти соотношения не выполняются, эксперт должен потребовать ужесточения требований к шероховатости поверхности.

При оценивании погрешности измерений следует также установить соответствуют ли условия измерения размера или отклонения (со съемом детали со станка или без съема). В противном случае ряд отклонений может остаться неконтролируемым.

При невозможности или затруднительности реализации предусмотренных методик измерений должна быть проверена обоснованность выбора контролируемых параметров и требуемой точности их измерений, рассмотрен вопрос о замене СИ на более точное, о совершенствовании метода и процедуры измерений или увеличении допускаемой погрешности измерения за счет введения производственного допуска.

Введение производственного допуска может привести к увеличению количества неправильно забракованных деталей, поэтому целесообразно, пользуясь ГОСТ 8.051—81, оценить возможное возрастание ложного брака. Если процент ложного брака оказывается недопустимо большим, должен быть рассмотрен вопрос о повышении точности технологического процесса. Если в технологическом процессе предусматривается использование контрольных автоматов, то следует проверить выполнение требований ГОСТ 8.051-81 в отношении ужесточения требований к погрешности измерения по сравнению с неавтоматизированными СИ. При наличии рекомендаций по выбору СИ (для линейных измерений такие рекомендации содержатся в РД 50—98-86) проверяют:

выполнение этих рекомендаций, соблюдение указанных в рекомендациях условий измерений (например, требований к температурному режиму);

существенность дополнительных погрешностей, зависящих от объекта измерения и не учтенных в рекомендациях.

4. Оценивают полноту и определенность описания операций контроля. Если процедура выполнения измерения достаточно проста и не требует никаких специальных указаний (например, необходимо измерить диаметр вала в любом сечении), достаточно указать только наименование и условное обозначение применяемого СИ. При необходимости должны быть приведены дополнительные указания по последовательности действий при выполнении измерений. В случаях косвенных измерений, следует проверить наличие и правильность приведенной формулы и расчета.

Если по характеру технологического документа (карта технологического процесса, операционная карта) не представляется возможность дать полное описание метода контроля, то на эту контрольную операцию должна быть составлена операционная карта технического контроля или технологическая инструкция.

Проверяя технологическую документацию, обращают внимание на наличие и достаточность требований к условиям измерений. В большинстве случаев требования к условиям измерений задают указанием номера участка (лаборатории, другого помещения, в котором выполняют измерения). Требования, отсутствующие в документации на участок, должны быть заданы непосредственно в технологической документации. Требования, общие для всех или нескольких

параметров, допускается выносить в общую часть.

Как правило, в документации должны указываться СИ, выпускаемые в данный момент промышленностью. Эксперт проверяет это, используя каталоги заводов-изготовителей, ограничительные перечни, действующие в пределах отрасли или предприятия. Рабочие условия применения СИ должны соответствовать условиям измерений.

Недопустимо указывать СИ, записывая "весы" или "штангель". Причем, штангенциркуль нередко предлагается не только там, где он не соответствует требованиям точности (измерение допусков порядка 0,1—0,2 мм), но и без учета особенностей конструкции применяемого изделия (например, размер губок штангенциркуля оказывается больше, чем ширина контролируемого паза; штангенциркулем предлагается измерять фаски и др.).

5 Проверяют соответствие производительности измерений производительности технологического оборудования (проверка проводится только при серийном или массовом производстве продукции). При недостаточной производительности метода контроля должны быть рассмотрены возможности применения выборочного статистического контроля, применения полуавтоматических или автоматических измерительных средств или применения параллельных контрольных операций с использованием предусмотренного в технической документации метода контроля.

6 Оценивают экономичность выбранного метода контроля, т. е. обеспечение минимальной трудоемкости контрольных операций при заданной точности. При выборе измерительных средств (для каждого значения допуска изделия и диапазона размеров) необходимо выбрать наиболее дешевое и простое в обращении СИ, при применении которого предъявляются минимальные требования к условиям измерения, требуется меньшая квалификация оператора.

Для изделий серийного и массового выпуска рассматривают целесообразность замены универсальных СИ на специализированные, а для изделий единичного и мелкосерийного производства — замены специализированных СИ на универсальные.

1.7. Пример проведения МЭ чертежа детали "Шпиндель" (рис. 1.7)

Метрологической экспертизе подлежит чертеж шпинделя, состоящего из ступенчатого вала и диска, приваренного к гладкому концу вала.

На чертеже имеются шесть ограниченных допусками размеров, три допуска взаимного расположения поверхностей, семь требований к шероховатости поверхностей. Текстовой записи норм точности нет. Отсутствуют также общие указания, ограничивающие предельные отклонения размеров с неуказанными допусками. Следовательно, можно сделать первое замечание: записать в технических требованиях чертежа предельные отклонения размеров с неуказанными допусками. Кроме того, во втором пункте технических требований указана марка стали 40Х, которая не применяется в сварных конструкциях.

При анализе необходимости и достаточности контролируемых параметров обнаруживаем, что не указана посадка на сопряжение диаметра ступицы вала и диаметра отверстия диска. При отсутствии допусков на эти диаметры невоз-

можно обеспечить собираемость узла, а также избежать перекоса между диском и валом и обеспечить при последующей обработке заданный допуск на взаимное расположение поверхностей.

Анализируя размер $20_{+0,08}^{+0,017}$, замечаем, что он указан с допусками, которые соответствуют прессовой посадке. Это обстоятельство должно быть выяснено у конструктора, и если на эту ступень при последующей сборке будет запрессована какая-либо деталь, должен быть указан допуск торцового биения между этим диаметром и торцом ступени $\varnothing 25_{-0,072}^{-0,02}$.

Замечаем также, что отсутствует канавка для выхода шлифовального круга на поверхности $\varnothing 20_{+0,08}^{+0,017}$. Отсутствует и канавка для выхода шлифовального круга на поверхности $\varnothing 25_{-0,072}^{-0,02}$, но так как на месте этой канавки находится сварочный шов, следует ограничить длину поверхности с заданным жестким допуском.

При рассмотрении требований к шероховатости поверхностей обнаруживаем, что на поверхности $\varnothing 40_{-0,072}^{-0,02}$ указаны два допуска шероховатости ($Ra = 1,25$ мкм и $Ra = 2,5$ мкм), следовательно, один из них необходимо убрать.

По табл. 1.2 проверяем приемлемость соотношений допусков размеров и требований к шероховатости поверхностей. Для нормальной геометрической точности это соотношение составляет $Ra < 0,05 JT$, где JT — допуск соответствующего размера. На 40 назначен допуск $JT = 16$ мкм: $0,05 \cdot 16 = 0,8$ мкм.

Ни один из указанных параметров шероховатости нельзя считать достаточным. Для данной поверхности можно выбрать шероховатость $Ra = 0,63$ мкм. Для этой же поверхности указан допуск радиального биения $T_b = 20$ мкм. $Ra \leq 0,1 T_b$ и $0,1 \cdot 20 = 2$ мкм.

Выбранный параметр шероховатости $Ra = 0,63$ мкм для поверхности $40_{-0,041}^{-0,025}$ удовлетворяет этому условию.

Проверяем соотношение $Rz \leq 0,4 T_b$ для торца диска с нормированным торцовым биением, допуск которого составляет $T_b = 50$ мкм.

Должно быть выдержано соотношение $Rz \leq 0,4 \cdot 50 \leq 20$ мкм, в то время как шероховатость этого торца, общая для чертежа $Rz = 40$ мкм.

Следовательно, требование к шероховатости этой поверхности заданное конструктором, недостаточно. Необходимо назначить $Rz = 20$ мкм.

Для $\varnothing 25_{-0,072}^{-0,02}$ $IT = 52$ мкм; $Ra = 1,25$ мкм и $0,05 \cdot 52 = 2,6$ мкм.

Назначенное требование к шероховатости можно считать достаточным.

Для $\varnothing 20_{+0,008}^{+0,017}$ $IT = 9$ мкм; $Ra = 1,25$ мкм и $0,05 \cdot 9 = 0,45$ мкм.

Требование к шероховатости недостаточно и должно составлять $0,32$ мкм.

Для боковых поверхностей шпоночного паза указана шероховатость $Rz = 20$ мкм. Допуск на ширину паза $IT = 30$ мкм.

Требование к шероховатости недостаточно и его необходимо ужесточить до $Ra = 1,25$ мкм; $Rz \leq 0,2 JT$; $Rz = 6$ мкм, откуда $Ra = 1,25$ мкм.

Рассмотрим требования к взаимному расположению поверхностей.

В качестве измерительной базы для контроля торцового и радиального биения выбрана база Б с допуском на диаметр $0,013$ мм. Проанализируем воз-

возможность контроля радиального биения поверхности $\varnothing 40_{-0,025}^{-0,041}$ и торцового биения плоскости диска.

Наиболее правильным является контроль биения при установке детали на призмах. При этом отклонение от цилиндричности поверхности базы Б окажет влияние на погрешность измерения радиального и торцового биения и проявится в перекосе детали, когда против одной из опор окажется выступ, а против другой – впадина. Так как отклонение от цилиндричности этой поверхности дополнительно не ограничено, оно допустимо в пределах всего поля допуска, т.е. в пределах кольцевой цилиндрической зоны шириной 6,5 мкм.

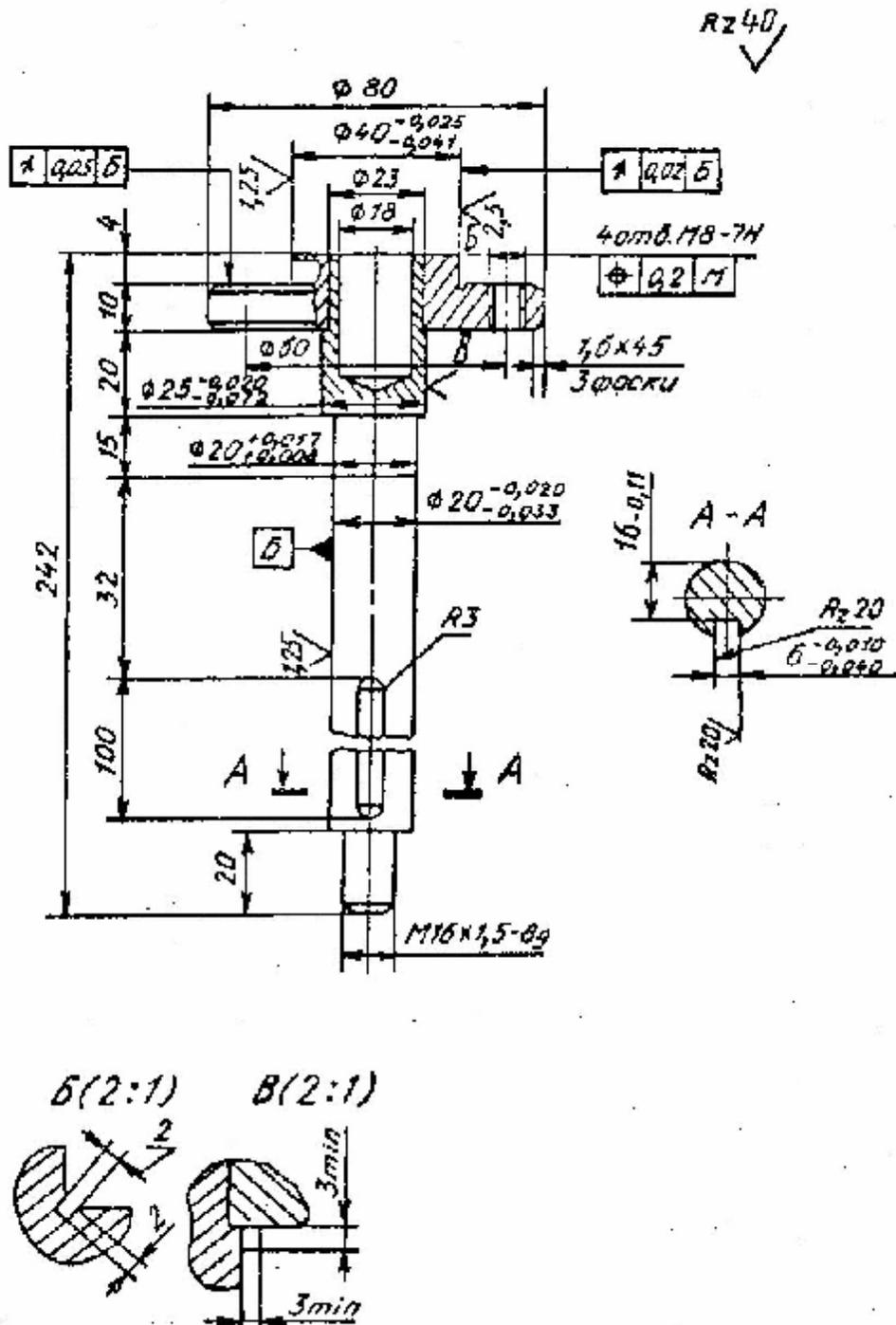


Рис. 1.7. Чертеж шпинделя:

1- 40-45 HRC₃; 2- допускается изготавливать из стали марок 30 ХГСА, 40Х по ГОСТ 1050-74; 3- сварка ручная дуговая (материалы для сварки – электроды

металлические по ГОСТ 3466-75); 4- покрытие химическое оксидное

Определим допускаемую погрешность при измерении биения. Ее принимаем равной 0,3 контролируемого допуска. Поскольку погрешность базирования является основной, но не единственной составляющей погрешности измерения, примем ее допускаемую погрешность равной 0,7 допускаемой погрешности измерения:

$$\delta_{\text{баз.рад}} = 0,7 \cdot 0,3 \cdot 0,02 = 0,0042 \text{ мм}; \quad \delta_{\text{баз.торц}} = 0,7 \cdot 0,3 \cdot 0,05 = 0,0105 \text{ мм}.$$

При контроле радиального биения погрешность базирования может достигать значения отклонения от цилиндричности, умноженного на отношение расстояния от наиболее удаленного базового сечения до контролируемого сечения (~220 мм) к расстоянию между опорами (~130 мм), $\delta_{\text{баз}} = 6,5 \cdot 220/130 = 11 \text{ мкм}$.

Погрешность базирования при контроле радиального биения может достигнуть значения, которое больше допускаемого. Для обеспечения необходимой точности контроля следует ввести допуск цилиндричности, равный $4,2 \cdot 130/220 = 2,5 \text{ мкм}$.

Проверим требование к шероховатости поверхности, которая должна удовлетворять условию $Ra \leq 0,025IT$; $Ra \leq 0,025 \cdot 13 \leq 0,325 \text{ мкм}$. Следовательно, установленный допуск шероховатости $Ra = 0,32 \text{ мкм}$ является достаточным.

При контроле торцового биения погрешность базирования может достигать значения отклонения от цилиндричности (2,5 мкм), умноженного на отношение радиуса, на котором контролируется биение (~76 мм), к расстоянию между опорами (~130 мм); $2,5 \cdot 76/130 = 1,5 \text{ мкм}$, т. е. погрешность базирования меньше допускаемой.

Влияние отклонения от цилиндричности базы Б на погрешность измерения торцового биения окажется незначительным.

При контроле правильности обозначения допусков расположения поверхностей отмечаем, что обозначение позиционного зависимого допуска не соответствует ГОСТ 2.308—79, т.е. размер $\varnothing 60$, определяющий номинальное расположение отверстий, не заключен в рамку и перед числовым значением допуска не стоит символ диаметрального или радиусного выражения.

При рассмотрении контролепригодности параметров устанавливаем, что контроль может быть выполнен универсальными измерительными средствами.

Вызывает сомнение лишь контроль размера 32, определяющего расположение шпоночного паза, который увязан с границей диаметров $\varnothing 20^{+0,017}_{+0,008}$ и $\varnothing 20^{-0,020}_{-0,033}$

При контроле расстояния шпоночного паза до этой границы ее трудно будет уловить. Кроме того, окончательная обработка этих диаметров будет производиться после нарезки шпоночного паза, поэтому лучше задать его расположение от торца вала.

Требования по однозначности задания допусков взаимного расположения соблюдаются.

Вопросы для самоконтроля

1. Дайте определение понятию «метрологическая экспертиза технической документации».

2. На каких направлениях концентрируется содержание работ по метрологической экспертизе?
3. Перечислите перечень конструкторских и технологических документов, подвергаемых метрологической экспертизе.
4. Кто может проводить метрологическую экспертизу?
5. В какой форме должна предъявляться конструкторская и технологическая документация на метрологическую экспертизу?
6. Перечислите основные задачи метрологической экспертизы технической документации.
7. Как реализуются результаты метрологической экспертизы?
8. Какие чертежи подвергаются МЭ?
9. Перечислите наиболее распространенные ошибки конструкторов с точки зрения метролога.
10. Каковы основные задачи МЭ чертежей деталей?
11. Какова последовательность МЭ чертежа детали?
12. Дайте определение понятию «контролепригодность».
13. Приведите примеры ошибок конструктора по выбору баз, выявляемых при проведении МЭ.
14. Какова последовательность проведения МЭ сборочных чертежей?
15. Какова последовательность проведения МЭ технологической документации?

2. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2

Выбор средств измерения и контроля линейных размеров в машиностроении

Цель работы – изучение классификации средств измерения и контроля геометрических величин в зависимости от принципа их действия и вида величины, а также приобретение навыков выбора и использования средств измерения и контроля линейных размеров.

Задачи студента:

- изучить классификацию средств и методов измерения и контроля геометрических величин в зависимости от принципа их действия и вида величины;
- освоить основы выбора средств измерения линейных размеров;
- для индивидуального задания (чертеж детали) выбрать возможные средства и методы измерения линейных размеров;
- на базе имеющегося оборудования получить навыки работы со средствами измерения и контроля линейных размеров;
- с помощью имеющихся в наличие СИ определить годность реальной детали по результатам измерения линейных величин;
- оформить отчет.

2.1. Классификация средств и методов измерения и контроля геометрических величин в зависимости от их вида и принципа действия

Средства измерений классифицируются по весьма разнообразным признакам, которые в большинстве случаев взаимно независимы и в каждом средства

измерений могут находиться почти в любых сочетаниях.

К числу этих признаков относятся: тип и вид контролируемых физических величин; назначение; число проверяемых параметров при одной установке объекта измерения; принцип действия; способ образования показаний; способ получения числового значения измеряемой величины; точность; условия применения; степень защищенности от внешних магнитных и электрических полей; прочность и устойчивость против механических воздействий и перегрузок; стабильность; чувствительность; пределы и диапазоны измерений; роль, выполняемая в системе обеспечения единства измерений; уровень автоматизации; уровень стандартизации; отношение к измеряемой физической величине.

Классификация средств измерения и контроля по типу контролируемых физических величин представлена на рис. 2.1, а на рис. 2.2 – общая схема классификации средств измерения и контроля по виду измеряемых геометрических величин

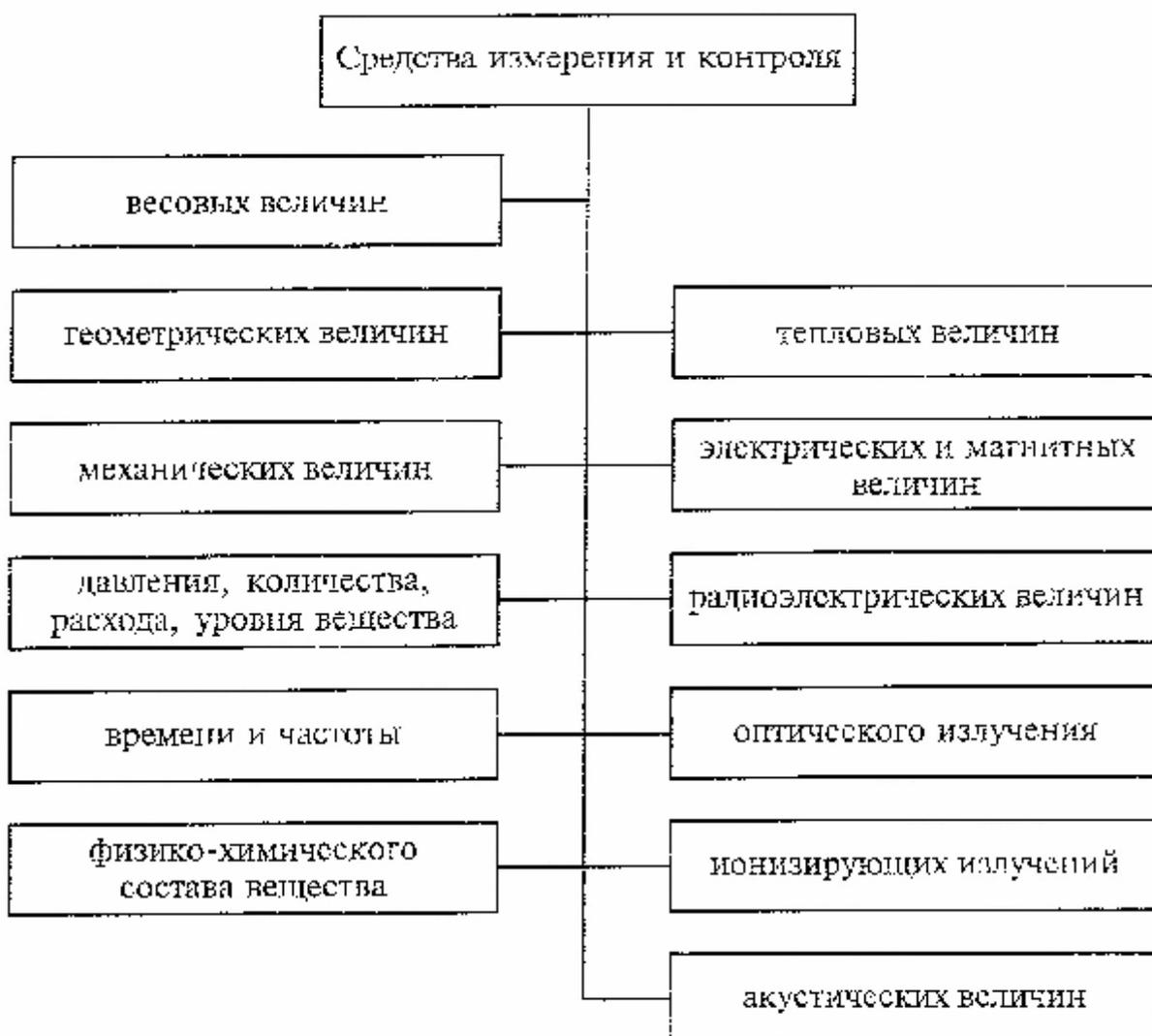


Рис. 2.1. Классификация средств измерения и контроля по типу контролируемых физических величин



Рис. 2.2. Классификация средств измерения и контроля по виду измеряемых геометрических величин

На рис. 2.3 приведена общая схема классификации универсальных измерительных инструментов и приборов, применяемых для измерения геометрических величин в машиностроении по принципу их действия.

К средствам измерения и контроля линейных размеров в машиностроении относят:

1) меры длины концевые плоскопараллельные; 2) меры длины штриховые; 3) щупы; 4) калибры; 5) штангенинструменты; 6) микрометрические инструменты; 7) рычажно-механические приборы (индикаторы часового типа, измерительные головки с рычажно-зубчатой передачей, головки высокой точности, нутромеры, микрометры рычажные и др.); 8) Оптико-механические и оптические приборы (оптиметры, длинномеры оптические, измерительные машины, измерительные микроскопы, проекционные приборы, катетометры, сферометры и др.); 9) пневматические, электромеханические, электрические и радиационные приборы.

2.2. Средства измерения и контроля линейных размеров

2.2.1. Плоскопараллельные концевые меры длины

Меры длины концевые плоскопараллельные (ГОСТ 9038–83) предназначены для передачи размеров от эталона до изделия. Это основное назначение концевых мер длины осуществляется путем применения их для хранения и передачи единицы длины, поверки и градуировки различных мер и средств измерений, поверки калибров, а также для определения размеров изделий и приспособлений, точных разметочных и координатно-расточных работ, наладки станков и инструментов и т.д.

В соответствии с ГОСТ 9038–83 концевые меры длины имеют форму прямоугольного параллелепипеда с двумя плоскими взаимно параллельными измерительными поверхностями (рис. 2.4, а).

За размер плоскопараллельной концевой меры длины принимается ее *срединная длина* l (рис. 2.4, б), которая определяется длиной перпендикуляра, проведенного из середины одной из измерительных поверхностей меры на противоположную измерительную поверхность. Значения сторон a и b в сечении мер определяются в зависимости от номинального размера срединной.

Номинальный размер срединной длины наносится на каждой мере.

Концевые меры изготавливаются следующих классов точности: 00; 01; 0; 1; 2; 3 – из стали; 00; 0; 1; 2 и 3 – из твердого сплава. (Класс 00 – самый точный.)

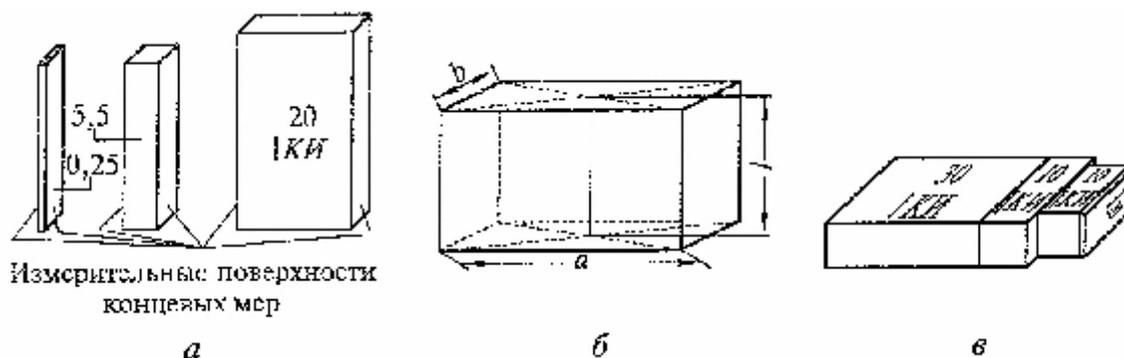


Рис. 2.4. Плоскопараллельные концевые меры длины

Концевые меры комплектуют в различные наборы по их числу и размерам номинальной длины. В наборах от № 1 до № 19 число мер составляет от 2 до 112. В специальных наборах: № 20 – 23 меры, № 21 – 20 мер, № 22 – 7 мер.

Номинальные размеры и градация размеров мер длины, а также комплектация их в наборы осуществляются таким образом, чтобы можно было из минимального числа мер составить блок любого размера до третьего десятичного знака. В соответствии с этим в наборах концевых мер принята следующая градация: 0,001; 0,01; 0,1; 0,5; 1; 10; 25; 50 и 100 мм. Номинальные значения длины мер колеблются от 1,005 до 100 мм. Так, набор из 112 концевых мер содержит: одну меру размером 1,005 мм; 51 меру от 1 до 1,5 мм через 0,01 мм; 5 мер от 1,6 до 2 мм через 0,1 мм; одну меру 0,5 мм; 46 мер от 2,5 до 25 мм через 0,5 мм и 8 мер от 30 до 100 мм через 10 мм.

Класс точности набора определяется низшим классом отдельной меры, входящей в набор. К каждому набору прилагается паспорт, в котором указываются номинальная длина каждой меры и отклонение.

В зависимости от погрешности измерения длины мер (от погрешности аттестации) и отклонения их от плоскостности и параллельности концевые меры разделяют на пять разрядов: 1, 2, 3, 4, 5 (для 1-го разряда определена наименьшая погрешность аттестации). Величины погрешностей приводятся в аттестате меры.

При использовании концевых мер, для которых установлен разряд, размер блока плиток определяют не только по номинальным значениям мер, но и учитывают действительные отклонения, приведенные в аттестате.

Одно из основных свойств концевых мер длины, обеспечивающее их широкое применение, – это *притираемость*, т. е. способность прочно сцепляться между собой при прикладывании или надвигании одной меры на другую (рис. 2.4, в). Сцепление (адгезия) мер вызывается молекулярными силами сцепления при наличии тончайшей пленки смазки между ними (0,05 ... 0,1 мкм). Усилие сдвига одной меры относительно другой в этом случае составляет не менее 30 ... 40 Н, а для новых концевых мер эта величина возрастает в 10 ... 20

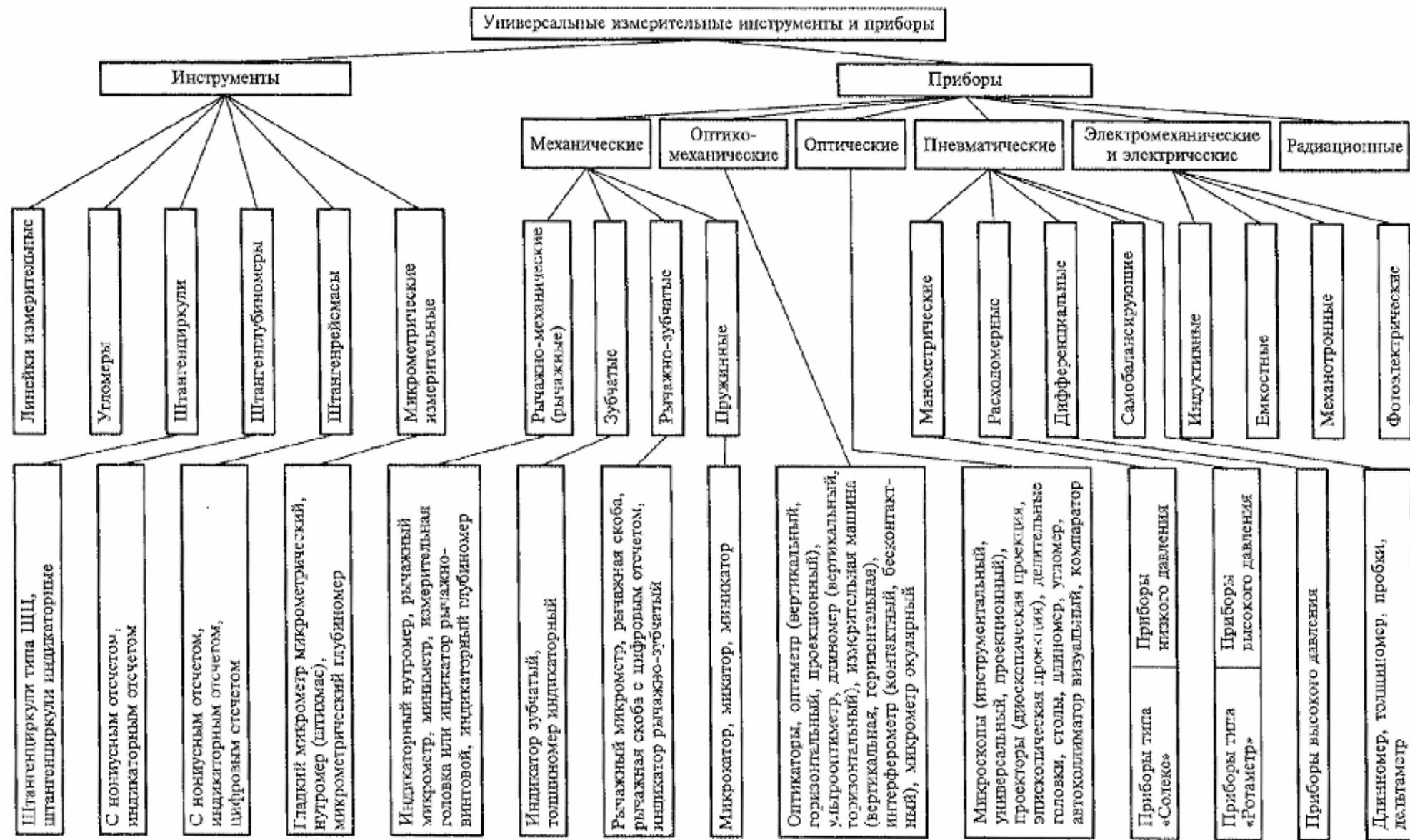


Рис. 2.3. Классификация универсальных измерительных инструментов и приборов

раз. Концевые меры из стали должны выдерживать 500 притираний при вероятности безотказной работы 0,8, а концевые меры из твердого сплава – 30 000 притираний при вероятности 0,9.

При составлении блока требуемого размера из концевых мер руководствуются следующим правилом. Блок заданного размера необходимо составлять из возможно меньшего числа мер. Вначале следует выбирать концевые меры, позволяющие получить тысячные доли миллиметра, затем сотые, десятые и, наконец, целые миллиметры. Например, для получения блока размером 28,495 мм необходимо из набора № 1 взять концевые меры в следующей последовательности: $1,005 + 1,49 + 8 + 20 = 28,495$ мм. Минимальное число концевых мер в блоке, с одной стороны, повысит точность блока (уменьшается суммарная погрешность размера блока), а с другой — повысит надежность блока от разрушения. Число концевых мер в блоке не должно превышать пяти штук.

Материалом, из которого изготавливают концевые меры длины, чаще всего бывает сталь с температурным коэффициентом расширения $(11,5 \pm 0,1) \cdot 10^{-6}$ мм на 1°C при изменениях температуры от 10 до 30 С. Это хромистые стали 20ХГ, ХГ, ШХ15, Х. Твердость измерительных поверхностей – не менее HRC 62. Иногда концевые меры изготавливают из твердого сплава ВК6М с температурным коэффициентом расширения $3,6 \cdot 10^{-6}$ мм на 1°C . Это позволяет повысить износостойкость концевых мер в 10... 40 раз по сравнению со стальными, однако из-за разности температурных коэффициентов твердого сплава и стали могут возникнуть значительные погрешности измерения.

Шероховатость измерительных поверхностей концевых мер длины для обеспечения хорошей притираемости и высокой износостойкости установлена в пределах не более 0,063 мкм по критерию R_z . Шероховатость нерабочих поверхностей – Ra 0,63 мкм.

Средний срок сохраняемости концевых мер из стали – не менее одного года, а из твердого сплава – не менее двух лет.

Благодаря свойству концевых мер притираться они являются универсальными и широко применяемыми средствами измерения и контроля. Область применения концевых мер еще более расширяется при использовании их совместно с принадлежностями.

Для измерения внутренних диаметров (рис. 2.5,а), наружных размеров, при разметке (рис. 2.5, б) и других работах концевые меры применяются совместно со специальными принадлежностями: боковиками (2.5, в); державками (струбцинами); основаниями; стяжками, предназначенными для скрепления блоков, размером более 100 мм; зажимными сухарями, служащими для крепления стяжками блоков концевых мер с боковиками (рис. 2.5, г).

Кроме перечисленных выше деталей в набор принадлежностей могут быть включены трехгранная линейка и плитки с рисками.

2.2.2. Меры длины штриховые. Щупы

К штриховым мерам относятся брусковые меры длины, измерительные линейки и рулетки. Брусковые штриховые меры применяются в качестве шкал приборов и станков, а также как образцовые меры длины при проверке рабочих мер

длины. Изготавливаются шести классов точности с номинальными размерами от 100 до 4000 мм.

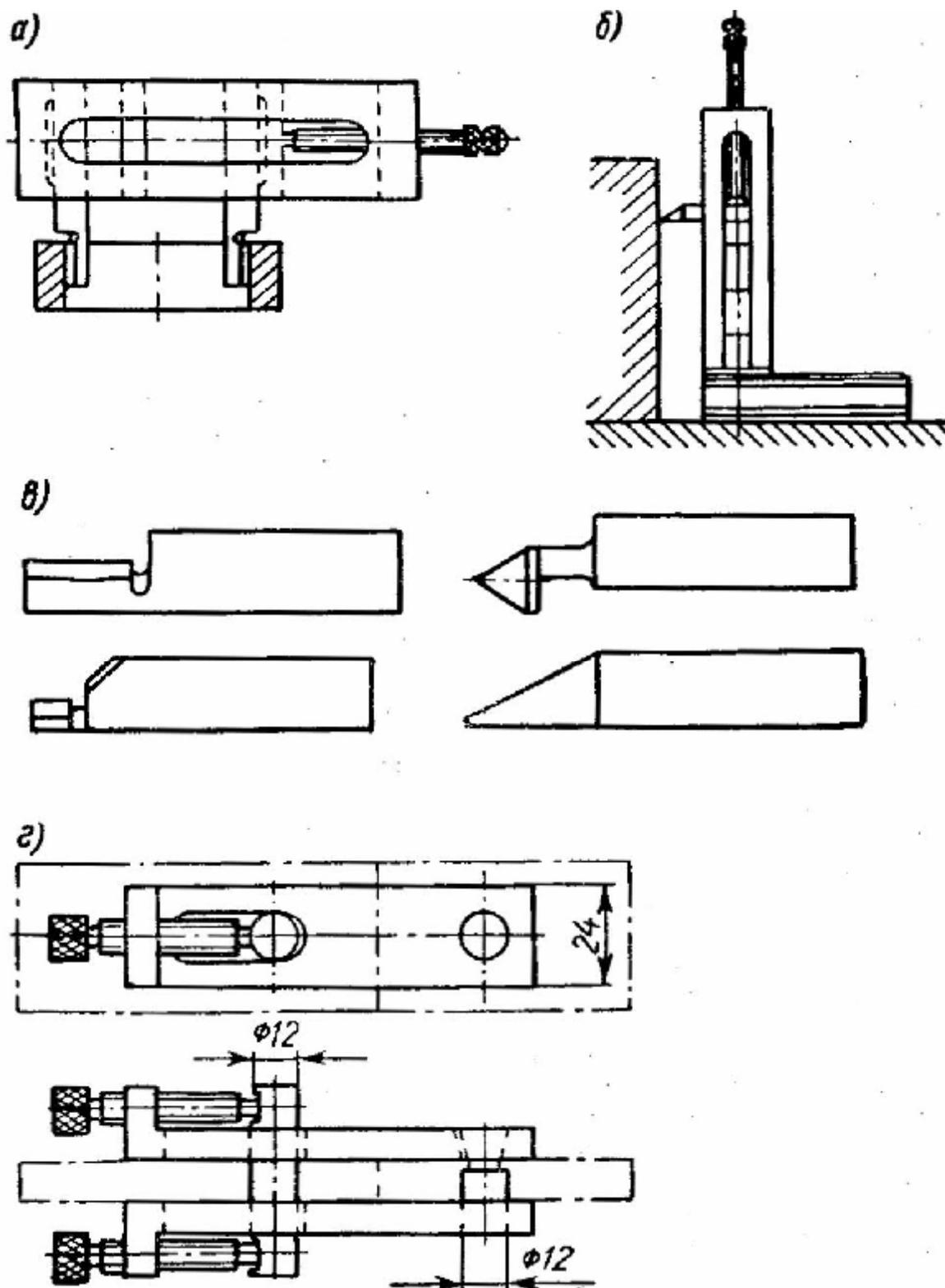


Рис. 2.5. Принадлежности для концевых мер

Измерительные линейки и рулетки относятся к штриховым мерам и предназначены для измерения размеров изделий 14... 17 квалитетов точности прямым методом. Конструкции линеек однотипны. Они представляют собой металличе-

скую полосу шириной 20...40 мм и толщиной 0,5...1,0мм, на широкой поверхности которой нанесены деления. Линейки изготавливаются с одной или двумя шкалами с верхними пределами измерений 150, 300, 500 и 1000 мм и ценой деления 0,5 или 1 мм. Линейки с ценой деления 1 мм могут иметь на длине 50 мм от начала шкалы полумиллиметровые деления.

Допускаемые отклонения действительной общей длины шкалы линейек от номинального значения находятся в пределах $\pm(0,10... 0,20)$ мм в зависимости от общей длины шкалы, а отдельных подразделений – не более $\pm (0,05...0,10)$ мм.

Поверку линейек, т. е. определение погрешности нанесения штрихов, производят по образцовым измерительным линейкам. Погрешность такого сравнения не превышает 0,01 мм.

Рулетки, предназначенные для измерений в машиностроении, подразделяются на рулетки в закрытом корпусе (тип РЗ) с длиной шкалы 2,5,10,20,30,50 м и ценой деления 1 или 10 мм, самосвертывающиеся (тип РС) и желобчатые (тип РЖ) с длиной шкалы 1 и 2 м при цене деления 1 мм

Щупы представляют собой пластины с параллельными измерительными плоскостями, предназначенные для проверки величин зазоров между поверхностями. Изготавливаются двух классов точности длиной 100 и 200 мм. Щупы длиной 100 мм поставляются отдельными пластинами и наборами, включающими различные номинальные размеры пластин

2.2.3. Контроль калибрами

Гладкие цилиндрические изделия. Калибры применяются для контроля размеров от 0,1 до 3150 мм изделий 1–11-го классов точности (размеры менее 0,1 мм и более 3150 мм и изделия классов точности 02—09 проверяются универсальными измерительными средствами).

По конструктивным признакам различают калибры нерегулируемые (жесткие), регулируемые, односторонние и двусторонние, скобы, полные и неполные пробки, нутромеры и др.

Конструкции калибров-пробок приведены на рис. 2.6: 1– двусторонние пробки с разрезными втулками и цилиндрическими вставками диаметром от 0,1 до 0,95 мм; 2– двусторонние пробки с цилиндрическими вставками диаметром от 0,3 до 6 мм; 3– проходные и непроходные пробки с цилиндрическими вставками диаметром от 0,3 до 6 мм; 4– двусторонние пробки со вставками (с коническим хвостовиком) диаметром св. 3 до 50 мм; 5– двусторонние с неполными непроходными вставками (с коническим хвостовиком) диаметром св. 6 до 50 мм (для контроля отверстий 1–3-го классов точности); 6– проходные и непроходные полные и неполные (для контроля отверстий 1–3-го классов точности) пробки со вставками (с коническим хвостовиком) диаметром св. 50 до 75 мм; 7– проходные и непроходные полные и неполные (для контроля отверстий 1–3-го классов точности) пробки с насадками диаметром св. 50 до 100 мм; 8– штампованные проходные и непроходные пробки с насадками диаметром св. 50 до 100 мм; 9– штампованные пробки проходные диаметром св. 100 до 160 мм и непроходные – св. 75 до 160 мм; 10 – неполные пробки проходные диаметром св. 100 до 300 мм, непроходные диаметром св. 75 до 300 мм; 11– неполные пробки

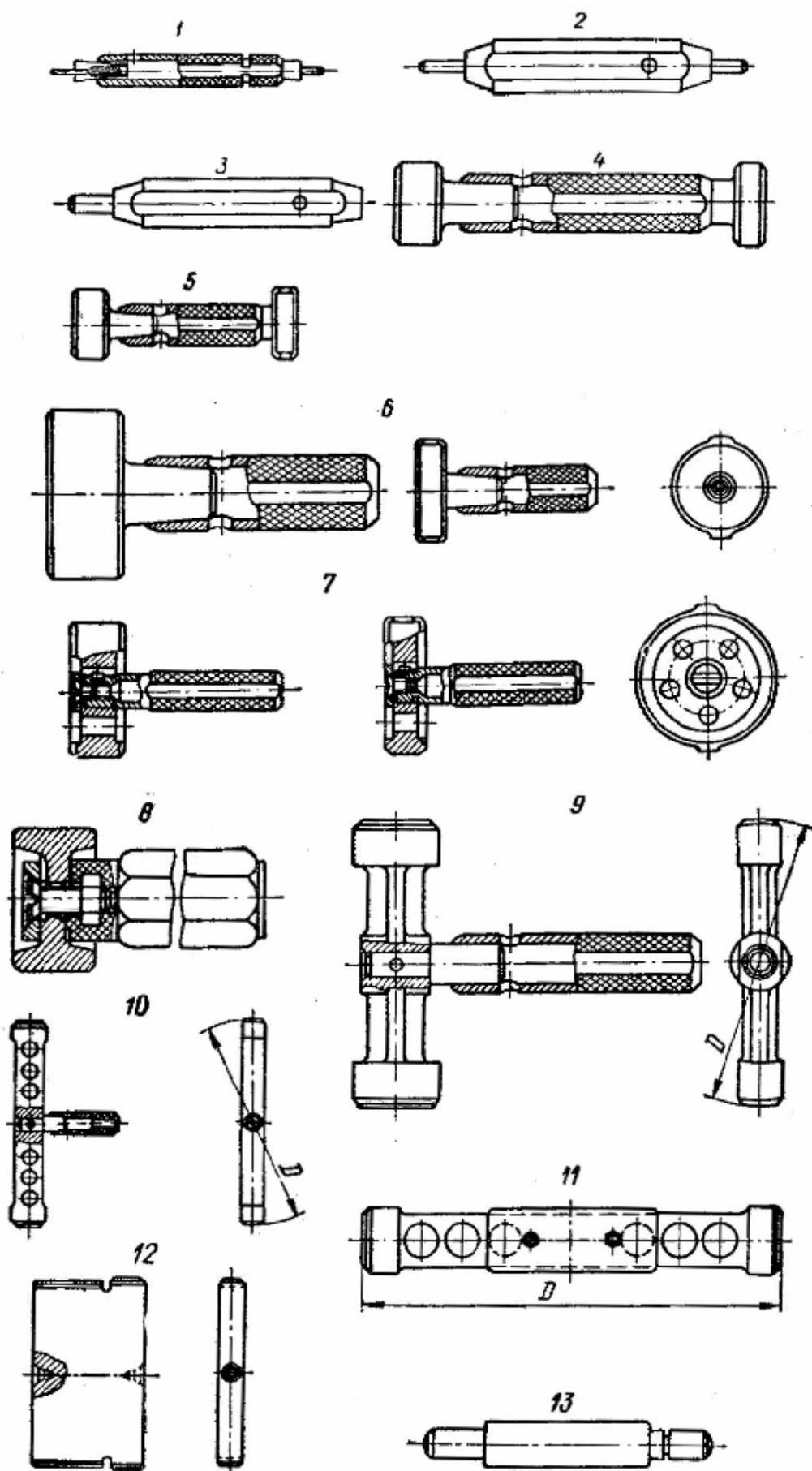


Рис. 2.6. Конструкция и типы калибров для контроля размеров внутренних цилиндрических поверхностей

проходные и непроходные с накладками диаметром св. 160 до 360 мм; 12– односторонние листовые пробки диаметром св. 50 до 250 мм (для контроля отверстий 3-го и более грубых классов точности); 13 — нутромеры непроходные сферические диаметром св. 100 до 360 мм.

Пробки, оснащенные твердым сплавом, предназначены для контроля отверстий 1–5-го классов точности. Конструкции калибров-скоб приведены на рис. 2.7: 1 – скобы составные односторонние и двусторонние для диаметров от 1 до 6 мм; 2– скобы листовые двусторонние для диаметров от 3 до 10 мм; 3 – скобы листовые односторонние для диаметров от 3 до 260 мм; 4 – скобы листовые односторонние со сменными губками для диаметров св. 100 до 360мм; 5 – скобы штампованные для диаметров св. 10 до 180мм; 6 – скобы листовые односторонние и двусторонние для длин св. 300 до 500мм; 8 – скобы регулируемые двухпредельные для диаметров до 340мм.

По назначению калибры делят на:

а) рабочие калибры (Р-ПР и Р-НЕ), применяемые для проверки размеров изделий рабочими и ОТК завода-изготовителя;

б) приемные калибры (П-ПР и П-НЕ)– для проверки размеров изделий представителями заказчика;

в) контрольные калибры (контркалибры, К-РП, К-П, К-НЕ, К-И)– для контроля размеров рабочих и приемных калибров или для установки регулируемых скоб.

Размеры глубин и высот уступов. При выборе допусков на размеры глубин и высот уступов необходимо использовать 4–9-й классы точности и лишь в случаях особой необходимости прибегать к более точным классам.

В условиях серийного и массового производства контроль этих размеров надлежит вести с помощью предельных калибров.

Основными методами контроля являются; «метод световой щели», или «на просвет»; методы «надвигания», «осязания», «по рискам».

От выбранного метода зависят и средства контроля, основные разновидности которых приведены на рис. 2.8. На рис. 2.8, а, б, в показаны предельные калибры, применяемые при контроле методом «световой щели», или «на просвет»; на рис. 2.8, г, д, е– калибры для контроля методом «надвигания»; на рис. 2.8, ж, з – калибры для контроля методом «осязания»; на рис. 2.8, и, к – для контроля «по рискам».

Предельные стороны калибров по рис. 2.8, а–е обозначаются буквами Б (большая) и М (меньшая) в отличие от обозначений ПР и НЕ, принятых для калибров пробок и скоб.

Каждая из сторон калибра (Б и М) должна иметь одну лезвиеподобную грань для уменьшения погрешностей контроля вследствие неровностей на обработанных поверхностях и плоскую грань, которая улучшает условия оценки величины просвета (рис. 2.8, а–в).

Кроме предельных рабочих калибров Б и М предусматриваются приемные калибры П-Б и П-М, предназначенные для проверки правильности размеров изделий представителями заказчика. При этом размеры калибров П-Б и П-М близки соответственно наибольшему и наименьшему предельным размерам

изделия.

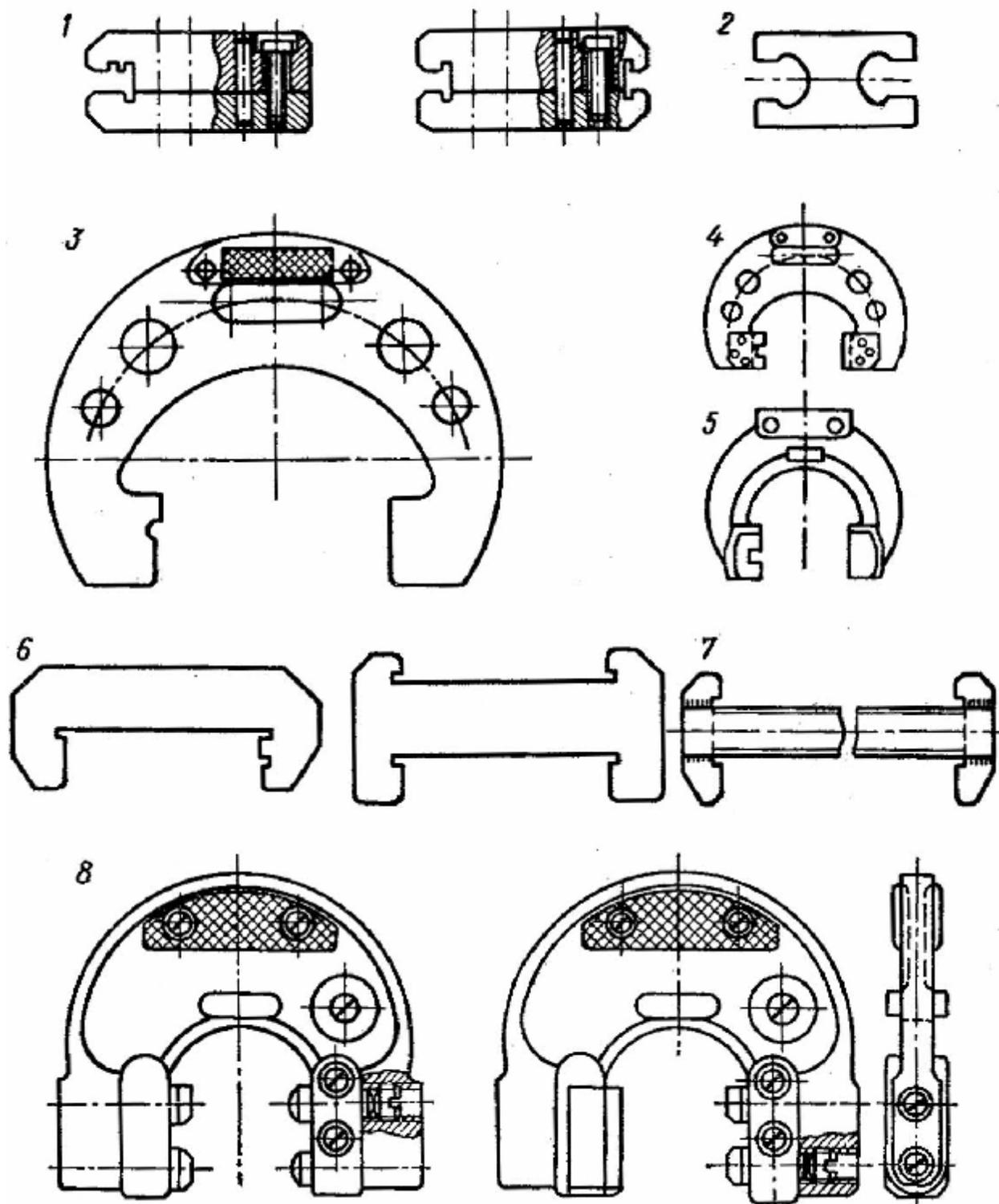


Рис. 2.7. Конструкция и типы калибров для контроля размеров наружных цилиндрических поверхностей

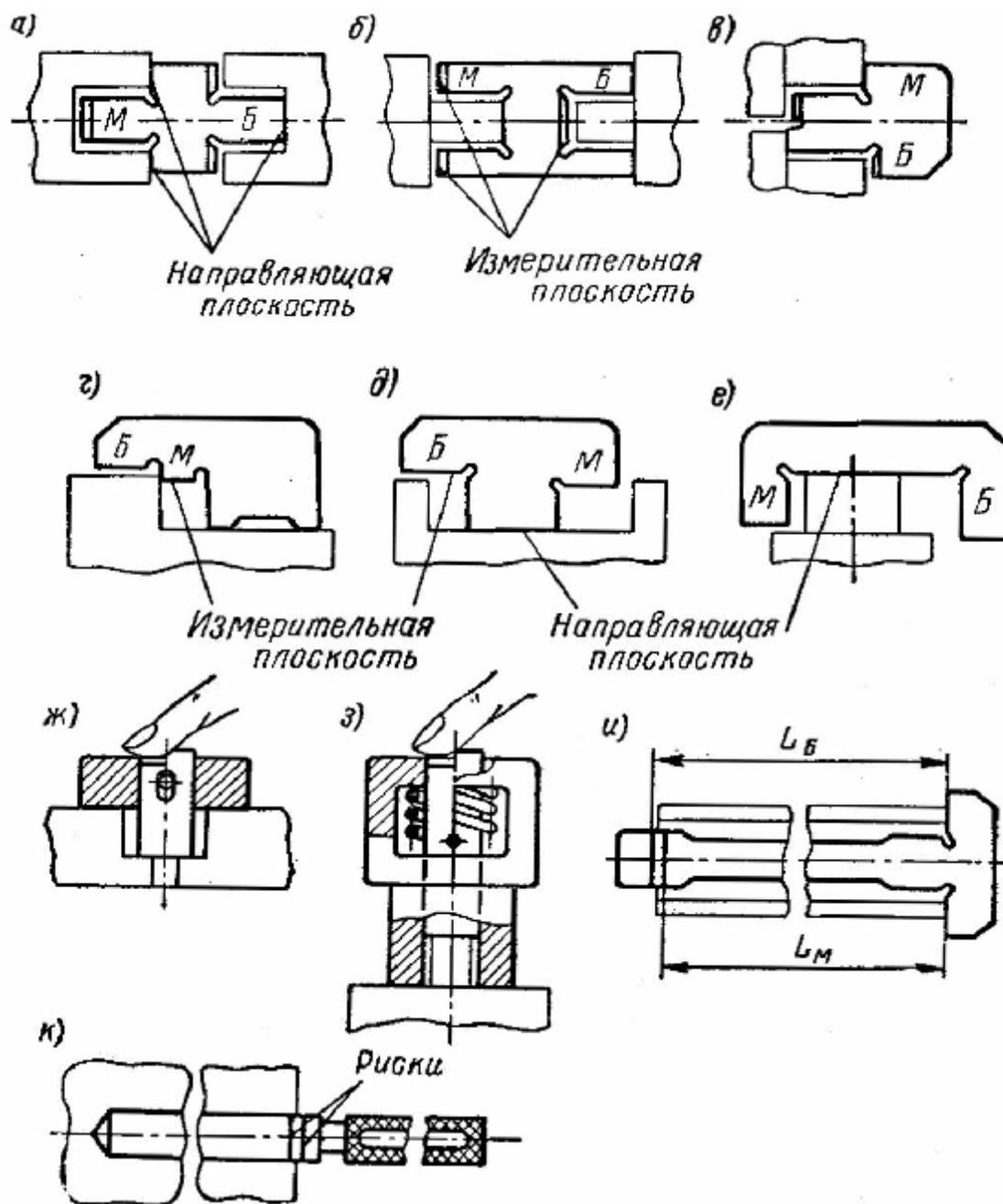


Рис. 2.8. Конструкция и типы калибров для контроля размеров глубин и высот уступов

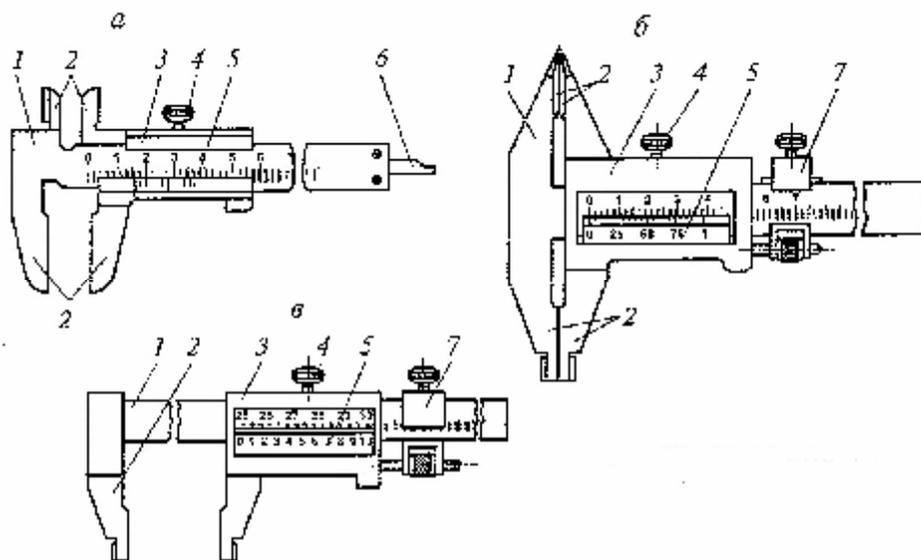
В тех случаях, когда контроль «на просвет» неприемлем, рекомендуется контроль методом «надвигания» с применением калибров (рис. 2.8, г, д, е) или ступенчато-стержневых (рис. 2.8, ж, в). При контроле размеров уступов плоских деталей, обработанных на соответствующих станках или слесарной обработкой, удобны калибры, изображенные на рис. 2.8, г, д, а при контроле уступов на точеных деталях – калибры, показанные на рис. 2.8, е, з. Калибры, изображенные на рис. 2.8, ж, к, удобны при контроле размеров глубин соответствующих деталей.

Калибрами по методу «световой щели» контролируются допуски не менее 0,04 мм у тонкошлифованных деталей и не менее 0,06 мм при более грубой об-

работке. Минимальные допуски изделий, контролируемых ступенчато-стержневыми калибрами, составляют 0,03 мм, контролируемых по «ощущению» — 0,01 мм и рисочными калибрами — порядка нескольких десятых миллиметра.

Расчет калибров приводится в специальной литературе [13].

2.2.4. Штангенинструмент и микрометрические инструменты



Штангенинструмент предназначен для абсолютных измерений линейных размеров наружных и внутренних поверхностей, а также для воспроизведения размеров при разметке деталей.

К нему относятся штангенциркули (рис. 2.9), штангенглубиномеры и штангенрейсмасы. Основными частями штангенинструментов являются штанга-

Рис. 2.9. Конструкция штангенциркулей:
а - типа ШЦ-I; *б* - типа ШЦ-II; *в* - типа ШЦ-III; 1 - штанга-линейка; 2 - измерительные губки; 3 - рамка; 4 - винт зажима рамки; 5 - нониус; 6 - линейка глубиномера;

линейка с делениями шкалы 1 мм и перемещающаяся по линейке шкала-нониус. По шкале-линейке отсчитывают целое число миллиметров, а по нониусу - десятые и сотые доли миллиметра.

Для отсчета с помощью нониуса сначала определяют по основной шкале целое число миллиметров перед нулевым делением нониуса. Затем добавляют к нему число долей по нониусу в соответствии с тем, какой штрих шкалы нониуса ближе к штриху основной шкалы.

Основные типы нониусов (I—IV) представлены на рис. 2.10.

Основными характеристиками нониуса являются величина отсчета по нониусу (цена деления нониуса) a и модуль нониуса y , которые определяются по следующим формулам:

$$a = i/n;$$

$$y = (1+i)/(ni),$$

где i — цена деления основной шкалы, мм; n — число делений нониуса; l — длина шкалы нониуса мм.

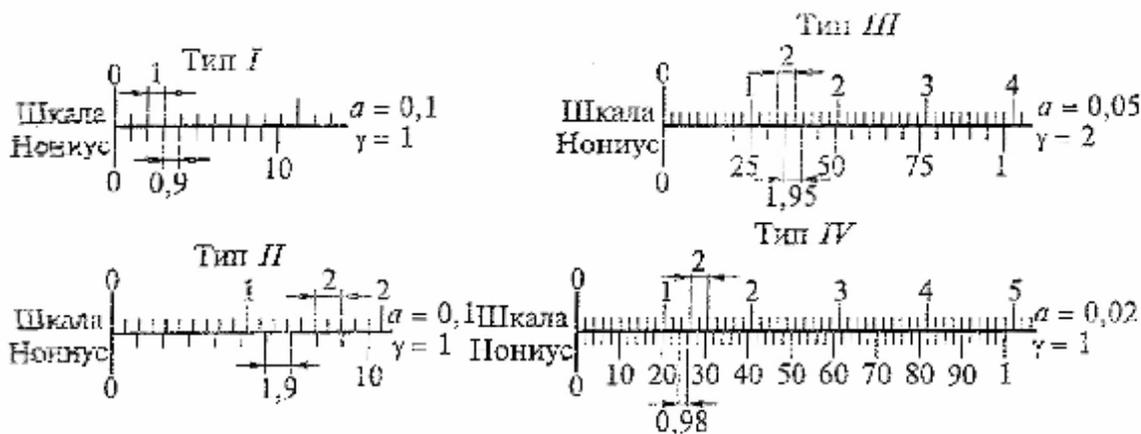


Рис. 2.10. Типы нониусов

Наибольшее распространение получили нониусы с точностью отсчета 0,1; 0,05; 0,02 мм. Основные метрологические характеристики штангенинструментов, применяемых в машиностроении, представлены в [9].

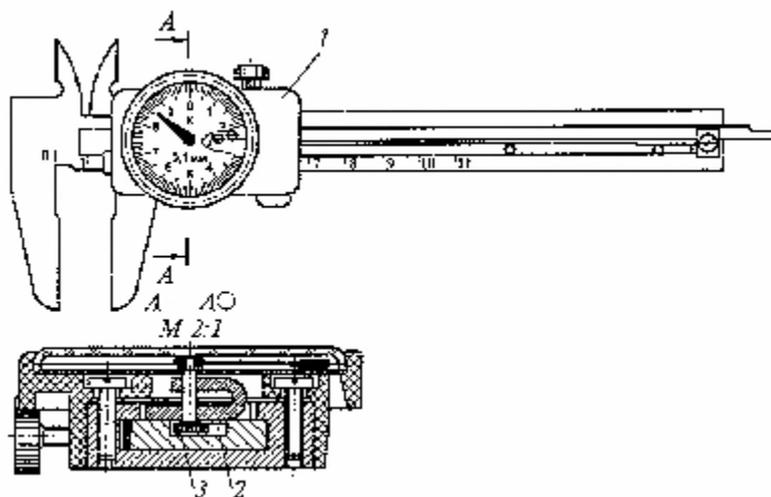


Рис. 2.11. Конструкция индикаторного штангенциркуля: 1 – рамка; 2 – зубчатая рейка; 3 – зубчатое колесо

ГОСТ 166—80 предусматривает изготовление и использование трех типов штангенциркулей: ШЦ-I с ценой деления 0,1 мм, ШЦ-II с ценой деления 0,05 мм и ШЦ-III с ценой деления 0,05 и 0,1 мм. Кроме того, на заводах применяют ранее изготовленные штангенциркули с ценой деления нониуса 0,02 мм, а также индикаторные штангенциркули с ценой деления индикатора 0,1; 0,05; 0,02 мм. По основной линейке с неподвижными губками перемещается рамка с подвижными измерительными губками. Для плавного перемещения рамки по штанге-линейке предусмотрено микрометрическое устройство, состоящее из хомутика, зажима и гайки микрометрической подачи. На подвижной рамке установлен стопорный винт.

В штангу индикаторного штангенциркуля (рис. 2.11) вмонтирована зубчатая рейка 2, по которой перемещается зубчатое колесо 3 индикатора, закрепленного на рамке 1. Перемещение зубчатого колеса передается на стрелку индикатора, показывающую единицы, десятые и сотые доли миллиметра.

В настоящее время все большее распространение получают штангенциркули с цифровой индикацией (цена деления до 0,01).

Штангенглубиномеры (ГОСТ 162—80) (рис. 2.12) принципиально не отличаются от штангенциркулей и применяются для измерения глубины отверстий и пазов. Рабочими поверхностями штангенглубиномеров являются торцовая

поверхность штанги-линейки и база для измерений – нижняя поверхность основания. Для удобства отсчета результатов измерений, повышения точности и

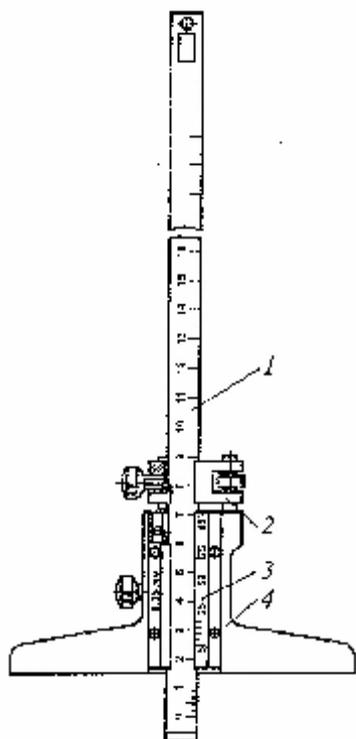


Рис. 2.12. Штангенглубиномер:

1- штанга-линейка; 2- рамка микрометрической подачи; 3- нониус; 4- основание

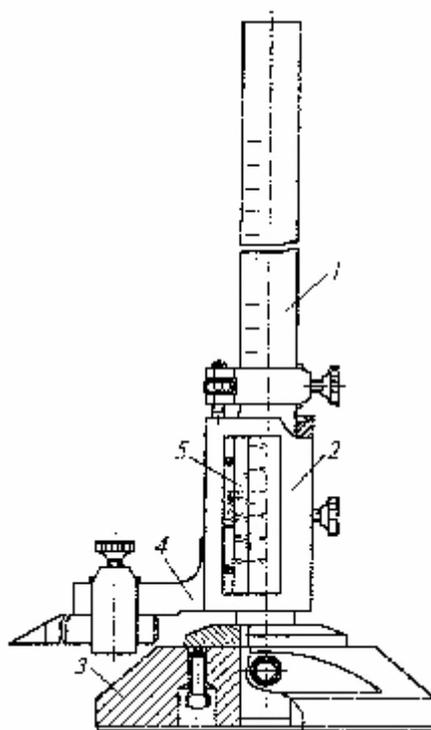


Рис. 2.13. Штангенрейсмас: 1- штанга-линейка; 2- рамка; 3- основание; 4- державка; 5- нониус

производительности контрольных операций в некоторых типах штангенглубиномеров вместо нониусной шкалы предусматривается установка индикатора часового типа с ценой деления 0,05 и 0,01 мм.

Штангенрейсмасы (ГОСТ 164—80) (рис. 2.13) являются основными измерительными инструментами для разметки деталей и определения их высоты. Они могут иметь дополнительный присоединительный узел для установки измерительных головок параллельно или перпендикулярно

плоскости основания. Конструкция и принцип действия штангенрейсмаса принципиально не отличаются от конструкции и принципа действия штангенциркуля. На заводах применяются штангенрейсмасы с индикаторным и цифровым отсчетом показаний. В первом случае вместо нониусной шкалы на подвижной рамке устанавливается индикатор часового типа с ценой деления 0,05 или 0,01 мм, а во втором – зубчатое колесо ротационного фотоэлектрического счетчика импульсов, которое находится в зацеплении с зубчатой рейкой, нарезанной на штанге прибора. За один оборот зубчатого колеса счетчик дает 1000 импульсов, которые передаются цифровому показывающему или записывающему устройству. Погрешность измерения в этом случае может не превышать 10... 15 мкм.

Микрометрические инструменты предназначены для абсолютных измерений наружных и внутренних размеров, высот уступов, глубин отверстий и пазов и т.д. К ним относятся гладкие микрометры (рис. 2.14); микрометры со вставками, микрометрические глубиномеры; микрометрические нутромеры.

Принцип действия этих инструментов основан на использовании винтовой пары (винт-гайка) для преобразования вращательного движения микрометри-

ческого винта в поступательное. Основными частями микрометрических инструментов являются: корпус, стембель, внутри которого с одной стороны имеется микрометрическая резьба с шагом 0,5 мм, а с другой – гладкое цилиндрическое отверстие, обеспечивающее точное направление перемещения винта. На винт

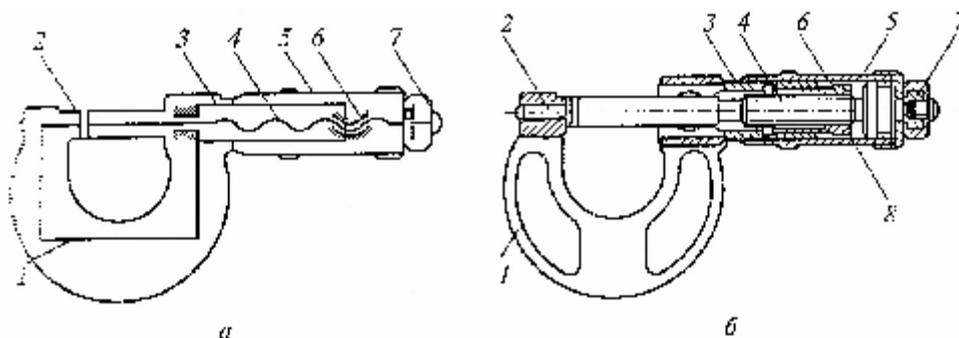


Рис. 2.14. Гладкий микрометр:

а – кинематическая схема; *б* – принципиальная схема; 1 – корпус; 2 – неподвижная пятка; 3 – стембель; 4 – микрометрический винт; 5 – барабан; 6 – гайка микрометрической пары; 7 – устройство стабилизации усилия измерений (трещотка); 8 – контргайка

установлен барабан, соединенный с трещоткой, обеспечивающей постоянное усилие измерения (для микрометрических нутромеров трещотка не устанавливается). Стопор служит для закрепления винта в нужном

положении.

Отсчетное устройство микрометрических инструментов состоит из двух шкал: продольной и круговой. По продольной шкале отсчитывают целые миллиметры и 0,5 мм, по круговой шкале – десятые и сотые доли миллиметра.

Основные метрологические характеристики микрометрических инструментов представлены в [9].

Гладкие микрометры типа МК (ГОСТ 6507-78) (см. рис. 2.14) выпускаются с различными пределами измерения: от 0 до 300 мм с диапазоном показаний

шкалы 25 мм, а также 300...400, 400... 500 и 500... 600 мм. Предельная погрешность микрометров зависит от верхних пределов измерения и может составлять от ± 3 мкм для микрометров МК-25 до ± 50 мкм – для микрометров МК-500. Выпускаются микрометры с цифровым отсчетом всего результата измерения. Отсчетное устройство в таких микрометрах действует по механическому принципу.

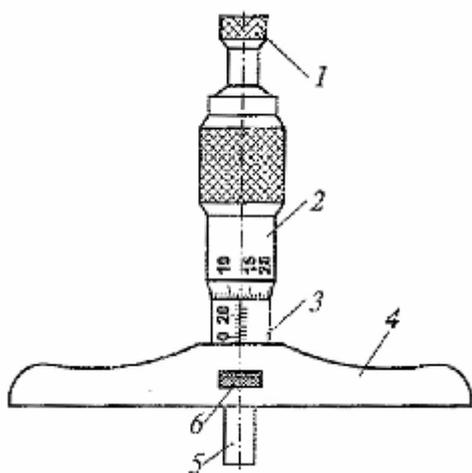


Рис. 2.15. Микрометрический глубиномер: 1- трещотка; 2 – барабан; 3- стембель; 4- траверса; 5- подвижная пятка; 6- гайка фиксации

Микрометрический глубиномер (ГОСТ 7470—78) (рис. 2.15) предназначен для абсолютных измерений глубин отверстий, высот выступов и т. д. Он имеет стембель 3, закрепленный на траверсе 4, с помощью гайки фиксации 6. Одной измерительной поверхностью является нижняя плоскость траверсы 4, другой — плоскость микрометрического винта, соединенного с подвижной пяткой 5. Микровинт вращается трещоткой 1, соединенной с барабаном 2. В комплект микрометри-

ческого глубиномера входят установочные меры с плоскими измерительными торцами.

Микрометрический нутромер (ГОСТ 10—75) (рис. 2.16) предназначен для абсолютных измерений внутренних размеров. При измерении измерительные наконечники приводят в соприкосновение со стенками проверяемого отверстия. Микрометрические нутромеры не имеют трещоток, поэтому плотность соприкосновения определяется на ощупь. Установка нутромера на нуль выполняется либо по установочному кольцу, либо по блоку концевых мер с боковиками, устанавливаемыми в струбцину.

Микрометрические нутромеры типа НМ выпускают с пределами измерений 50...75, 75... 175, 75... 600, 150... 1250, 800... 2500, 1250... 4000, 2500... 6000 и 4000... 10000 мм. При необходимости увеличения пределов измерений используются удлинители.

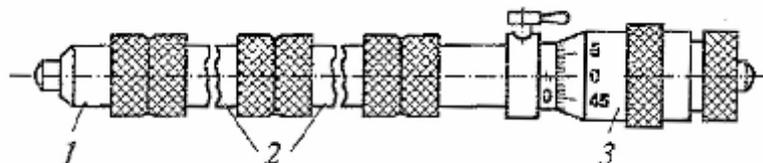


Рис. 2.16. Микрометрический нутромер: 1 — неподвижный наконечник; 2 — удлинитель; 3 — микрометрическая головка

2.2.5. Средства измерения и контроля с механическим преобразованием

Средства измерения и контроля с механическим преобразованием основаны на преобразовании малых перемещений измерительного стержня в большие перемещения указателя (стрелки, шкалы, световые лучи и т.д.). В зависимости от типа механизма они делятся на: *рычажно-механические (рычажные), зубчатые, рычажно-зубчатые, пружинные и пружинно-оптические.*

Рычажно-механические приборы применяют главным образом для относительных измерений, проверки радиального и торцового биения, а также для контроля отклонений формы деталей (отклонение от круглости – овальность, огранка; отклонение от цилиндричности – конусность, бочкообразность, седлообразность; отклонение от плоскостности – вогнутость, выпуклость и др.). К приборам с рычажной передачей относятся миниметры, конструкция которых основана на применении неравноплечего рычага (рис. 2.17, а). Конструктивное оформление миниметров весьма разнообразно. Наиболее широко применяются миниметры с ножевыми опорами, одна из конструкций которого показана на рис. 2.17, б.

Измерительный стержень 4 перемещается по шариковым направляющим. Опорный конец указательной стрелки 1 имеет вид вилки, опирающейся своими концами — ножами на призматические подушки, закрепленные на корпусе миниметра. Опорный нож 5 контактирует с плоской подушкой, закрепленной на торце стержня.

Регулировочный винт 2 служит для регулировки передаточного отношения, т. е. установки малого плеча a (см. рис. 2.17, а) – расстояния между опорными ножами. Измерительное усилие в миниметре создается пружиной 3.

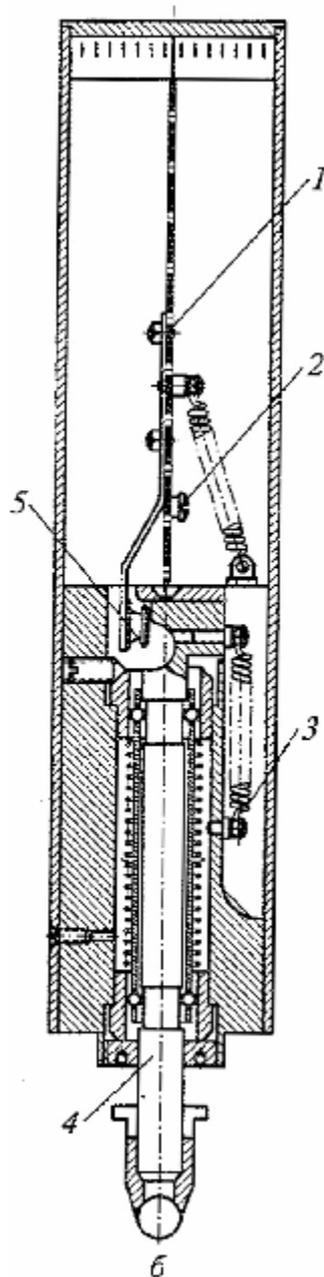
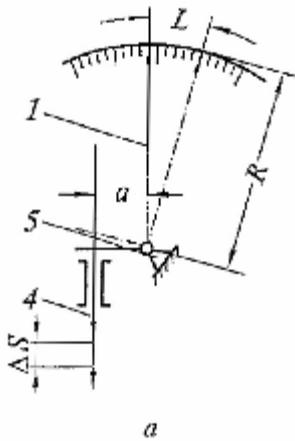


Рис. 2.17. Схема рычага (а) и конструкция (б) микрометра:

- 1— указательная стрелка;
- 2— регулировочный винт;
- 3— пружина;
- 4— измерительный стержень;
- 5— опорный нож

Недостатки конструкции микрометров (быстрый износ ножей и призм, малые пределы измерения по шкале, значительная измерительная сила, инерционность) ограничивают их применение в машиностроении. Основные метрологические характеристики микрометров представлены в [9].

К рычажно-механическим приборам относятся индикаторные нутромеры (рис. 2.18). Они предназначены для относительных измерений отверстий от 3 до 1000 мм. Они состоят из корпуса 11, отсчетного устройства 5 (индикатор), подвижного (измерительного) 13 и неподвижного (регулируемого) 9 стержней, равноплечего (Г-образного) рычага 8, центрирующего мостика 15 и подвижного штока 2. При измерении отверстия стержень 13, перемещаясь в направлении, перпендикулярном оси отверстия, поворачивает Г-образный рычаг 8 вокруг оси и перемещает на ту же величину шток 2 и измерительный наконечник индикатора 5. Пере-

мещение стрелки индикатора указывает на отклонение действительного размера проверяемого отверстия от размера настройки нутромера. Установка индикатора на нуль осуществляется либо по установочному кольцу, либо по блоку концевых мер с боковиками, которые зажимаются в державке.

Промышленность выпускает индикаторные нутромеры с ценой деления 0,01 (ГОСТ 868-82) и нутромеры с ценой деления 0,001 и 0,002 мм (ГОСТ 9244-75). Основные метрологические характеристики индикаторных нутромеров представлены в справочнике [9].

В производственных условиях и измерительных лабораториях для абсолютных измерений нашли широкое применение индикаторы или индикаторные измерительные головки с зубчатой передачей.

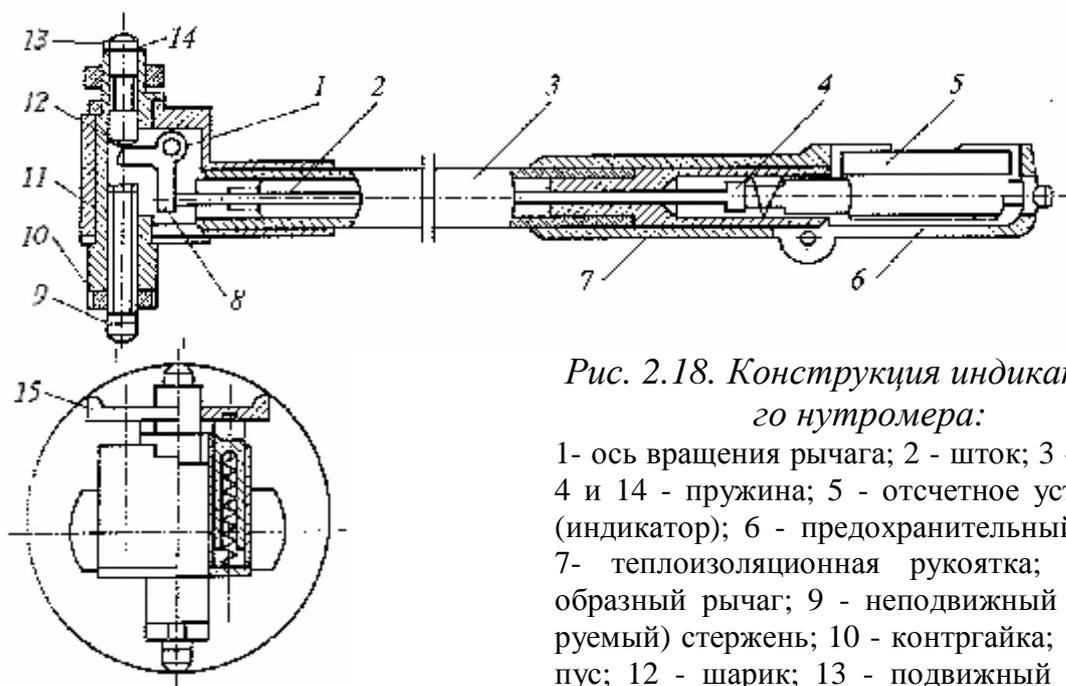
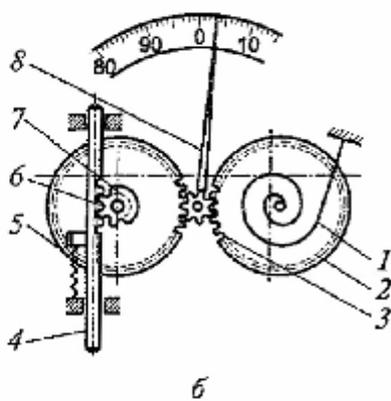
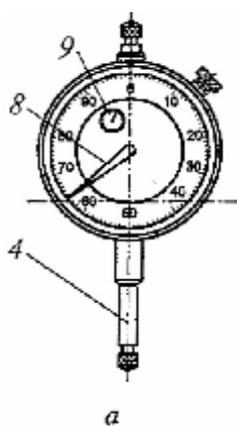


Рис. 2.18. Конструкция индикаторного нутромера:

1- ось вращения рычага; 2 - шток; 3 - трубка; 4 и 14 - пружина; 5 - отсчетное устройство (индикатор); 6 - предохранительный кожух; 7- теплоизоляционная рукоятка; 8 - Г-образный рычаг; 9 - неподвижный (регулируемый) стержень; 10 - контргайка; 11 - корпус; 12 - шарик; 13 - подвижный (измерительный) стержень; 14 - риска; 15 - центрирующий мостик

Индикаторы часового типа (ГОСТ577-68) (рис. 2.19), являющиеся типовыми представителями приборов с зубчатой передачей, содержат стержень 4 с



нарезанной зубчатой рейкой 6, зубчатые колеса 2, 3, 5 и 7, спиральную пружину 1, стрелку 8. Возвратно-поступательное перемещение измерительного стержня 4 преобразуется в круговое движение стрелки 8.

Один оборот стрелки соответствует перемещению измерительного стержня на 1 мм. Целые миллиметры отсчитываются по шкале при помощи стрелки 9. Шкала прибора имеет 100 делений, цена деления индикатора равна 0,01 мм.

Рис. 2.19. Индикатор часового типа (а) и его схема (б):

1 - спиральная пружина; 2, 3, 5 и 7 - зубчатое колесо; 4 - стержень; 6 - зубчатая рейка; 8 и 9 - стрелка

Индикаторы часового типа выпускают двух классов точности (0 и 1) в двух модификациях: индикаторы типа ИЧ с перемещением измерительного стержня параллельно шкале и индикаторы типа ИТ с перемещением измерительного стержня перпендикулярно шкале. Выпускаются также индикаторы часового типа с цифровым (электронным) отсчетом.

Основные метрологические характеристики индикаторов часового типа представлены в справочнике [9].

ГОСТ 16497—80 предусматривает изготовление индикаторов линейных размеров со статистической обработкой результатов измерений, построенных на основе конструкции индикаторов часового типа по ГОСТ 577—68. Они предназначены для механизации вычислений при измерительных и контрольных операциях.

Для любознательных. Типы статистических индикаторов:

СИС — статистический индикатор средних арифметических, предназначенный для определения среднего арифметического в выборке. Индикатор имеет две стрелки: действительных размеров и средних арифметических;

СИМ — статистический индикатор медиан, предназначенный для определения положения медианы в выборке. Индикатор имеет три стрелки: стрелку текущих размеров и две дополнительные стрелки, по которым определяется положение медианы;

СИР — статистический индикатор размахов, предназначенный для определения разности между наибольшим и наименьшим значениями. Индикатор имеет три стрелки: стрелку текущих размеров и две дополнительные, каждая из которых, будучи отклоненной, фиксирует одно из предельных отклонений — наименьшее и наибольшее. Величина размаха определяется по расстоянию между дополнительными стрелками, выраженному в делениях шкалы;

СИБ — статистический индикатор брака, предназначенный для определения количества деталей вне поля допустимых наибольших и наименьших отклонений. Индикатор имеет три стрелки: две стрелки размера показывают значения положительных и отрицательных отклонений, третья стрелка показывает число размеров (деталей), находящихся вне поля допуска;

СИГ — статистический индикатор группировок, предназначенный для определения суженного допуска, а также их суммы и разности. Индикатор имеет три стрелки: текущих размеров и количеств положительных и отрицательных отклонений;

СИД — статистический индикатор дисперсий, предназначенный для определения значений дисперсий и среднего квадратического отклонения в выборке.

Индикатор имеет стрелки средних арифметических, средних квадратических отклонений и дисперсий.

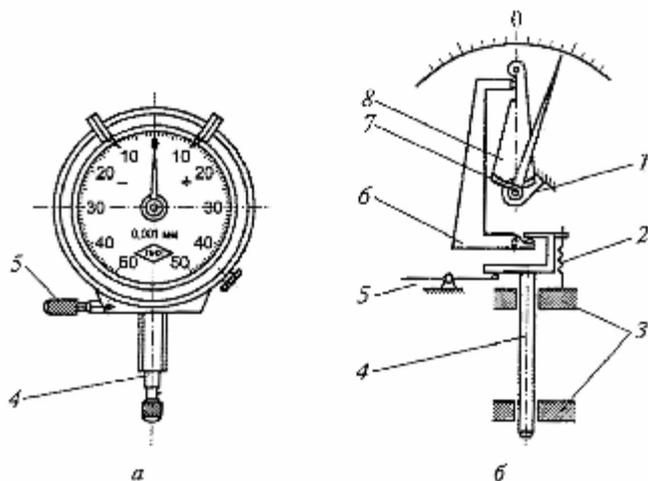


Рис. 2.20. Рычажно-зубчатая измерительная головка (а) и ее схема (б): 1 — спиральная пружина; 2 — пружина; 3 — направляющие втулки; 4 — измерительный стержень; 5 — арретир; 6 и 8 — рычаг; 7 — зубчатое колесо (триб)

Основные метрологические характеристики статистических индикаторов при нормальных условиях представлены в справочнике [9].

К приборам с **рычажно-зубчатой передачей** относятся рычажно-зубчатые измерительные головки, рычажные скобы, рычажные микрометры и т.д. Эти приборы предназначены для относительных измерений наружных поверхностей.

Рычажно-зубчатые измерительные головки (рис. 2.20)

отличаются от индикаторов часового типа наличием наряду с зубчатой пере-

дачей рычажной системы, позволяющей увеличить передаточное число механизма и тем самым повысить точность измерений. При перемещении измерительного стержня 4 в двух точных направляющих втулках 3 поворачивается рычаг б, который воздействует на рычаг 8, имеющий на большем плече зубчатый сектор, входящий в зацепление с зубчатым колесом (трибом) 7. На оси триба установлена стрелка с втулкой, связанная со спиральной пружиной 1, выбирающей зазор. Измерительное усилие создается пружиной 2. Для арретирования измерительного стержня служит арретир 5.

Ленинградский инструментальный завод (ЛИЗ) изготавливает рычажно-зубчатые однооборотные и многооборотные измерительные головки с ценой деления 0,001 и 0,002 мм (ГОСТ 9696-82). Многооборотные головки применяются в тех случаях, когда требуется высокая точность и большой диапазон измерения.

ГОСТ 5584-75 предусматривает выпуск рычажно-зубчатых индикаторов с ценой деления 0,01 мм с изменяемым положением измерительного рычага относительно корпуса.

Основные метрологические характеристики рычажно-зубчатых измерительных головок представлены в справочнике [9].

В **рычажных скобах** (ГОСТ 11098-75) (рис. 2.21) в процессе измерения подвижная пятка 9, перемещаясь, воздействует на измерительный рычаг 11, зубчатый сектор которого поворачивает зубчатое колесо 4 и стрелку 1, неподвижно закрепленную на его оси. Спиральная пружина 3 постоянно прижимает зубчатое колесо к зубчатому сектору, устраняя таким образом зазор. Микровинт для настройки 8 служит для установки прибора на нуль по блоку концевых мер.

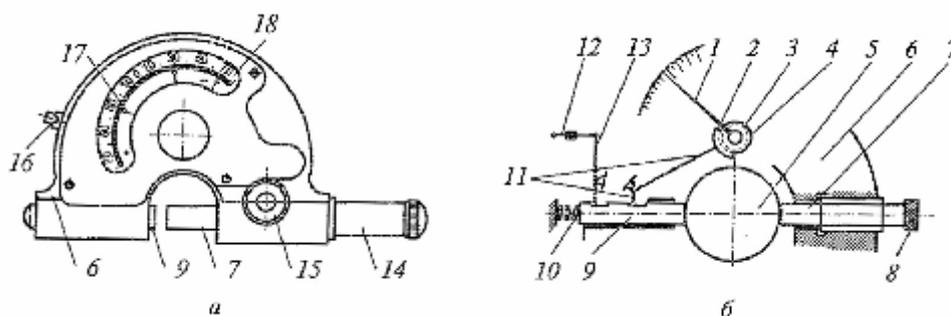


Рис. 2.21. Рычажная скоба-пассамстр (а) и ее схема (б): 1 – стрелка; 2 – зубчатый сектор; 3 – спиральная пружина; 4 – зубчатое колесо; 5 – объект измерения; 6 – корпус; 7 – неподвижная (регулируемая) пятка; 8 – микровинт для настройки; 9 – подвижная пятка; 10 – пружина; 11 – измерительный рычаг; 12 – стержень арретира; 13 – рычаг арретира; 14 – предохранительный чехол; 15 – гайка фиксатора; 16 – кнопка арретира; 17 – шкала; 18 – указатель предела действительных отклонений

и отличаются от них лишь наличием микрометрической головки для отсчета измеряемой величины в миллиметрах, десятых и сотых долях миллиметра. Для измерения наружных размеров до 100 мм предусмотрены микрометры типа МР с отсчетным устройством, встроенным в корпус. Микрометры типа МРЗ пред-

выпускает также рычажные скобы с цифровым отсчетом измеряемой величины в миллиметрах, десятых и сотых долях миллиметра.

Рычажные микрометры (ГОСТ 4381-80) аналогичны рычажным скобам

назначены для измерения длины общей нормали зубчатых колес, а микрометры типа МРИ — для измерения наружных размеров свыше 100 и до 2000 мм.

Основные метрологические характеристики рычажных скоб и рычажных микрометров представлены в справочнике [9].

К приборам с *пружинной передачей* относятся измерительные пружинные головки (ГОСТ 6933–81), малогабаритные измерительные головки (микаторы ГОСТ 14712–79) и рычажно-пружинные измерительные головки бокового действия (миникаторы ГОСТ 14711–69). Эти приборы предназначены для относительных измерений размеров, проверки отклонений деталей от правильной геометрической формы с высокой точностью, а также для проверки и наладки средств активного контроля.

Приборы этого типа построены по принципу использования в передаточных механизмах упругих свойств скрученной фосфористой бронзовой ленты шириной $0,2$ и толщиной $0,008 \dots 0,015$ мм.

Измерительные пружинные головки (рис. 2.22) обладают значительными преимуществами перед другими типами подобных приборов: высокой чувствительностью, малой силой измерения, незначительной погрешностью обратного хода, высокой надежностью механизма. Основные недостатки этих головок: неудобство отсчета показаний по слишком тонкой стрелке и наличие

вибраций стрелки, что увеличивает ошибки измерений. В измерительной пружинной головке пружинная бронзовая лента 1 относительно стрелки 8 закручена в разные стороны и правым концом прикреплена к пружинному угольнику 2, а левым концом — к плоской пружине 7.

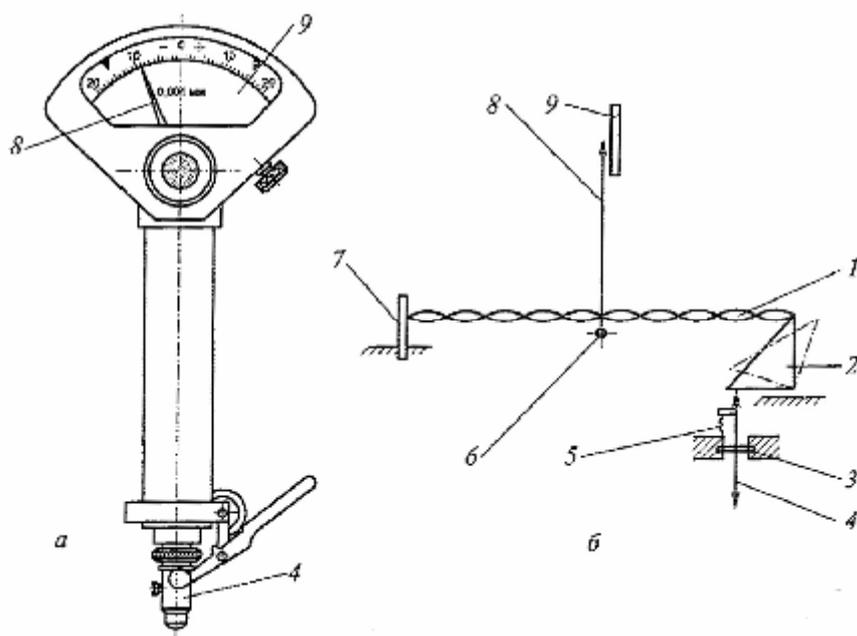


Рис. 2.22. Измерительная пружинная головка(с) и ее схема (б):

1 – пружинная бронзовая лента; 2 – пружинный угольник; 3 – мембрана; 4 – измерительный стержень; 5 – пружина; 6 – противовес; 7 – плоская пружина; 8 – стрелка; 9 – шкала

При перемещении измерительного стержня 4 поворачивается угольник 2, что приводит к растяжению пружинной бронзовой ленты 1 и повороту прикрепленной к ней в середине стрелки относительно шкалы 9. Стрелка сбалансирована с помощью противовеса 6. Сила измерения создается пружиной 5. Измерительный стержень 4 подвешен к корпусу головки на мембране 3 и пружинном угольнике 2.

Измерительные пружинные головки изготавливают в следующих исполнениях: ИГП – с нормальным измерительным усилием, ИГПУ – с уменьшенным измерительным усилием, ИГПР – с регулируемым измерительным усилием, ИГПГ – герметизированные, ИГПВ –виброустойчивые.

Микаторы и миникаторы имеют аналогичный пружинный механизм и принцип действия их не отличается от принципа действия микрокатора.

Основные метрологические характеристики приборов с пружинной передачей представлены в справочнике [9].

2.2.6. Средства измерения и контроля с оптическим и оптико-механическим преобразованием

Оптико-механические измерительные приборы находят широкое применение

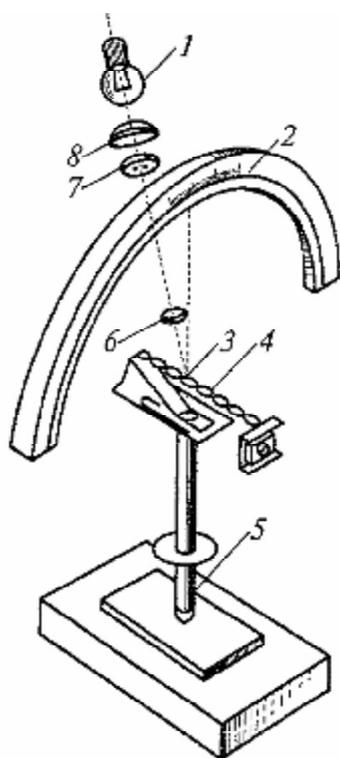


Рис. 2.23. Оптикатор:
1– лампочка; 2– шкала; 3– зеркальце; 4– скрученная бронзовая лента; 5– измерительный стержень; 6– объектив; 7– метка; 8– конденсатор

в измерительных лабораториях и в цехах для измерения размеров калибров, плоскопараллельных концевых мер длины, точных изделий, а также для настройки и проверки средств активного и пассивного контроля. Эти приборы основаны на сочетании оптических схем и механических передач. К оптико-механическим измерительным приборам относятся: пружинно-оптические измерительные головки (оптикатеры), оптиметры, ультраоптиметры, длиномеры, измерительные машины, интерферометры и ряд других приборов.

Оптикатор (ГОСТ 10593—74) (рис. 2.23) построен на том же принципе, что и микрокатор, но лишен основных его недостатков. На скрученной бронзовой ленте 4 закреплено зеркальце 3, которое отражает на шкалу 2 изображение штриха метки 7. Штриховая метка, освещаемая через конденсор 8 лампочкой 1, проектируется объективом 6 на зеркальце, находящееся в его фокусе. При перемещении измерительного стержня 5 и раскручивании ленты по шкале перемещается изображение штрихового указателя. Отражаемый от зеркальца луч света отклоняется на угол, вдвое больший при одинаковом угле раскручивания среднего сечения ленты. Чувствительность оптикатора в два раза больше, чем чувствительность микрокатора, а

погрешность в пределах всей шкалы не превышает 0,4 мкм. Основные метрологические характеристики оптикаторов представлены в справочнике [9].

Оптиметр (ГОСТ 5405—75) состоит из измерительной головки, называемой трубкой оптиметра, и вертикальной или горизонтальной стойки.

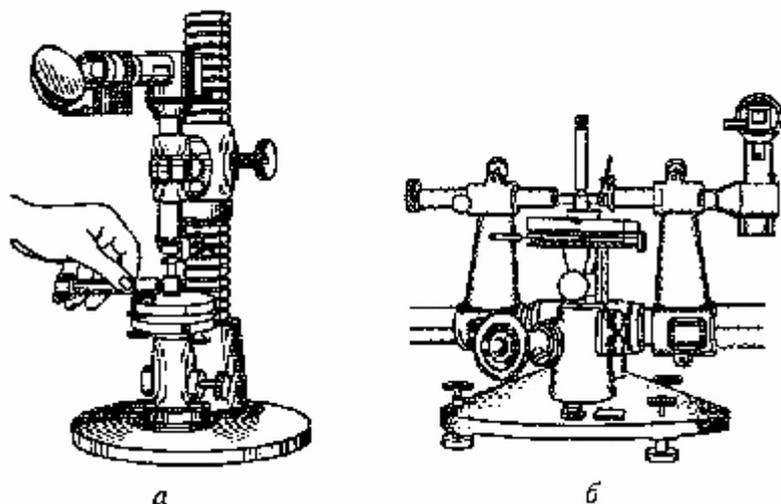


Рис. 2.24. Оптиметр: а- вертикальный; б- горизонтальный

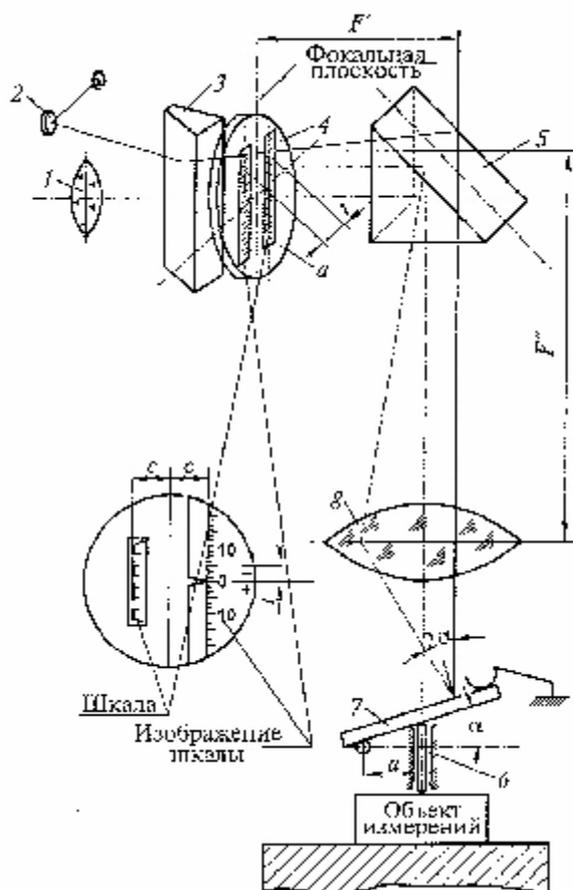


Рис. 2.25. Оптическая схема оптиметра:

1 – окуляр; 2 – зеркало; 3 – трехгранная призма; 4 – стеклянная пластинка; 5 – призма полного отражения; 6 – измерительный стержень; 7 – зеркало поворотное; 8 – объектив

В зависимости от вида стойки оптиметры подразделяют на вертикальные (например, ОВО-1 или ИКВ) (рис. 2.24, а) и горизонтальные (например, ОГО-1 или ИКГ) (рис. 2.24, б). ЛИЗ выпускает также горизонтальные и вертикальные проекционные оптиметры (ОГЭ-1 или ОВЭ-02). У последних отсчет результата измерения производится по шкале, проецируемой на экран.

Вертикальные оптиметры предназначены для измерений наружных размеров деталей, а горизонтальные – для измерения как наружных, так и внутренних размеров.

В оптической схеме оптиметров использованы принципы автоколлимации и оптического рычага.

Принцип действия трубки оптиметра показан на рис. 2.25. Лучи от источника света направляются зеркалом 2 в щель трубки и, преломляясь трехгранной призмой 3, проходят через шкалу, нанесенных на плоскость стеклянной пластинки 4. Пройдя шкалу, луч попадает на призму полного

отражения 5 и, отразившись от нее под прямым углом, направляется на объектив 8 и зеркало 7. Качающееся зеркало пружиной прижимается к измерительному стержню 6. При перемещении стержня 6, опирающегося на измеряемую деталь, зеркало 7 поворачивается на угол α вокруг оси, проходящей через центр опорного шарика, что вызывает отклонение отраженных от зеркала 7 лучей на угол 2α . Отраженный пучок лучей объективом превращается в сходящийся пучок, который дает изображение шкалы. При этом шкала смещается в вертикальном направлении относительно неподвижного указателя на некоторую величину, пропорциональную измеряемому размеру. Изображение шкалы наблюдается в окуляр 1, как правило, одним глазом, что утомляет контролера. Для обеспечения отсчета на окуляр надевают специальную проекционную насадку, на экране которой можно наблюдать изображение шкалы обоими глазами.

Оптический длиномер (ГОСТ 14028—68) (рис. 2.26, а) состоит из измерительной головки и вертикальной или горизонтальной стойки. Схема работы длиномера показана на рис. 2.26, б. Конструкция длиномера соответствует принципу Аббе, т. е. основная шкала является продолжением измеряемой детали 3. В пинולי 5 закреплен измерительный наконечник 4, входящий в соприкосновение с измеряемой деталью 3. Сила тяжести пиноли 5 уравновешена противовесом 1, который перемещается внутри масляного демпфера 2. Пиноль 5 соединена с противовесом стальной лентой Р, перекинутой через блоки, причем измерительная сила длиномера определяется разностью масс пиноли 5 и противовеса 1. Эта сила регулируется с помощью грузовых шайб 8. Отсчеты по стеклянной шкале 6, освещаемой источником света S, производят с помощью отсчетного микроскопа 7 со спиральным нониусом.

В настоящее время все большее распространение получают длиномеры с цифровым отсчетом, на табло которых высвечивается непосредственно измеряемый размер.

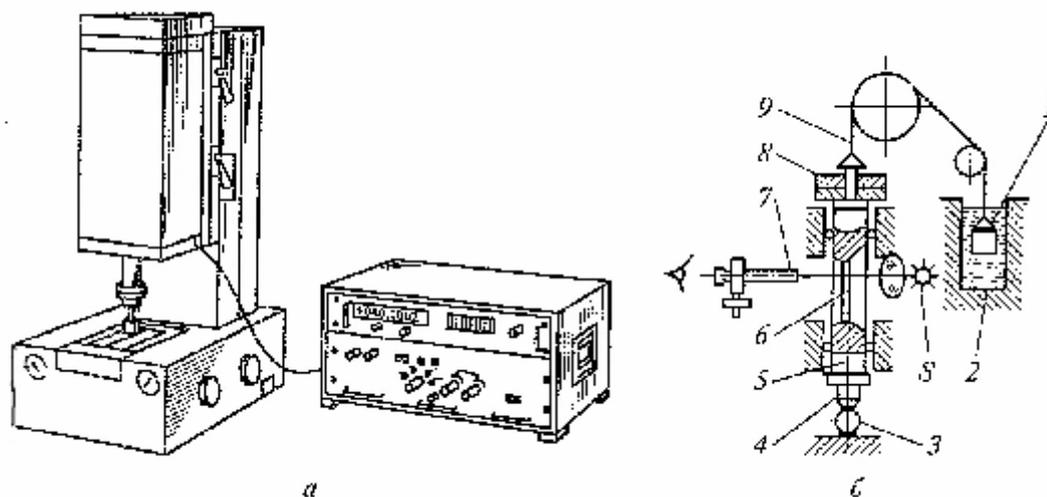


Рис. 2.26. Оптический вертикальный длиномер (а) и схема его работы (б): 1 – противовес; 2 – масляный демпфер; 3 – измеряемая деталь; 4 – измерительный наконечник; 5 – пиноль; 6 – стеклянная шкала; 7 – отсчетный микроскоп; 8 – грузовые шайбы; 9 – стальная лента; 10 – источник света

Измерительные машины (одно-, двух- и трехкоординатные) предназначены для контроля сложных корпусных деталей, деталей значительных длин, измерения расстояний между осями отверстий, лежащих в одной или разных плоскостях, контроля параметров плоских профильных шаблонов в прямоугольных и полярных координатах. Двух- и трехкоординатные измерительные машины позволяют получать цифровой отсчет с автоматической выдачей результатов измерений на ЭВМ с последующим применением полученных программ в станках с ЧПУ для обработки аналогичных деталей (обработка по моделям).

Интерферометры относятся к весьма точным оптико-механическим приборам. Они применяются в основном для проверки концевых мер длины, размеров и формы особо точных изделий и основаны на использовании явления интерференции световых волн. Интерферометры для линейных измерений делятся на контактные (ИКПВ — вертикальные, ИКПГ — горизонтальные) и бесконтактные. Контактные интерферометры имеют одинаковые интерференционные трубки с возможностью регулирования цены деления от 0,05 до 0,2 мкм.

В трубке интерферометра (рис. 2.27) свет от лампы 1 направляется конденсором 2 через диафрагму 3 на разделительную полупрозрачную пластину 6. Часть лучей, пройдя через полупрозрачную пластину 6 и компенсатор 11, отра-

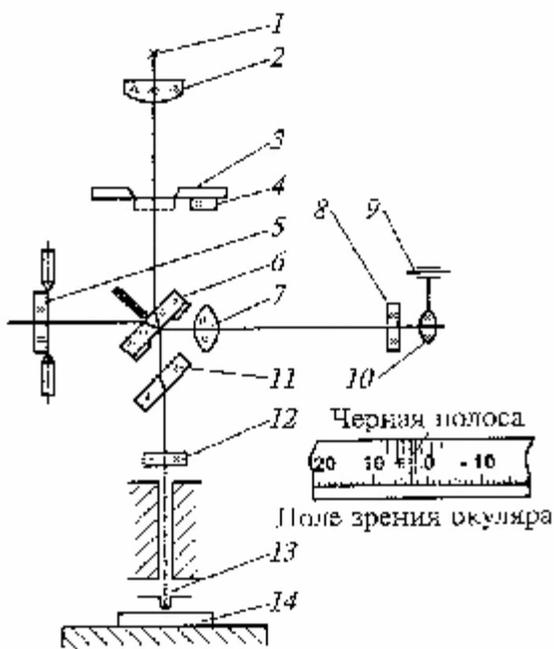


Рис. 2.27. Схема трубки интерферометра:

1 — лампа; 2 — конденсатор; 3 — диафрагма; 4 — шторка; 5 — поворотное зеркало; 6 — полупрозрачная пластинка; 7 — объектив; 8 — сетка; 9 — механизм перемещения окуляра; 10 — окуляр; 11 — компенсатор; 12 — зеркало; 13 — измерительный стержень; 14 — объект измерения.

зится от зеркала 12, закрепленного на верхнем конце измерительного стержня 13, и через компенсатор 11 вновь вернется к полупрозрачной пластине 6. Другая часть пучка света, отразившись от рабочей поверхности разделительной полупрозрачной пластины 6, попадает на поворотное зеркало 5 и после отражения также возвратится к полупрозрачной пластине 6. Таким образом, на рабочей поверхности полупрозрачной пластины 6 обе части пучка света интерферируют при небольшой разности хода. Объектив 7 проектирует интерференционную картину полос равной толщины в плоскость сетки 8. Интерференционные полосы и нанесенную на сетку шкалу наблюдают через окуляр 10. Интерференционные полосы равной толщины образуются в результате поворота зеркала 5 на небольшой угол относительно поверхности зеркала 12. При освещении белым светом на фоне шкалы видна одна черная (ахроматическая) полоса и по обе стороны от нее несколько окрашенных полос убывающей интенсивности. Черная полоса служит указателем при отсчетах по шкале, имеющей

по 50 делений в обе стороны от нуля, который смещается пропорционально перемещению измерительного стержня 13.

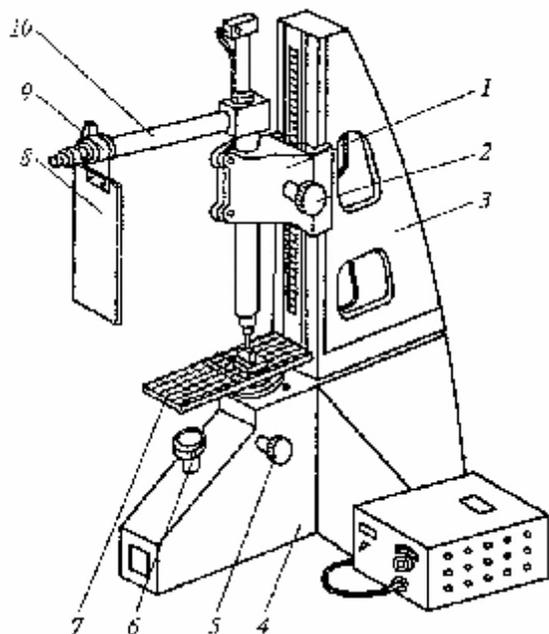


Рис. 2.28. Вертикальный контактный интерферометр:

1 – кронштейн; 2 – кремальера; 3 – стойка; 4 – основание; 5 – винт; 6 – винт микроподдачи; 7 – стол; 8 – теплозащитный экран; 9 – хомут трубки; 10 – трубка интерферометра

ставляет от 0,1 до 0,01 мкм; погрешность измерения составляет 0,5 мкм на 1 м. Схема одной из конструкций бесконтактного лазерного интерферометра представлена на рис. 2.29.

Поступающий от источника лазерного луча 1 пучок света полупрозрачной пластиной 3 делится на два потока. Один направляется на неподвижное зеркало 2 и, отразившись от него, возвращается к пластине 3. Другой, проходящий сквозь пластину 3, попадает на неподвижное зеркало 8. Отражившись от неподвижного зеркала 8 и V-образного рефлектора 4, пучок возвращается к пластине 3, где интерферирует с первым пучком.

При помощи лазерных интерферометров проверяют двух- или трехкоординатные измерительные машины, микроскопы, прецизионные станки и другие

Вертикальный контактный интерферометр (рис. 2.28) имеет жесткое литое основание 4 и стойку 3. По направляющей стойки может перемещаться с помощью кремальеры 2 кронштейн 1, несущий трубку интерферометра 10. На хомуте трубки 9 закреплен теплозащитный экран 8. Стол 7 можно перемещать в вертикальном направлении винтом микроподдачи 6 и стопорить в установленном положении винтом 5.

В последнее время отечественная промышленность стала выпускать бесконтактные лазерные интерферометры с цифровым отсчетом. Они позволяют измерять абсолютным методом детали больших размеров (до 60 м и более) с высокой производительностью и точностью. Цена деления таких приборов со-

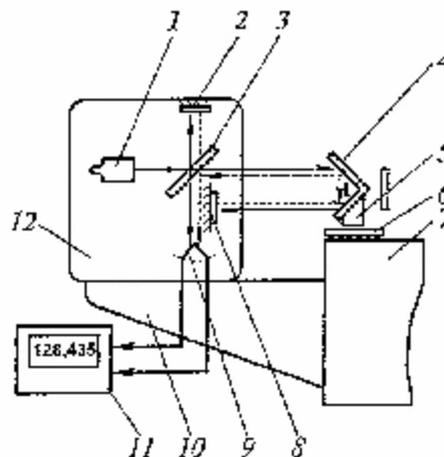


Рис. 2.29. Схема бесконтактного лазерного интерферометра:

1 – источник лазерного луча; 2 – неподвижное зеркало; 3 – пластина; 4 – V-образный рефлектометр; 5 – основание рефлектометра; 6 – измерительный стол; 7 – основание измерительного стола; 8 – неподвижное зеркало; 9 – приемник; 10 – основание; 11 – показывающий прибор; 12 – корпус

точные механизмы.

Оптические измерительные приборы нашли применение в измерительных лабораториях для абсолютных и относительных измерений бесконтактным методом различных изделий сложного профиля (резьб, шаблонов, кулачков, фасонных режущих инструментов) и малых габаритных размеров, для точных измерений длин, углов, радиусов. Эти приборы построены на оптических схемах. К наиболее распространенным оптическим измерительным приборам относятся: микроскопы (инструментальный, универсальный, проекционный), проекторы, оптические длиномеры и угломеры, делительные головки, столы и др.

Инструментальные и универсальные микроскопы предназначены для абсолютных измерений углов и длин различных деталей в прямоугольных и полярных координатах. В соответствии с ГОСТ 8074–82 выпускают микроскопы с микрометрическими измерителями двух типов: типа А – без наклона головки и типа Б – с наклоном головки. У микроскопов ИМ 100х50, А; ИМ 150х50, Б предусмотрен отсчет по шкалам микрометрических головок 25 мм и применение концевых мер длины, тогда как микроскопы ИМЦ 100х50, А; ИМЦ 150х50, А; ИМ 150х50, Б; ИМЦЛ 160х80, Б оснащены цифровым отсчетом.

Универсальные измерительные микроскопы (ГОСТ 14968–69) отличаются от инструментальных большим диапазоном измерений и повышенной точностью. В них вместо микрометрических измерителей применены миллиметровые шкалы с отсчетными спиральными микроскопами. Основные метрологические характеристики указанных микроскопов представлены в справочнике [9].

Несмотря на конструктивные различия инструментальных и универсальных микроскопов принципиальная схема измерения во всех микроскопах общая – визирование различных точек контролируемой детали, перемещаемых для этого по взаимно перпендикулярным направлениям, и измерение этих перемещений посредством отсчетных устройств. Для обеспечения лучшего визирования микроскопы снабжают сменными объективами различной степени увеличения.

В качестве примера рассмотрим конструкцию (рис. 2.30, а) и принцип измерения микроскопа инструментального модели ММИ. На массивном чугунном основании 7 в двух взаимно перпендикулярных направлениях на шариковых направляющих 10 перемещается измерительный стол 9 с помощью микрометрических винтов 6 и 8. Для отсчета перемещений на гильзе, скрепленной с метрической гайкой, имеется миллиметровая шкала / (рис. 2.30, б), а на барабане, связанном с микрометрическим винтом, — круговая шкала // с 200 делениями (на рис. 2.30, б показание микрометра равно 29,025). Объектив 11 с тубусом 15 установлен на кронштейне 13, который перемещается в вертикальном направлении по стойке 2. Стойка 2 с помощью маховика 5 может наклоняться у микроскопов типа Б в обе стороны для установки микроскопа под углом подъема измеряемой резьбы. Имеется лампа подсветки 4. Маховик 12, перемещающий кронштейн 13, служит для фокусировки микроскопа, причем установленное положение фиксируется винтом 3. Для точного фокусирования микроскопа вращают рифленое кольцо 14, при этом тубус 15 смещается по цилиндрическим

направляющим кронштейна. К верхней части тубуса крепится сменная угломерная окулярная головка с визирным микроскопом 1 и отсчетным устройством.

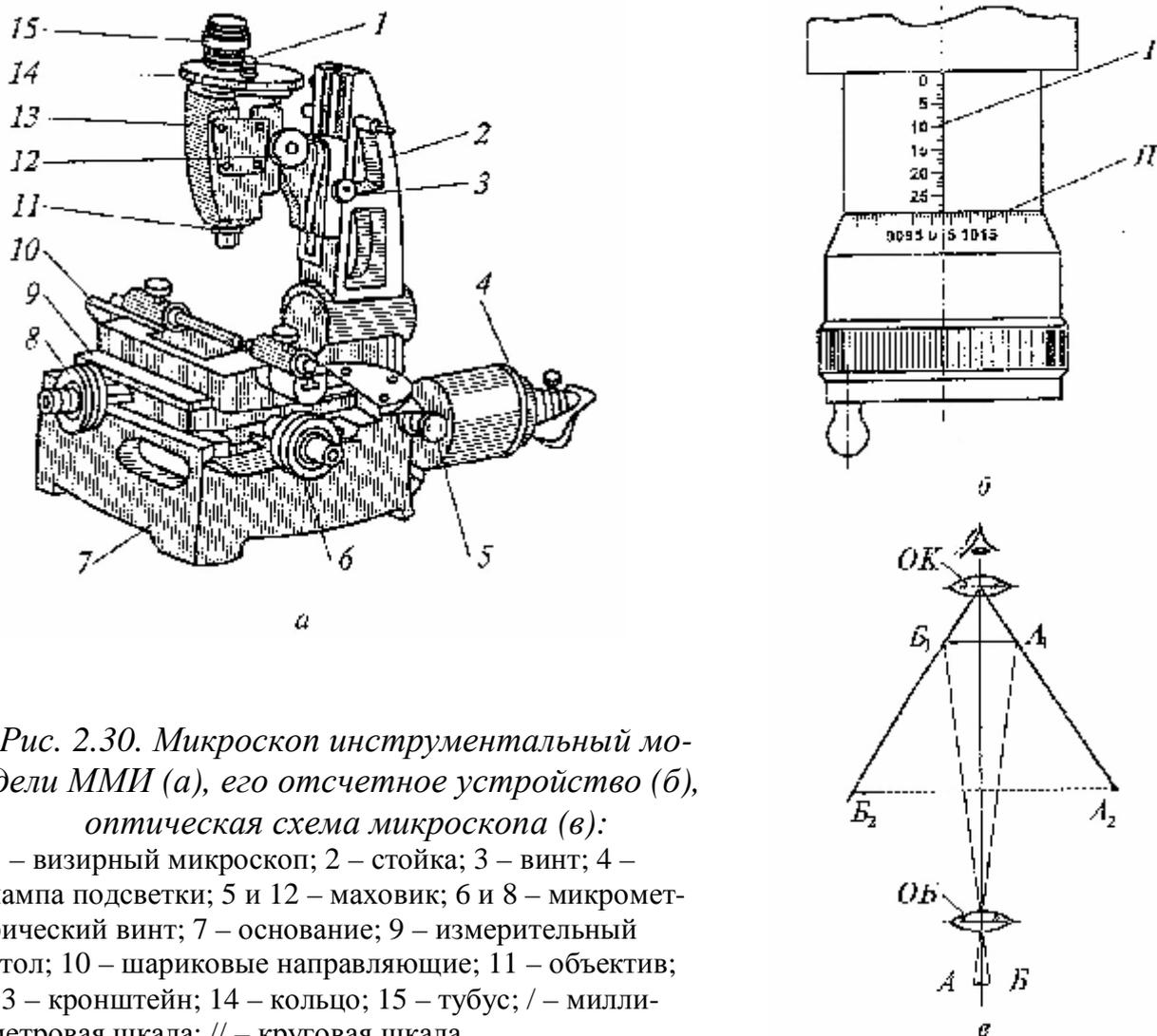


Рис. 2.30. Микроскоп инструментальный модели ММИ (а), его отсчетное устройство (б), оптическая схема микроскопа (в):

1 – визирный микроскоп; 2 – стойка; 3 – винт; 4 – лампа подсветки; 5 и 12 – маховик; 6 и 8 – микрометрический винт; 7 – основание; 9 – измерительный стол; 10 – шариковые направляющие; 11 – объектив; 13 – кронштейн; 14 – кольцо; 15 – тубус; / – миллиметровая шкала; // – круговая шкала

Оптическая схема микроскопа представлена на рис. 2.30, в. Измеряемая деталь АБ рассматривается через объектив ОБ микроскопа. Изображение детали АБ получается действительным, обратным и увеличенным.

Глаз наблюдателя через окуляр ОК видит мнимое, обратное и еще раз увеличенное окуляром изображение детали А₂В₂.

Проекторы предназначены для контроля или измерения деталей сложного контура. Проектор состоит из объектива, дающего увеличенное изображение контролируемого изделия, и экрана, на котором оно рассматривается или сравнивается с сетками или предельными контурами. Проекторы бывают с экранами, работающими в проходящем и отраженном свете.

В последнее время в условиях возрастающей сложности контролируемых изделий находят все более широкое применение измерительные двухкоординатные системы. Они позволяют без переустановки изделия проводить более сложные измерения его угловых и линейных размеров в прямоугольной системе координат. К этим приборам относятся *измерительные микроскопы*, изме-

рительные проекторы и измерительные двухкоординатные машины.

Измерительные двухкоординатные машины (ИДМ) появились как результат естественного развития измерительных микроскопов и проекторов. Мерами в них служат штриховые или концевые меры длины, а также прецизионные измерительные винты. Эти машины характеризуются использованием высокоточных оснований, опор, направляющих и приводов для перемещения стола с изделием или измерительной головки. Результаты измерений в современных ИДМ выводятся на ЭВМ, чем достигается значительное повышение производительности измерений.

Основные метрологические характеристики оптико-механических двухкоординатных машин, их преимущества, недостатки и область применения представлены в справочнике [9].

2.2.7. Средства измерения и контроля с пневматическим преобразованием, электрические, электромеханические и радиоактивные измерительные приборы

Пневматические измерительные приборы нашли широкое применение для контроля линейных размеров. Они обладают высокой точностью, позволяют производить дистанционные измерения в относительно труднодоступных местах, имеют низкую чувствительность к вибрациям. Пневматические бесконтактные измерения дают возможность контролировать легкодеформируемые детали, детали с малыми величинами микронеровностей, которые могут быть повреждены механическим контактом, а также исключают износ измерительных поверхностей контрольных устройств, что повышает точность и надежность контроля. Пневматические приборы сравнительно легко поддаются автоматизации, просты в эксплуатации, требуют менее квалифицированного обслуживания. Однако эти приборы обладают значительной инерционностью, снижающей их производительность.

Пневматические измерительные приборы делятся на два типа:

приборы, в которых измеряется давление воздуха – манометрические («Солекс»);

приборы, регистрирующие скорость истечения воздуха или его расход – расходомерные («Ротаметр»).

Приборы манометрического типа нашли более широкое распространение в устройствах активного контроля.

Вне зависимости от типа пневматический измерительный прибор состоит из измерительной головки, включающей в себя показывающий прибор, чувствительного элемента (сопла) и источника сжатого воздуха. Источник сжатого воздуха в свою очередь содержит: компрессор; отстойники, в которых воздух очищается от влаги; фильтры, в которых воздух очищается от механических включений; редуктор, понижающий давление до нужной величины; стабилизатор давления, поддерживающий давление строго постоянным.

В зависимости от величины рабочего давления различают пневматические приборы низкого (например, 10 кПа) и высокого (например, 150 кПа) давления. И те, и другие работают от сети давлением 0,2...0,6 МПа. Приборы низко-

го давления расходуют на измерение одного параметра до 10 л/мин воздуха, приборы высокого давления – до 20 л/мин.

В пневматических измерительных приборах для линейных измерений используется зависимость между площадью проходного сечения канала истечения и весовым расходом через него воздуха. Площадь канала истечения изменяется за счет измеряемого линейного перемещения.

Приборы давления (манометрические) выпускаются одномерными и многомерными в двух вариантах: цеховой прибор с длиной манометрической трубки 500 мм и лабораторный прибор с длиной манометрической трубки 1230 мм. Передаточное отношение в этих приборах достигает 20 000.

Конструкция прибора давления на примере прибора низкого давления с водяным манометром ДПНД-500, выпускаемого заводом «Калибр», показана на рис. 2.31. Он представляет собой цилиндрический баллон 1, сообщающийся с атмосферой и наполненный водой, в которую погружена трубка 2. К верхней части этой трубки через трубопровод 3 и дроссельное устройство 4 подается компрессором воздух под давлением. В трубке 2 автоматически поддерживается практически постоянное давление, определяемое высотой H столба в баллоне 1. С трубкой 2 соединена камера 6, имеющая входное 5 и выходное 11 сопла. Последнее установлено с зазором над поверхностью измеряемой детали 10. Для измерения

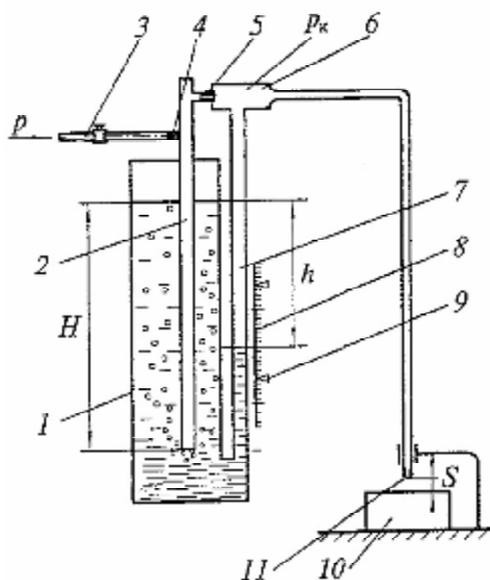


Рис. 2.31. Конструкция прибора давления с водяным манометром ДПНД-500 (манометрический):

1 – баллон; 2 – трубка; 3 – трубопровод; 4 – дроссельное устройство; 5 – входное сопло; 6 – камера; 7 – стеклянная трубка; 8 – шкала; 9 – указатель допуска; 10 – измеряемая деталь; 11 – выходное сопло

измерения переменного давления p_k в камере 6 прибор снабжен водяным манометром в виде стеклянной трубки 7 со шкалой 8. Давление p_k определяется разностью уровней столбов воды в баллоне 1 и стеклянной трубке 7, которая соединена одним концом с камерой 6, а другим – с баллоном 1. Из трубки 2 воздух под постоянным давлением проходит через входное сопло 5 в камеру 6 и выходит через выходное (измерительное) сопло 11. От величины зазора S зависят давление p_k и, следовательно, разность уровней h , отсчитываемая по шкале 8. Так, при уменьшении размера детали 10 зазор S возрастает и уровень воды в стеклянной трубке 7 повышается. На шкале 8 устанавливают указатели допуска 9, между которыми должен находиться уровень воды в стеклянной трубке 7 при контроле годных деталей.

Приборы расхода (поплавковые) выполняются одномерными и многомерными, обслуживающими до 15 измерительных позиций. Конструкция расходомера типа «Ротаметр» показана на рис. 2.32. Он имеет коническую стеклянную трубку 3 с широким концом сверху.

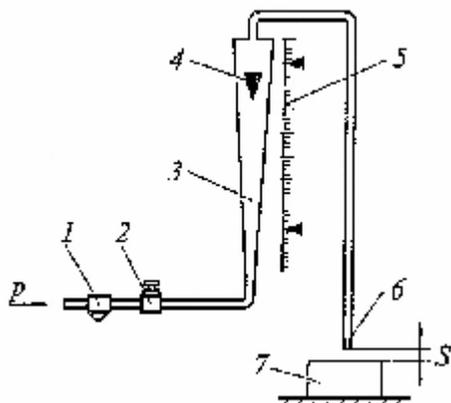


Рис. 2.32. Конструкция расходомера типа «Ротаметр» (поплавковый):

1 – дроссель; 2 – фильтр; 3 – стеклянная трубка; 4 – поплавок; 5 – шкала; 6 – измерительное сопло; 7 – объект измерения

По ней снизу под рабочим давлением 100...200 кПа проходит воздух, поднимающий поплавок 4. Верхняя плоскость поплавка является указателем для отсчета по шкале 5 (градуирована в микрометрах), помещенной рядом с трубкой. Высота подъема поплавка зависит от скорости прохождения воздуха, которая тем больше, чем больше зазор между торцом измерительного сопла 6 и поверхностью объекта измерения 7. Под действием скоростного напора воздуха поплавок поднимается в трубке до тех пор, пока не уравниются расходы воздуха через кольцевой зазор между поплавком и стенками стеклянной трубки 3 и через зазор S между измерительным соплом и контролируемой деталью. В этом

случае поплавок задерживается в трубке. Таким образом, каждому значению зазора S соответствует определенное по высоте положение поплавка в трубке. Точность рассмотренных выше приборов во многом зависит от постоянства рабочего давления воздуха. Любые (даже незначительные) случайные колебания давления непосредственно влияют на результаты измерения.

Применяются также и другие конструктивные решения (дифференциальный, сильфонный, компенсационный).

Электрические и электромеханические измерительные приборы характеризуются наличием единого источника энергии — электрического тока. Широкое распространение в измерительной технике нашли электрические преобразователи, индуктивные, емкостные, электронные и фотоэлектрические приборы. Они отличаются высокой точностью, позволяют вести дистанционные измерения, имеют сравнительно небольшие габаритные размеры, обладают незначительной инерционностью.

Электрические преобразователи являются одной из составных частей электрических и электромеханических измерительных приборов.

В индуктивных приборах используется свойство катушки изменять свое реактивное сопротивление при изменении некоторых ее параметров, определяющих величину индуктивности. Для получения возможно большей индуктивности катушку, как правило, выполняют с магнитопроводом из ферромагнитного материала.

В **емкостных измерительных** системах используется принцип преобразования линейных перемещений в изменение электрической емкости конденсатора. По изменению емкости судят об изменении размера.

Механотронные измерительные приборы состоят из электронного преобразователя, представляющего собой электронную лампу с механическим управлением электронными и ионными токами, измерительной схемы, усилителя, показывающего устройства и источника питания. Эти приборы предназначены не только для измерения перемещений, воздействующих перпендикулярно оси выходного штока лампы, но и усилий.

В *фотоэлектрических* измерительных приборах с помощью оптической системы, построенной на диафрагмировании или отражении светового потока и фотоэлемента, энергия света преобразуется в электрический сигнал, который усиливаясь, поступает либо на показывающий прибор, либо в устройство для подачи команд.

Фотоэлектрические измерительные системы для непрерывного измерения размера контролируемых деталей по изменению величины светового потока, падающего на катод фотоэлемента, применяются редко. Причиной этого является нестабильность характеристик фотоэлементов во времени.

Фотоэлектрические преобразователи, которые являются базовым элементом рассматриваемых систем, широко применяются в дискретных измерительных системах с отражением светового потока, например, в автоматах ЛИЗ для контроля и сортировки деталей подшипников качения, в счетных схемах, оптических системах для измерения перемещений и др.

Радиоактивные измерительные приборы основаны на использовании свойств радиоактивных излучений: проникать сквозь вещество, рассеиваться веществом и ионизировать вещество.

Радиоактивные приборы применяются в отраслях промышленности с тяжелыми условиями эксплуатации (запыленность, влажность, высокие температуры, агрессивная среда). Они успешно используются для автоматизации технологических процессов изготовления проката металлов, резины, бумаги, стекла, всевозможных пленок, автоматизации литейного и кузнечно-прессового производства. Радиоактивные приборы позволяют вести бесконтактные измерения при больших скоростях проката со значительными величинами вибраций и колебаний измеряемого объекта, при значительных колебаниях температуры в зоне измерения. Однако использование источников ядерного излучения всегда связано с необходимостью защиты обслуживающего персонала от воздействий излучения.

Для контроля линейных размеров применяются приборы, в которых величина поглощения или рассеивания потока радиоактивного излучения функционально связана с контролируемой величиной.

2.3. Выбор средств измерений линейных величин

2.3.1. Общие положения

Результаты измерений могут быть использованы для разных целей: при исследовательских и поверочных работах для оценки погрешностей как самих средств и методов измерений, так и разрабатываемых и исследуемых приборов, механизмов, машин, процессов и т. п.; при приемочном контроле – для оценки качества принимаемых деталей, заготовок, узлов и аппаратов; при технологиче-

ском контроле (в том числе активном – управляющем) для настройки и поддержания технологического процесса на должном точностном уровне. Во всех случаях использования результатов измерений необходимо правильно выбрать средства измерений, сопоставив ожидаемую (расчетную) погрешность результата с допуском или заданным значением измеряемого параметра (длины, диаметра, угла, отклонения формы и т. п.).

Для выбора средств и методов измерений линейных размеров от 1 до 500 мм ГОСТ 8.051–81 устанавливает допускаемые погрешности измерения линейных размеров до 500 мм при приемочном контроле и правила определения приемочных границ с учетом этих погрешностей.

Значения допускаемых погрешностей измерений. Величины погрешности измерения, представленные в таблице 2.1, являются наибольшими допускаемыми погрешностями измерений, включающими в себя все составляющие, зависящие от измерительных средств, установочных мер, температурных деформаций и т. д. Допускаемая погрешность измерения включает случайные и неучтенные систематические погрешности измерения.

Случайная погрешность измерения не должна превышать 0,6 допускаемой погрешности измерения и принимается равной 2σ , где σ – значение среднего квадратического отклонения погрешности измерения. При допусках, не соответствующих значениям, указанным в таблице 2.1, допускаемую погрешность выбирают по ближайшему меньшему значению допуска для соответствующего размера.

Приемочные границы с учетом допускаемых погрешностей измерения. Влияние погрешностей измерения на результат измерений должно быть учтено при установлении **приемочных границ** – значений размеров, по которым проводят приемочный контроль изделий.

Для учета влияния погрешностей измерений стандартом предусмотрены два возможных варианта установления приемочных границ (рис. 2.33).

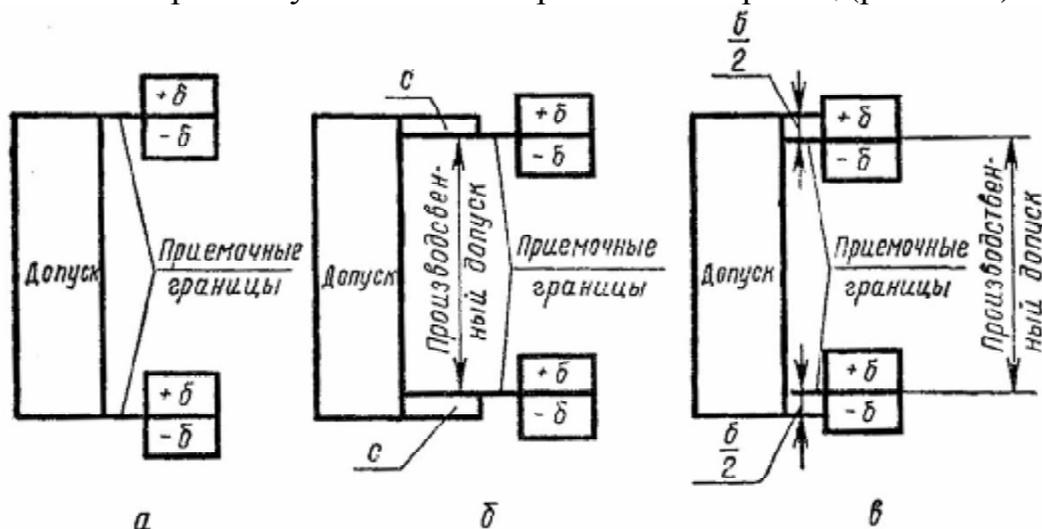


Рис. 2.33. Расположение приемочных границ:

а – без производственного допуска; б – производственный допуск определен зависимости от параметров разбраковки; в – производственный допуск по ГОСТ 8.051–81

В первом варианте приемочные границы устанавливают совпадающими с нормируемыми предельными значениями проверяемого размера (рис. 2.33,а), т. е. возможное влияние погрешности измерения учитывается конструктором при выборе качества и вида посадки. Этот вариант является основным и вполне соответствует принятой международной практике.

Таблица 2.1

Величины погрешности измерения

| Номинальные размеры, мм | Для квалитетов (мкм) | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------|----------------------|-----|------|-----|----|-----|----|-----|----|------|----|------|----|------|
| | 2 | | 3 | | 4 | | 5 | | 6 | | 7 | | 8 | |
| | IT | δ | IT | δ | IT | δ | IT | δ | IT | δ | IT | δ | IT | δ |
| До 3 | 1,2 | 0,4 | 2,0 | 0,8 | 3 | 1,0 | 4 | 1,4 | 6 | 1,8 | 10 | 3,0 | 14 | 3,0 |
| Св. 3 до 6 | 1,5 | 0,6 | 2,5 | 1,0 | 4 | 1,4 | 5 | 1,6 | 8 | 2,0 | 12 | 3,0 | 18 | 4,0 |
| » 6 » 10 | 1,5 | 0,6 | 2,5 | 1,0 | 4 | 1,4 | 6 | 2,0 | 9 | 2,0 | 15 | 4,0 | 22 | 5,0 |
| » 10 » 18 | 2,0 | 0,8 | 3,0 | 1,2 | 5 | 1,6 | 8 | 2,8 | 11 | 3,0 | 18 | 5,0 | 27 | 7,0 |
| » 18 » 30 | 2,5 | 1,0 | 4,0 | 1,4 | 6 | 2,0 | 9 | 3,0 | 13 | 4,0 | 21 | 6,0 | 33 | 8,0 |
| » 30 » 50 | 2,5 | 1,0 | 4,0 | 1,4 | 7 | 2,4 | 11 | 4,0 | 16 | 5,0 | 25 | 7,0 | 39 | 10,0 |
| » 50 » 80 | 3,0 | 1,2 | 5,0 | 1,8 | 8 | 2,8 | 13 | 4,0 | 19 | 5,0 | 30 | 9,0 | 46 | 12,0 |
| » 80 » 120 | 4,0 | 1,6 | 6,0 | 2,0 | 10 | 3,0 | 15 | 5,0 | 22 | 6,0 | 35 | 10,0 | 54 | 12,0 |
| » 120 » 180 | 5,0 | 2,0 | 8,0 | 2,8 | 12 | 4,0 | 18 | 6,0 | 25 | 7,0 | 40 | 12,0 | 63 | 16,0 |
| » 180 » 250 | 7,0 | 2,8 | 10,0 | 4,0 | 14 | 5,0 | 20 | 7,0 | 29 | 8,0 | 46 | 12,0 | 72 | 18,0 |
| » 250 » 315 | 8,0 | 3,0 | 12,0 | 4,0 | 16 | 5,0 | 23 | 8,0 | 32 | 10,0 | 52 | 14,0 | 81 | 20,0 |
| » 315 » 400 | 9,0 | 3,0 | 13,0 | 5,0 | 18 | 6,0 | 25 | 9,0 | 36 | 10,0 | 57 | 16,0 | 89 | 24,0 |
| » 400 » 500 | 10,0 | 4,0 | 15,0 | 5,0 | 20 | 6,0 | 27 | 9,0 | 40 | 12,0 | 63 | 18,0 | 97 | 26,0 |

Окончание таблицы 2.1

| Номинальные размеры, мм | Для квалитетов (мкм) | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------|----------------------|----|-----|----|-----|----|-----|-----|-----|-----|------|-----|------|-----|------|-----|------|------|
| | 9 | | 10 | | 11 | | 12 | | 13 | | 14 | | 15 | | 16 | | 17 | |
| | IT | δ | IT | δ | IT | δ | IT | δ | IT | δ | IT | δ | IT | δ | IT | δ | IT | δ |
| До 3 | 25 | 6 | 40 | 8 | 60 | 12 | 100 | 20 | 140 | 30 | 250 | 50 | 400 | 80 | 600 | 120 | 1000 | 200 |
| Св. 3 до 6 | 30 | 8 | 48 | 10 | 75 | 16 | 120 | 30 | 180 | 40 | 300 | 60 | 480 | 100 | 750 | 160 | 1200 | 240 |
| » 6 » 10 | 36 | 9 | 58 | 12 | 90 | 18 | 150 | 30 | 220 | 50 | 360 | 80 | 580 | 120 | 900 | 200 | 1500 | 300 |
| » 10 » 18 | 43 | 10 | 70 | 14 | 110 | 30 | 180 | 40 | 270 | 60 | 430 | 90 | 700 | 140 | 1100 | 240 | 1800 | 380 |
| » 18 » 30 | 52 | 12 | 84 | 18 | 130 | 30 | 210 | 50 | 330 | 70 | 520 | 120 | 840 | 180 | 1300 | 280 | 2100 | 440 |
| » 30 » 50 | 62 | 16 | 100 | 20 | 160 | 40 | 250 | 50 | 390 | 80 | 620 | 140 | 1000 | 200 | 1600 | 320 | 2500 | 500 |
| » 50 » 80 | 74 | 18 | 120 | 30 | 190 | 40 | 300 | 60 | 460 | 100 | 740 | 160 | 1200 | 240 | 1900 | 400 | 3000 | 600 |
| » 80 » 120 | 87 | 20 | 140 | 30 | 220 | 50 | 350 | 70 | 540 | 120 | 870 | 180 | 1400 | 280 | 2200 | 440 | 3500 | 700 |
| » 120 » 180 | 100 | 30 | 160 | 40 | 250 | 50 | 400 | 80 | 630 | 140 | 1000 | 200 | 1600 | 320 | 2500 | 500 | 4000 | 800 |
| » 180 » 250 | 115 | 30 | 185 | 40 | 290 | 60 | 460 | 100 | 720 | 160 | 1150 | 240 | 1850 | 380 | 2900 | 600 | 4600 | 1000 |
| » 250 » 315 | 130 | 30 | 210 | 50 | 320 | 70 | 520 | 120 | 810 | 180 | 1300 | 260 | 2100 | 440 | 3200 | 700 | 5200 | 1100 |
| » 315 » 400 | 140 | 40 | 230 | 50 | 360 | 80 | 570 | 120 | 890 | 180 | 1400 | 280 | 2300 | 460 | 3600 | 800 | 5700 | 1200 |
| » 400 » 500 | 155 | 40 | 250 | 50 | 400 | 80 | 630 | 140 | 970 | 200 | 1550 | 320 | 2500 | 500 | 4000 | 800 | 6300 | 1400 |

Примечание. Допускается увеличивать допускаемую погрешность измерения, указанную в таблице, при уменьшении допуска на размер, учитывающего это увеличение, а также в случае разделения изделий на размерные группы для селективной сборки.

Во втором варианте приемочные границы устанавливают с введением производственного допуска, т. е. нормируемые предельные значения размера

смещают внутрь допуска с учетом возможного влияния погрешности измерения.

Смещение не должно превышать половины нормируемой в стандарте допускаемой погрешности измерений (рис. 2.33, в). Этот вариант менее предпочтителен, поскольку вносит определенные затруднения при оформлении документации и приводит к забракованию части годной продукции. Этот способ, хотя и редко, но используют в практике. Иногда рекомендуется, если необходимо, вводить производственный допуск, смещая приемочные границы на величину возможного выхода размера за границу поля допуска в зависимости от точности технологического процесса и погрешности измерения (рис. 2.33,б).

При введении производственного допуска значение смещения не должно превышать половины устанавливаемой стандартом допускаемой погрешности измерения у каждой приемочной границы.

При *арбитражной перепроверке* принятых деталей погрешность измерения не должна превышать 30% погрешности, допускаемой при приемочном контроле. Среди принятых допускается наличие до 5% деталей от перепроверяемой партии с отклонениями, выходящими за приемочные границы на значение, не превышающее половину допускаемой погрешности измерения при приемке, для квалитетов со 2-го по 7-й; рядов пределом допускаемых погрешностей измерения с 1 до 6; до 4% для квалитетов 8, 9 или для рядов 7 и 8; 3% — для квалитетов 10 и грубее или для ряда 9 и грубее.

Влияние погрешности измерения на результаты разбраковки при приемочном контроле. Влияние погрешности измерения при приемочном контроле оценивают параметрами:

m – число деталей в процентах от общего числа измеренных, имеющих размеры, выходящие за предельные и принятые в числе годных (неправильно принятые);

n – число деталей в процентах от общего числа измеренных, имеющих размеры, не превышающие предельные и забракованные (неправильно забракованные) ;

c – вероятностная величина .выхода размера за предельные у неправильно принятых деталей.

Значения параметров m , n и c при распределении контролируемых размеров по нормальному закону приведены на рис. 2.34.

На рис. 2.34 сплошные линии соответствуют распределению погрешности измерения по нормальному закону, а пунктирные – по закону равной вероятности.

При неизвестном законе распределения погрешности измерения для параметров m , n и c рекомендуется принимать средние из значений, определенных по сплошной и пунктирной линиям.

Параметры m и c на графиках определены с доверительной вероятностью 0,9973. Для определения t с другой доверительной вероятностью необходимо сместить начало координат по оси ординат.

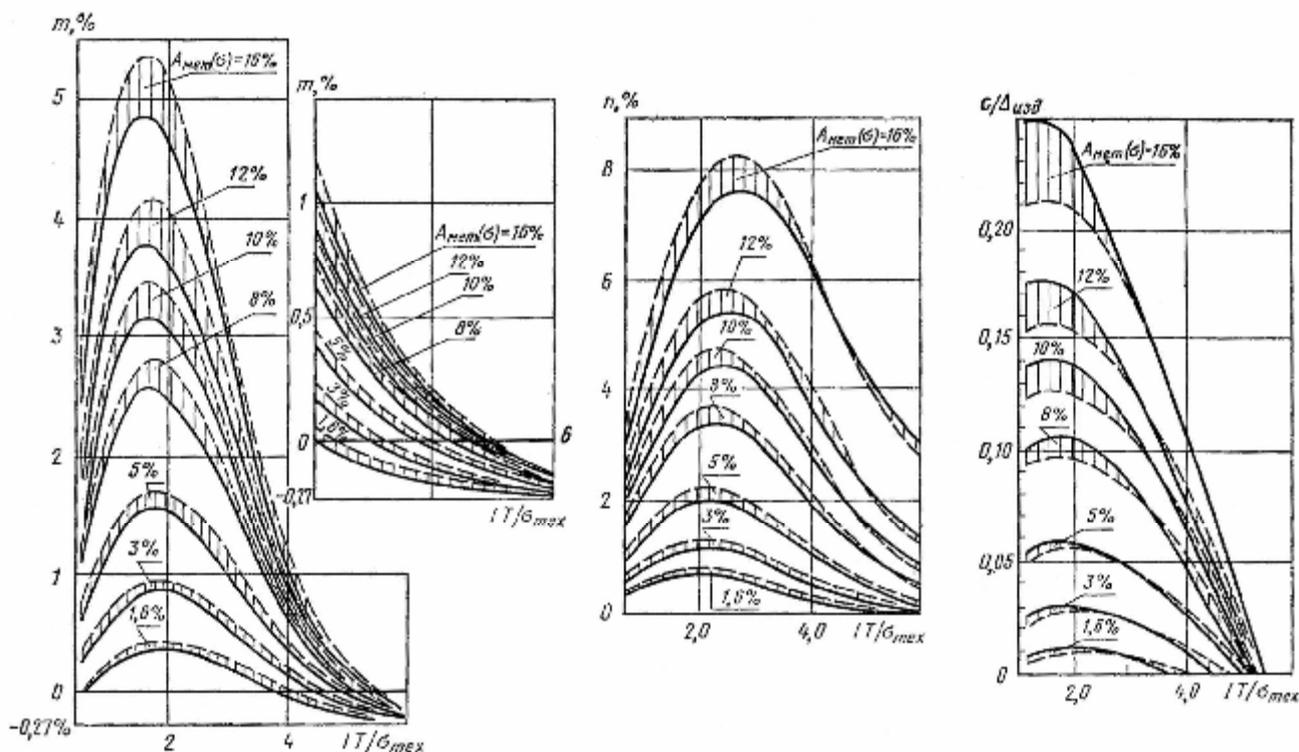


Рис. 2.34. Значения параметров m , n и c

На графиках рис. 2.34 значения $A_{мет(\sigma)}$ в координатах определяют по формуле

$$A_{мет(\sigma)} = \frac{S}{IT} 100, \quad (2.1)$$

где σ – среднее квадратическое отклонение погрешности измерения; IT – допуск на контролируемый размер.

При определении параметров m , n и c рекомендуется принимать $A_{мет(\sigma)}$, равное 16 % для квалитетов 2–7, 12% – для квалитетов 8 и 9 и 10%– для квалитетов 10 и грубее.

Параметры m , n и c приведены на графиках в зависимости от значения $\frac{IT}{S_{mex}}$, где σ_{mex} – среднее квадратическое отклонение погрешности изготовления.

Параметры m , n и c на рис. 2.34 даны при симметричном расположении допуска относительно центра группирования контролируемых деталей.

Совместное влияние систематической и случайной погрешностей изготовления на параметры m и n определяют по графикам (рис. 2.34), но вместо значения $\frac{IT}{S_{mex}}$ принимается для одной границы

$$\frac{IT + 2a_m}{S_{mex}}, \quad (2.2) \quad \text{для другой} \quad \frac{IT - 2a_m}{S_{mex}}, \quad (2.3)$$

где a_m – систематическая погрешность изготовления.

При определении параметров m и n для каждой границы берут половину полученных значений.

Совместное влияние случайной и систематической погрешностей измерения

(если последняя не исключается поправкой) на параметры m , n и c определяют по графику (рис. 2.34) при использовании зависимостей:

$$m = \left[F_0 \left(\frac{IT + 2a_u}{2s_{mex}} \right) - F_0 \left(\frac{IT}{2s_{mex}} \right) \right] + \frac{m_{(IT+2a_u)}}{2} - \frac{n_{(IT+2a_u)}}{2}; \quad (2.4)$$

$$n = \left[F_0 \left(\frac{IT}{2s_{mex}} \right) - F_0 \left(\frac{IT + 2a_u}{2s_{mex}} \right) \right] + \frac{n_{(IT+2a_u)}}{2} - \frac{m_{(IT+2a_u)}}{2}; \quad (2.5)$$

$$C = C_{(IT+2a_u)} + a_u \quad (2.6)$$

где a_u – систематическая погрешность измерения (со знаком плюс при расширении допуска и минус – при сужении);

$m_{(IT+2a_u)}$; $n_{(IT+2a_u)}$; $c_{(IT+2a_u)}$ – параметры при допуске, измененном на значение систематической погрешности измерения; $F_0(u)$ – интегральная функция распределения погрешности изготовления.

При определении совместного влияния систематической и случайной погрешностей измерения следует использовать значения $A_{мет(\sigma)}$, определяемые по формулам

$$A_{мет(s)} = \frac{s}{IT + 2|a|}, \quad (2.7)$$

$$A_{мет(s)} = \frac{s}{IT - 2|a|}, \quad (2.8)$$

где a — систематическая погрешность изготовления при использовании формул 2.2 и 2.3 или измерения при использовании формул (2.4), (2.6).

Возможные предельные значения параметров m , n и $\frac{c}{IT}$, соответствующие экстремальным значениям кривых на рис. 2.34, приведены в таблице 2.2.

Таблица 2.2

Предельные значения параметров m , n и $\frac{c}{IT}$

| $A_{мет(\sigma)}$ | m , % - | n , % | $\frac{c}{IT}$ |
|-------------------|-----------------|----------------|----------------|
| 1,6 | От 0,37 до 0,39 | От 0,7 до 0,75 | 0,01 |
| 3 | » 0,87 » 0,9 | » 1,2 » 1,3 | 0,03 |
| 5 | » 1,6 » 1,7 | » 2,0 » 2,25 | 0,06 |
| 8 | » 2,6 » 2,8 | » 3,4 » 3,7 | 0,1 |
| 10 | » 3,1 » 3,5 | » 4,5 » 4,75 | 0,14 |
| 12 | » 3,75 » 4,1 | » 5,4 » 5,8 | 0,17 |
| 16 | » 5,0 » 5,4 | » 7,8 » 8,25 | 0,25 |

Примечания:

1. Первые значения m и n соответствуют распределению погрешностей измерения по нормальному закону; вторые – по закону равной вероятности.

2. Предельные значения параметров m , n и $\frac{c}{IT}$ учитывают влияние только случайной составляющей погрешности измерения.

Приемочные границы с учетом погрешности измерения. Стандарт предусматривает два способа установления приемочных границ.

1-й способ. Приемочные границы устанавливаются совпадающими с предельными размерами.

Пример. При проектировании вала диаметром 100 мм оценено, что отклонения его размеров для условий эксплуатации должны соответствовать h_6 (100_{0,022}).

В соответствии с таблицей 2.1 устанавливают, что для этого размера вала и допуска допускаемая погрешность измерения равна 0,006 мм.

В соответствии с таблицей 2.2 устанавливают, что для $A_{мет(\sigma)}$ равной 16%, m неизвестной точности технологического процесса $m=5,2$ и $c=0,25$ IT, т. е. среди годных деталей может оказаться до 5,2% неправильно принятых деталей с предельными отклонениями +0,0055 и -0,0275 мм. Если полученные данные не повлияют на эксплуатационные показатели вала, то на чертежах указывают первоначально выбранный квалитет. В противном случае выбирают более точный квалитет или другое поле допуска в этом квалитете.

2-й способ. Приемочные границы смещают внутрь относительно предельных размеров.

При введении производственного допуска могут быть два варианта в зависимости от того, известна или неизвестна точность технологического процесса.

Вариант 1. При назначении предельных размеров точность технологического процесса неизвестна. Предельные размеры изменяются на половину допускаемой погрешности измерения. Для примера, рассмотренного выше, диаметр $100_{-0,019}^{-0,003}$

Вариант 2. При назначении предельных размеров точность технологического процесса известна. В этом случае предельные размеры уменьшают на значение параметра c .

Предположим, что для рассмотренного выше примера $\frac{IT}{S_{max}} = 4$ (при изготовлении имеется 4,5% брака по обеим границам).

$A_{мет(\sigma)} = 16\%$. По рис. 2.34 находим $C=0,1$; $IT=0,0022$ мм.

С учетом данных диаметр вала принимает $100_{-0,020}^{-0,002}$.

2.3.2. Порядок выбора средств измерения

Участие технических служб в выборе измерительных средств. Принципиальное положение ГОСТ 8.051—81 в отношении выбора измерительных средств заключается в том, что при установлении приемочных границ, т. е. значений размеров, по которым производят приемку изделий, необходимо учитывать влияние погрешности измерений.

В выборе измерительных средств должны участвовать **конструкторская, технологическая и метрологическая службы** в пределах выполняемых ими служебных обязанностей.

Конструкторская служба участвует в выборе измерительных средств только правильным назначением допускаемых отклонений на размер детали. При

назначении допуска на изготовление конструктор должен установить по ГОСТ 8.051–81 возможное предельное количество неправильно принимаемых деталей и возможный предельный выход размера этих деталей за границы допуска. При этом у конструктора возможны три варианта установления приемочных границ (см. рис. 2.33).

В стандарте в качестве предпочтительного варианта принято установление приемочных границ без введения производственного допуска. Это означает, что следует выбрать такой квалитет или вид посадки, при котором предельные возможные значения размера удовлетворяли бы требованиям конструктора. Такой подход необходим в связи с тем, что только конструктор в полной мере может дать ответ на вопрос о возможности отклонения размеров определенной группы деталей от размеров, указанных на чертеже.

Если переход на более точный квалитет или другой вид посадки оказывается невозможным, например, в связи с большим ужесточением требований, а следовательно с неоправданным удорожанием производства, конструктор должен принять решение о введении производственного допуска. Стандартом предусмотрено, что смещение у каждой приемочной границы не должно быть больше половины допускаемой погрешности измерения (см. рис. 2.33). Следовательно, меньшие смещения вполне допустимы. Наиболее предпочтительными являются смещения на величину «с», т. е. на вероятный предельный выход размера за границу поля допуска у неправильно принятых деталей, определенную исходя из реального соотношения технологического рассеяния и поля допуска, а не из наиболее неблагоприятного. Для этой цели необходимо иметь представление о точности технологического процесса и определять величину «с» по графикам (рис. 2.34).

Технологическая служба. В обязанности технологической службы входит обеспечение наиболее экономичных технологических процессов. Для оценки технологического процесса технолог должен знать возможные количества действительного n и ложного брака m руководствоваться при этом данными о технологическом распределении, допускаемой погрешности измерения и графиками (2.34). Если полученные результаты можно считать удовлетворительными, то выбор измерительных средств предоставляется метрологической службе или тем работникам технологической службы, в чьи обязанности это входит. Если результаты получились неудовлетворительными, то для исправления положения можно смещать настройку, т. е. центр группирования технологического распределения, регулируя соотношение брака плюс и брака минус; изменять технологический процесс, уменьшая зону технологического рассеяния; повышать требования к точности измерения, сокращая процент ложного брака. Второй путь, как правило, оказывается наиболее эффективным.

Метрологическая служба. Метрологическая служба участвует в выборе конкретных измерительных средств с учетом условий измерения. Эта служба обязана установить, в какой мере условия измерения, указанные в прил. 1 и 2, соответствуют реально существующим, а также учесть специфические особенности производства (применяемость измерительных средств, их наличие и т. д.). Если метролог обнаружит, что рекомендуемые в прил. 1 и 2 условия изме-

рения не могут быть созданы на существующем производстве, то он обязан оценить степень влияния несовпадающих условий и определить возможные предельные погрешности при существующих условиях, а также их допустимость с точки зрения выполнения требований ГОСТ 8.051—81.

При неудовлетворительных результатах следует выбрать другое измерительное средство, при использовании которого в существующих условиях измерения (с учетом методической погрешности) будут удовлетворяться требования ГОСТ 8.051—81, или спроектировать новую методику выполнения измерения. Особое внимание следует обратить на ограниченную возможность изменения предельной погрешности за счет изменения отдельных ее составляющих. Как правило, при разработке вариантов использования измерительных средств обеспечивалось приблизительно равное влияние доминирующих составляющих погрешности измерения. Обычно в качестве исходной величины принималась погрешность измерительного средства и подбирались погрешности, зависящие от температурных деформаций и от установочных мер, каждая из которых приблизительно равна погрешности измерительного средства.

Погрешности измерения универсальными измерительными средствами. Для проведения измерений с погрешностями, не превышающими допускаемые ГОСТ 8.051—81 значения, необходимо иметь сведения о значениях погрешностей измерения различными измерительными средствами в различных условиях их применения. Такие сведения о погрешностях измерения измерительными средствами, серийно выпускаемыми специализированными заводами, даны в прил. 1 и 2.

В прил. 1 приведены сведения о погрешностях измерения различными измерительными средствами наружных размеров, размеров уступов и величин биения, а в прил. 2 – сведения о погрешностях измерений внутренних размеров.

Основой приложений 1 и 2 являются два принципиальных положения:

измерительным средством одного вида можно выполнить измерения с различной погрешностью, в зависимости от методики и условий выполнения измерения;

для выбора измерительных средств и условий выполнения измерений необходимо оценивать возможные пределы погрешности измерения.

При этом имеется в виду, что измерительное средство соответствует предъявляемым требованиям и используется оператором, имеющим навык в работе с ним.

Различные значения погрешностей измерения при использовании измерительных средств одного и того же вида в прил. 1 и 2 даны без учета методической погрешности измерения.

Погрешности измерений указаны без знаков \pm , т. е. указаны абсолютные значения предельных погрешностей измерения единичным измерительным средством, другими словами, даны предельные значения, на которые результаты измерения могут отличаться от истинного значения измеряемой величины.

Варианты использования измерительных средств отличаются различной погрешностью средств измерений при использовании их на различных преде-

лах измерения. Для некоторых измерительных средств варианты использования приведены в зависимости от класса и разряда концевых мер длины, применяемых для настройки. Для стрелочных отсчетных головок при измерении биений, т. е. колебаний размеров, варианты использования установлены в зависимости от применяемых штативов и стоек, а при измерении размеров — в зависимости от вида контакта. Для всех измерительных средств указан температурный режим измерения. Эти значения в общем случае нельзя относить ни к отклонениям, ни к колебаниям температуры окружающей среды в процессе измерения. В приложении 2, где указаны погрешности измерений внутренних размеров существующими измерительными средствами, учитывается шероховатость поверхности измеряемой детали. При определении погрешности измерений учитывались субъективные погрешности отсчитывания показаний.

Выбор конкретных измерительных средств. Пример выбора. *Выбрать конкретное измерительное* средство можно по приложениям 1 и 2 в зависимости от измеряемого размера, допуска на изготовление и допускаемой погрешности измерения по ГОСТ 8.051-81. Однако по приложениям 1 и 2 трудно выявить весь комплекс измерительных средств, которые можно использовать для измерения с допускаемой погрешностью.

Для упрощения процесса выбора конкретных измерительных средств используются приложения 3–7. В левой части таблиц указаны диапазоны номинальных размеров, сверху квалитеты, от IT2 до IT17, а на пересечении горизонтальных полос и вертикальных колонок указаны в виде дроби допускаемые погрешности измерений (числитель) и допуски на изготовление (знаменатель). Под ними номерами и буквами из приложений 1 и 2 указаны измерительные средства и варианты их использования, при которых погрешность измерения не превышает допускаемых значений.

Для измерений внутренних размеров, а также глубин и уступов (прил. 5 и б) указана практически вся возможная номенклатура универсальных измерительных средств. При этом часть диапазонов номинальных размеров в некоторых квалитетах не обеспечена универсальными измерительными средствами. Для измерения этих размеров должны проектироваться специальные измерительные средства и разрабатываться соответствующие методики измерений.

В ответственных случаях выбора измерительных средств, особенно при проектировании и модернизации производства, следует проводить технико-экономические расчеты.

На чертеже детали указан наружный диаметр 16h5 (16_{-0,008}). Требуется выбрать средство измерения этого размера. В зависимости от конфигурации и габаритов детали и требований к методике выполнения измерения следует решить вопрос о выборе накладного или станкового измерительного средства.

Предполагается, что схема и методика выполнения измерения выбраны таким образом, что методическая погрешность сведена до пренебрежимо малой величины.

Выбор накладного средства измерений производим по прил. 4. В графе, соответствующей 5 квалитету, для диапазона размеров св. 10 до 18 мм находим обозначение «бв». В приложении 1 под номером 6 указаны микрометр рычаж-

ный и скоба рычажная. Буквой «в» обозначены условия измерения: настройка на размер должна производиться по концевым мерам длины 2 класса, при использовании отсчета в пределах ± 10 делений шкалы; температурные условия характеризуются температурным режимом 5°C , при обеспечении надежной теплоизоляции от рук оператора. Сделана оговорка, что контакт измерительных поверхностей с деталью должен быть плоскостным или линейчатым. В данном случае, измеряемая поверхность цилиндрическая, последнее условие выполняется.

Выбор станкового средства измерения производим по приложению 3. В графе, соответствующей 5 качеству, для диапазона размеров св. 10 до 18 мм находим группу обозначений: 9б, 10а, 15а, 20б, 21а, 34а, 36б. По прил. 1 устанавливаем, что номерами 9 и 10 обозначены рычажно-зубчатые головки с ценой деления 2 и 1 мкм, 15 – микрокатор с ценой деления 2 мкм, 20 и 21 – пружинные малогабаритные головки с ценой деления 2 и 1 мкм, 34 – вертикальный и горизонтальный длинномеры, 36 – показывающий прибор с индуктивным преобразователем. Из указанных приборов выбираем тот, который имеется в наличии, который проще в обращении и к условиям применения которого предъявляются менее жесткие требования.

Например, выбрана рычажно-зубчатая головка с ценой деления 1 мкм. В табл. 1.8 приложения 1 буквой «а» для нее обозначены следующие условия применения: установка в штативе с диаметром колонки не менее 30 мм и наибольшим вылетом до 200 мм (этим условиям удовлетворяют штативы Ш-11Н и ШМ-11Н), настройка по концевым мерам длины 5 разряда, температурный режим 2°C . Настройка на размер может производиться на произвольное деление, а отсчет может использоваться в пределах $\pm 0,05$ мм, т. е. в пределах всей шкалы.

Допустимо изменять условия измерения, но только таким образом, чтобы это не приводило к снижению точности измерения. Например, концевые меры 5 разряда могут быть заменены мерами более высокого разряда или нулевого класса, штатив можно заменить более жесткой стойкой и т. д. Однако следует помнить, что загроубление одного из условий, чаще всего не может быть компенсировано ужесточением остальных.

Вопросы для самоконтроля

1. *Перечислите известные Вам признаки классификации средства измерений.*
2. *Классифицируйте средства измерения и контроля по типу контролируемых физических величин.*
3. *Классифицируйте средства измерения и контроля по виду измеряемых геометрических величин.*
4. *Перечислите известные Вам средства измерения и контроля линейных размеров в машиностроении.*
5. *Для чего предназначены меры длины концевые плоскопараллельные?*
6. *Какой класс концевых мер точнее 00 или 1.*
7. *Что такое «притираемость» концевых мер?*
8. *Из каких материалов изготавливают концевые меры длины?*
9. *Для чего применяются специальные принадлежности для концевых мер?*
10. *Что относится к штриховым мерам?*

11. Что представляют собой и для чего используются щупы?
12. Как различаются калибры по конструктивным признакам?
13. Какие конструкции калибров-скоб Вы знаете?
14. На какие виды делятся калибры по назначению?
15. Какие методы контроля размеров глубин и высот уступов Вы знаете?
16. Изобразите схему контроля калибром методом «надвигания».
17. Какие средства измерения линейных размеров относятся к штангенциркулям?
18. Какие типы нониусов Вы знаете? Их основные характеристики.
19. Сколько типов штангенциркулей Вам известно? В чем их отличие?
20. Опишите конструкцию индикаторного штангенциркуля.
21. Опишите принцип действия и область применения штангенглубиномера и штангенрейсмаса.
22. На чем основан принцип действия микрометрических инструментов?
23. Для чего применяются микрометрические глубиномер и нутромер?
24. Как подразделяются средства измерения и контроля с механическим преобразованием в зависимости от типа механизма?
25. Для чего применяются рычажно-механические приборы?
26. Изобразите схему и опишите принцип действия миниметра. Каковы их недостатки.
27. Для чего применяется индикаторный нутромер.
28. Опишите принцип действия и область применения индикаторов часового типа.
29. Дайте определение понятию «статистический индикатор»
30. Опишите принцип действия приборов с рычажно-зубчатой передачей.
31. Какие приборы с рычажно-зубчатой передачей Вы знаете?
32. К каким видам приборов относятся микаторы и миникаторы? Каков принцип их действия?
33. Каковы преимущества и недостатки измерительных пружинных головок?
34. Для чего нашли широкое применение оптико-механические измерительные приборы?
35. Опишите принцип действия оптиметра.
36. Чем оптиметр отличается от оптиметра?
37. Как работает оптический длинномер?
38. Для чего применяются измерительные машины и интерферометры?
39. Каков принцип действия интерферометра? Изобразите принципиальную схему.
40. Где и для чего нашли применение оптические измерительные приборы. Какие их виды Вы знаете?
41. Изобразите оптическую схему инструментального микроскопа.
42. Для чего применяются проекторы.
43. Каковы преимущества пневматических измерительных приборов?
44. Какие типы пневматических измерительных приборов Вы знаете?
45. Изобразите схемы приборов давления и приборов расхода.
46. Опишите принцип действия и область применения электрических, электромеханических и радиоактивных измерительных приборов.
47. Что такое «допускаемая погрешность измерения»?
48. Дайте определение понятию «приемочная граница». Как они могут располагаться?
49. Чему равна погрешность измерения при арбитражной перепроверке?
50. Какими параметрами оценивается влияние погрешности измерения при приемочном контроле? Как их определить?
51. Как участвуют в выборе измерительных средств конструкторская, технологическая и метрологическая службы?
52. Опишите алгоритм выбора средства измерения линейных размеров.

ЛИТЕРАТУРА

1. Артемьев, Б. Г. Справочное пособие для работников метрологических служб. В 2 книгах / Б. Г. Артемьев, С. М. Голубев. – Москва : Изд-во стандартов, 1986. – 352 с.
2. Дельцова, В. Д. Метрология, стандартизация, сертификация и управление качеством : учеб. пособие / В. Д. Дельцова ; УО «ВГТУ». – Витебск, 2002. – 294 с.
3. Контрольно – измерительные приборы и инструменты : учебник для нач. проф. образования / С. А. Зайцев [и др.]. – Москва : Издательский центр «Академия», 2005. – 464 с.
4. Метрологическая экспертиза технической документации / Ю. Н. Яковлев [и др.]. – Москва : Изд-во стандартов. – 1992. – 184 с.
5. Метрологическое обеспечение и эксплуатация измерительной техники / Г. П. Богданов [и др.] ; под ред. В. А. Кузнецова. – Москва : Радио и связь, 1990. – 240 с.
6. Никифоров, А. Д. Метрология, стандартизация и сертификация : учеб. пособие / А. Д. Никифоров, Т. А. Бакиев. – Москва : Высшая школа, 2003. – 422 с.
7. Новицкий, П. Ф. Оценка погрешностей результатов измерений / П. Ф. Новицкий, И. А. Зограф. – Москва : Энергоатомиздат, 1985. – 320 с.
8. Перельштейн, Е. Л. Метрологическая служба промышленного предприятия / Е. Л. Перельштейн. – Москва : Издательство стандартов, 1982. – 192 с.
9. Проектирование технологических процессов. Технология станкостроения : справочник по курсовому проектированию и технологической части дипломных проектов / сост. Е. И. Махаринский и [др.] ; УО «ВГТУ». – Витебск, 2007. – 211 с.
10. Рейх, Н. Н. Метрологическое обеспечение производства : учеб. пособие для ВИСМ / Н. Н. Рейх, А. А. Тупиченко, В. Г. Цейтлин ; под ред. Л. К. Исаева. – Москва : Изд-во стандартов, 1987. – 248 с.
11. Сергеев, А. Г. Метрология : учеб. пособие для вузов / А. Г. Сергеев, В. В. Крохин. – Москва : Логос, 2001. – 408 с.
12. Сорочкин, Б. М. Автоматизация измерений и контроля размеров деталей / Б. М. Сорочкин. – Ленинград : Машиностроение, 1990. – 365 с.
13. Справочник по производственному контролю в машиностроении / под ред. А. К. Кутая. – Издание третье, перераб. и доп. – Ленинград : Машиностроение, 1974. – 676 с.
14. Стандартизация и управление качеством продукции : учебник для вузов / В. А. Швандар [и др.] ; под ред. В. А. Швандара. – Москва : ЮНИТИ-ДАНА, 2000. – 487 с.
15. Тартаковский, Д. Ф. Метрология, стандартизация и технические средства измерений : учеб. для вузов / Д. Ф. Тартаковский, А. С. Ястребов. – Москва : Высшая школа, 2001. – 205 с.
16. Тюрин, Н. И. Введение в метрологию / Н. И. Тюрин. – Москва : Издательство стандартов, 1976. – 304 с.
17. Ящерицын, П. И. Планирование эксперимента в машиностроении / П. И. Ящерицын, Е. И. Махаринский. – Минск : Высшэйшая школа, 1985. – 287 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

**Предельные погрешности измерения наружных линейных размеров, биений
и глубин универсальными измерительными средствами**

Таблица 1.1

| Средства измерения | | Предельные погрешности измерения, мкм, для диапазона размеров, мм |
|---------------------|--|---|
| № для прил. 4, 5, 6 | Наименование и случаи применения | |
| 1 | Линейка измерительная металлическая с ценой деления 1 мм | до 500 500 |

Таблица 1.2

| Средства измерения | | Предельные погрешности измерения, мкм, для диапазона размеров, мм | | | | | | |
|--------------------|--|---|-------------|-------------|--------------|---------------|---------------|---------------|
| № для прил. 4 | Наименование и случаи применения | до 10 | св 10 до 50 | св 50 до 80 | св 80 до 120 | св 120 до 180 | св 180 до 250 | св 250 до 500 |
| 2 | Штангенциркули (ШЦ-I, ШЦТ-I, ШЦ-II, ШЦ-III) с отсчетом по нониусу 0,1 мм | 150 | 150 | 200 | 200 | 200 | 200 | 250 |
| 3 | Штангенциркули (ШЦ-II, ШЦ-III) с отсчетом по нониусу 0,05 мм | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | - |

Таблица 1.3

| Средства измерения | | Варианты использования | Температурный режим, °С, для диапазона размеров, мм | | Предельные погрешности измерения, мкм, для диапазона размеров, мм | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------|---|------------------------|---|--------|---|--------|-------------|--------------|---------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--|
| № для прил. 4 | Наименование и случаи применения | | 0-50 | 50-250 | 250-500 | до 25 | св.25 до 50 | св. 50 до 75 | св. 75 до 100 | св. 100 до 125 | св. 125 до 150 | св. 150 до 175 | св. 175 до 200 | св. 200 до 225 | св. 225 до 250 | св. 250 до 275 | св. 275 до 300 | св. 300 до 400 | св. 400 до 500 | |
| 4 | Микрометры гладкие (МК) с величиной отсчета 0,001 мм при настройке на нуль по установочной мере | а* б* | 5 5 | 5 2 | 5 1 | 5 5 | 10 5 | 10 5 | 15 5 | 15 10 | 15 10 | 20 10 | 20 10 | 25 10 | 25 10 | 30 10 | 30 10 | 40 10 | 50 10 | |

* Микрометры при работе находятся в руках.

** Микрометры при работе находятся в стойке или обеспечивается надежная изоляция от тепла рук оператора.

Таблица 1.4

| Средства измерения | | Варианты использования | Условия измерения | | | | Предельные погрешности измерения, мкм, для диапазона размеров, мм | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------|---|------------------------|--------------------------|---|--------------------------------|--|---|---------|---------|-------|--------------|--------------|--------------|---------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--|--|--|--|
| № для прл. 4 | Наименование и случаи применения | | Вид контакта | Используемое перемещение измерительного стержня, мм | Класс применяемых концевых мер | Температурный режим °С, для диапазона размеров, мм | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | 0-50 | 50-100 | 100-200 | 200-500 | до 10 | св. 10 до 30 | св. 30 до 50 | св. 50 до 80 | св. 80 до 100 | св. 100 до 180 | св. 180 до 200 | св. 200 до 300 | св. 300 до 400 | св. 400 до 500 | | | | |
| 5 | Скобы индикаторные (СИ) с ценой деления 0,01 мм | а* | Любой | 3 | 5 | 5 | 5 | 5 | 10 | 12 | 15 | 15 | 20 | 20 | 25 | 40 | 50 | 60 | | | | | |
| | | б** | Любой | 3 | 4 | 5 | 5 | 2 | 10 | 10 | 10 | 12 | 12 | 12 | 15 | 18 | 20 | 25 | | | | | |
| | | в** | Плоскостный и линейчатый | 0,1 | 4 | 5 | - | - | 6 | 7 | 7 | - | - | - | - | - | - | - | - | | | | |
| | | г** | Плоскостный и линейчатый | 0,02-0,03 | 3 | 5 | 2 | 1 | - | 5 | 5 | 5 | 5 | 6 | 6 | 7 | - | - | - | | | | |

* Скобы при работе находятся в руках.

** Скобы при работе находятся в стойке или обеспечивается надежная изоляция от тепла рук оператора.

Таблица 1.5

| Средства измерения | | Варианты использования | Условия измерения | | | Предельные погрешности измерения, мкм, для диапазона размеров, мм | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------|---|------------------------|--------------------------|-----------------------------------|--|---|---------|-------|--------------|--------------|---------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| № для прл. 4 | Наименование и случаи применения | | Вид контак-та | Класс приме-няемы х кон-цевых мер | Темпера-турный ре-жим °С, для диапазона размеров, мм | | | до 25 | св. 25 до 50 | св. 50 до 75 | св. 75 до 100 | св. 100 до 125 | св. 125 до 150 | св. 150 до 175 | св. 175 до 200 | св. 200 до 250 | св. 250 до 300 | св. 300 до 400 | св. 400 до 500 |
| | | | | | 0-50 | 50-200 | 200-500 | | | | | | | | | | | | |
| 6 | Микрометры рычажные (МР и МРИ) с ценой деления 0,002 мм и 0,01 мм при установке на нуль по установочной мере и скобы рычажные (СР) с ценой деления 0,002 мм при настройке на нуль по концевым мерам длины при использовании на всем пределе измерения | а* | Любой | 3 | 5 | 5 | 5 | 4 | 7 | 9 | 12 | 14 | 16 | 18 | 21 | 26 | 30 | 40 | 50 |
| | | б** | Любой | 3 | 5 | 2 | 1 | 4 | 4,5 | 5 | 5 | 6 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 10*** | 10*** |
| | То же при настройке на нуль по концевым мерам длины и использовании отсчета на ± 10 делениях шкалы | в** | Плоскостный и линейчатый | 2 | 5 | 2 | 1 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3,5 | 4 | 4,5 | 5 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| | | г** | Плоскостный и линейчатый | 1 | 1 | 0,5 | 0,5 | 0,6 | 0,8 | 0,8 | 1,0 | 1,2 | 1,3 | 1,4 | 1,7 | 1,8 | 2,3 | 2,6 | 3,3 |

* При работе приборы находятся в руках.

** При работе приборы находятся в стойке или обеспечивается надежная теплоизоляция от рук оператора.

*** При измерении микрометром рычажным с ценой деления 0,002 мм погрешность равна соответственно 8мкм и 9мкм.

Таблица 1.6

| Средства измерения | | Варианты использования | Условия измерения | | | | Предельные погрешности измерения мкм, для диапазона размеров, мм | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|--|--|---|---------------------------------|--|--|---------|-----|-----|------|-------|-------|-------|-------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|
| № для прил. 3 и 7 | Наименование и случаи применения | | Установочные узлы по ГОСТ 10197-70 | Используемое перемещение измерительного стержня, мм | Классы применяемых концевых мер | Температурный режим, °С, для диапазона измеряемых размеров, мм | | | 1-3 | 3-6 | 6-10 | 10-18 | 18-30 | 30-50 | 50-80 | 80-120 | 120-180 | 180-250 | 250-315 | 315-400 | 400-500 |
| | | | | | | 1-30 | 30-120 | 120-500 | | | | | | | | | | | | | |
| 7 | Индикаторы часового типа (ИЧ и ИТ) с ценой деления 0,01 мм и пределом измерения от 2 до 10 мм, класс точности 1 | а б в г д | До 250 мм – штативы и стойки с диаметром колонки не менее 30 мм и наибольшим вылетом головки до 200 мм (С-IV; Ш-11Н; ШМ-11Н) Св. 250 мм – штативы с диаметром колонки не менее 50 мм и наибольшим вылетом головки до 500 мм (Ш-11В; ШМ-11В) | 10 5 2 1 0,1 | 5 5 4 3 3 | 5 5 5 2 1 | 5 5 2 1 1 | 15 | 15 | 15 | 15 | 16 | 16 | 18 | 20 | 22 | 25 | 35 | 40 | 45 | |
| | | | | | | | | 12 | 13 | 13 | 13 | 14 | 14 | 15 | 18 | 20 | 25 | 35 | 40 | 45 | |
| | | | | | | | | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 12 | 12 | 12 | 14 | 18 | 20 | 22 | |
| | | | | | | | | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 9 | 10 | 10 | 11 | 12 | |
| | | | | | | | | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 6 | 6 | 6 | 7 | 7 | 8 | 9 | |
| | | | | | | | | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 5 | 5 | 6 | |
| | То же, класс точности 0 | е ж з и к | До 250 мм – штативы и стойки с диаметром колонки не менее 30 мм и наибольшим вылетом головки до 200 мм (С-IV; Ш-11Н; ШМ-11Н) Св. 250 мм – штативы с диаметром колонки не менее 50 мм и наибольшим вылетом головки до 500 мм (Ш-11В; ШМ-11В) | 10 5 2 1 0,1 | 4 4 3 3 3 | 5 5 5 2 1 | 2 2 2 1 1 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 13 | 14 | 14 | 15 | 18 | 20 | 22 | |
| | | | | | | | | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 12 | 12 | 12 | 14 | 18 | 20 | 22 | |
| | | | | | | | | 8 | 8 | 8 | 9 | 9 | 9 | 10 | 10 | 10 | 10 | 12 | 14 | 16 | |
| | | | | | | | | 6 | 6 | 6 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 8 | 8 | 10 | 10 | 12 | |
| | | | | | | | | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 5 | 5 | 6 | 7 | |
| | | | | | | | | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 5 | 5 | 6 | 7 | |
| Индикаторы часового типа (ИЧ и ИТ) с ценой деления 0,01 мм и пределом измерения от 2 до 10 мм, класс точности 1, при измерении биений | л н о п р | До 250 мм – штативы и стойки с диаметром колонки не менее 30 мм и наибольшим вылетом головки до 200 мм (С-IV; Ш-11Н; ШМ-11Н) Св. 250 мм – штативы с диаметром колонки не менее 50 мм и наибольшим вылетом головки до 500 мм (Ш-11В; ШМ-11В) | 10 5 2 1 0,1 0,02-0,03 | - | - | - | - | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| То же, класс точности 0 | с т у ф х | До 250 мм – штативы и стойки с диаметром колонки не менее 30 мм и наибольшим вылетом головки до 200 мм (С-IV; Ш-11Н; ШМ-11Н) Св. 250 мм – штативы с диаметром колонки не менее 50 мм и наибольшим вылетом головки до 500 мм (Ш-11В; ШМ-11В) | 10 5 2 1 0,1 | - | - | - | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Таблица 1.7

| Средства измерения | | Варианты использования | Условия измерения | Предельные погрешности измерения, мкм |
|--------------------|--|------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|
| № для табл. IX | Наименование и случаи применения | | Используемый предел измерения, мм | |
| 8 | Индикаторы рычажно-зубчатые (ИРБ и ИРТ) с ценой деления 0,01 мм и пределом измерения 0,8 мм при измерении биения | а | 0,8 | 15 |
| | | б | 0,1 | 10 |
| | | в | 0,01-0,02 | 5 |

Таблица 1.8

| Средства измерения | | Варианты использования | Условия измерения | | | | | | Предельные погрешности измерения, мкм, для диапазона размеров, мм | | | | | | | | | | |
|--------------------|---|------------------------|--|------------------------------------|---------------------------|---------|--|-----|---|------|------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|----------------|----------------|
| | | | Используемое перемещение измерительного стержня в мм | Установочные узлы по ГОСТ 10197-70 | Применяемые концевые меры | | Температурный режим, °С, для диапазона измеряемых размеров, мм | | | до 3 | св. 3 до 6 | св. 6 до 10 | св. 10 до 18 | св. 18 до 30 | св. 30 до 50 | св. 50 до 80 | св. 80 до 120 | св. 120 до 180 | св. 180 до 250 |
| класс | разряд | 1-30 | | | 30-120 | 120-250 | | | | | | | | | | | | | |
| 9 | Головки рычажно-зубчатые (2ИГ) с ценой деления 0,002 мм и пределом измерения $\pm 0,1$ мм; с настройкой по концевым мерам длины на любое деление | а | $\pm 0,10$ | Штативы* | 3 | - | 5 | 2 | 1 | 3 | 3 | 3 | 3,5 | 3,5 | 3,5 | 4 | 4,5 | 5 | 6 |
| | То же с настройкой на нулевое деление | б | $\pm 0,06$ | Стойки** | - | 5 | 2 | 1 | 0,5 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,5 | 1,5 | 1,6 | 1,8 | 2,2 | 2,2 | - |
| | Головки рычажно-зубчатые (2ИГ) с ценой деления 0,002 мм и пределом измерения $\pm 0,1$ мм; при измерении биений | в | 0,04 | Штативы* | - | - | - | - | - | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,8 | 1,8 | 1,8 |
| 10 | Головки рычажно-зубчатые (1ИГ) с ценой деления 0,001 мм и пределом измерения $\pm 0,05$ мм; с настройкой по концевым мерам длины на любое деление | а | $\pm 0,050$ | Штативы* | - | 5 | 2 | 1 | 0,5 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2,5 | 2,5 | 2,8 | |
| | То же с настройкой на нулевое деление | б | $\pm 0,030$ | Стойки** | - | 4 | 2 | 0,5 | 0,2 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 1,0 | 1,0 | - |
| | Головки рычажно-зубчатые (1ИГ) с ценой деления 0,001 мм и пределом измерения $\pm 0,05$ мм; при измерении биений | в | 0,020 | Штативы* | - | - | - | - | - | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 1,1 | 1,1 | 1,1 |

* Штативы с диаметром колонки не менее 30 мм и наибольшим вылетом головки до 200 мм (Ш-11Н и ШМ-11Н).

** Стойки с пределами измерения 0-160 мм и 0-100 мм и диаметром колонки не менее 50 мм и не менее 30 мм соответственно (С-II и С-III).

Таблица 1.9

| Средства измерения | | Варианты использования | Условия измерения | | | | | Предельные погрешности измерения, мкм, для диапазона размеров, мм | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------|---|------------------------|--|------------------------------------|--------------------------------|--|---|---|------|------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|----------------|----------------|---|-----|----------|---|---|-----|---|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|---|---|---|
| | | | Используемое перемещение измерительного стержня в мм | Установочные узлы по ГОСТ 10197-70 | Класс применяемых концевых мер | Температурный режим, °С, для диапазона измеряемых размеров, мм | | | до 3 | св. 3 до 6 | св. 6 до 10 | св. 10 до 18 | св. 18 до 30 | св. 30 до 50 | св. 50 до 80 | св. 80 до 120 | св. 120 до 180 | св. 180 до 250 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1-30 | 30-120 | 120-250 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| № для прил. 3 и 7 | Наименование и случаи применения | а | 2 | Штативы* | 4 | 5 | 5 | 2 | 5 | 5 | 5 | 6 | 6 | 7 | 8 | 10 | 10 | 12 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | б | 1 | Штативы* | 3 | 5 | 2 | 2 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 6 | 7 | 8 | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | в |
| 11 | Индикаторы многооборотные (2МИГ) с ценой деления 0,002 мм и пределом измерения 2 мм | г | 2 | Штативы* | - | - | - | - | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | д | 1 | Штативы* | - | - | - | - | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 12 | Индикаторы многооборотные (1МИГ) с ценой деления 0,001 мм и пределом измерения 1 мм | а | 1 | Штативы* | 2 | 5 | 1 | 0,5 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3,5 | 3,5 | 4 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | б | 0,2 | Стойки** | 5 | 1 | 0,5 | 2 | 2 | 2,2 | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 3 | 3 | 3 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| г | 0,05 | Стойки** | - | - | - | - | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | - | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

* Штативы с диаметром колонки не менее 30 мм и наибольшим вылетом головки до 200 мм (Ш-11Н и ШМ-11Н).

** Стойки с пределами измерения 0-160 мм и 0-100 мм и диаметром колонки не менее 50 мм и не менее 30 мм соответственно (С-II и С-III).

Таблица 1.10

| Средства измерения | | Варианты использования | Условия измерения | | | | | | Предельные погрешности измерения, мкм, для диапазона размеров, мм | | | | | | | | | |
|--------------------|--|------------------------|--|------------------------------------|---------------------------|--------|--|--------|---|------|------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|----------------|
| № д ля прил. 3 и 7 | Наименование и случаи применения | | Используемое перемещение измерительного стержня в мм | Установочные узлы по ГОСТ 10197-70 | Применяемые концевые меры | | Температурный режим, °С, для диапазона измеряемых размеров, мм | | | до 3 | св. 3 до 6 | св. 6 до 10 | св. 10 до 18 | св. 18 до 30 | св. 30 до 50 | св. 50 до 80 | св. 80 до 120 | св. 120 до 160 |
| | | | | | класс | разряд | 1-30 | 30-120 | 120-180 | | | | | | | | | |
| 13 | Головки измерительные пружинные (микрокаторы) (10ИГП, 10ИГПГ) с ценой деления 0,01 мм и пределом измерения $\pm 0,30$ мм | а | $\pm 0,30$ | С-II* | 4 | - | 5 | 5 | 2 | 6 | 6 | 6 | 7 | 7 | 7 | 8 | 10 | 10 |
| | | б | 0,30 | С-II* | 3 | - | 5 | 2 | 1 | 4 | 4 | 4 | 4 | 5 | 5 | 5 | 6 | 6 |
| | То же, при измерении биения | в | $\pm 0,30$ | С-II* | - | - | - | - | - | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 |
| | | г | 0,30 | С-II* | - | - | - | - | - | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| 14 | Головки измерительные пружинные (микрокаторы) (5ИГП, 5ИГПГ) с ценой деления 0,005 мм и пределом измерения $\pm 0,15$ мм | а | $\pm 0,15$ | С-II* | 4 | - | 5 | 5 | 2 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 6 | 7 | 9 | 9 |
| | | б | 0,15 | С-II* | 3 | - | 5 | 2 | 1 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 4 | 5 | 5 |
| | То же, при измерении биения | в | $\pm 0,15$ | С-II* | - | - | - | - | - | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| | | г | 0,15 | С-II* | - | - | - | - | - | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| 15 | Головки измерительные пружинные (микрокаторы) (2ИГП, 2ИГПГ) с ценой деления 0,002 мм и пределом измерения $\pm 0,060$ мм | а | $\pm 0,060$ | С-II* | 2 | - | 2 | 1 | 0,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 2 | 2 | 2,5 | 2,5 |
| | | б | 0,060 | С-II* | 2 | - | 2 | 1 | 0,5 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 2,0 | 2,0 |
| | То же, при измерении биения | в | $\pm 0,060$ | С-II* | - | - | - | - | - | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 |
| | | г | 0,060 | С-II* | - | - | - | - | - | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| 16 | Головки измерительные пружинные (микрокаторы) (1ИГП, 1ИГПГ) с ценой деления 0,001 мм и пределом измерения $\pm 0,030$ мм | а | $\pm 0,030$ | С-II* | 1 | - | 2 | 0,5 | 0,2 | 0,7 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 1,0 | 0,9 | 1,0 | 1,2 | 1,2 |
| | | б | 0,030 | С-II* | 1 | - | 2 | 0,5 | 0,2 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,8 | 0,9 | 1,1 | 1,0 |
| | То же, при измерении биения | в | $\pm 0,030$ | С-II* | - | - | - | - | - | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 |
| | | г | 0,030 | С-II* | - | - | - | - | - | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 |

| Средства измерения | | Варианты использования | Условия измерения | | | | | | Предельные погрешности измерения, мкм, для диапазона размеров, мм | | | | | | | | | |
|--------------------|---|------------------------|--|------------------------------------|---------------------------|--------|--|--------|---|------|------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|----------------|
| № для прил. 3 и 7 | Наименование и случаи применения | | Используемое перемещение измерительного стержня в мм | Установочные узлы по ГОСТ 10197-70 | Применяемые концевые меры | | Температурный режим, °С, для диапазона измеряемых размеров, мм | | | до 3 | св. 3 до 6 | св. 6 до 10 | св. 10 до 18 | св. 18 до 30 | св. 30 до 50 | св. 50 до 80 | св. 80 до 120 | св. 120 до 160 |
| | | | | | класс | разряд | 1-30 | 30-120 | 120-180 | | | | | | | | | |
| 17 | Головки измерительные пружинные (микрокаторы) (05ИГП) с ценой деления 0,0005 мм и пределом измерения $\pm 0,015$ мм | а | $\pm 0,015$ | С-I** | - | 3 | 1 | 0,5 | 0,2 | 0,50 | 0,50 | 0,50 | 0,60 | 0,60 | 0,60 | 0,70 | 0,90 | 0,80 |
| | | б | 0,015 | С-I** | - | 2 | 1 | 0,2 | 0,2 | 0,40 | 0,40 | 0,40 | 0,50 | 0,50 | 0,50 | 0,50 | 0,60 | 0,70 |
| | То же, при измерении биения | в | $\pm 0,015$ | С-I** | - | - | - | - | - | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 |
| | | г | 0,015 | С-I** | - | - | - | - | - | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 |
| 18 | Головки измерительные пружинные (микрокаторы) (02ИГП) с ценой деления 0,0002 мм и пределом измерения $\pm 0,006$ мм | а | $\pm 0,006$ | С-I** | - | 2 | 0,5 | 0,1 | 0,1 | 0,30 | 0,30 | 0,30 | 0,40 | 0,40 | 0,40 | 0,50 | 0,60 | |
| | | б | 0,006 | С-I** | - | 2 | 0,5 | 0,1 | 0,1 | 0,30 | 0,30 | 0,30 | 0,35 | 0,35 | 0,35 | 0,40 | 0,50 | 0,50 |
| | То же, при измерении биения | в | $\pm 0,006$ | С-I** | - | - | - | - | - | 0,20 | 0,20 | 0,20 | 0,20 | 0,20 | 0,20 | 0,20 | 0,20 | 0,20 |
| | | г | 0,006 | С-I** | - | - | - | - | - | 0,15 | 0,15 | 0,15 | 0,15 | 0,15 | 0,15 | 0,15 | 0,15 | 0,15 |
| 19 | Головки измерительные пружинные (микрокаторы) (01ИГП) с ценой деления 0,0001 мм и пределом измерения $\pm 0,004$ мм | а | $\pm 0,004$ | С-I** | - | 2 | 0,5 | 0,1 | 0,1 | 0,30 | 0,30 | 0,30 | 0,35 | 0,35 | 0,35 | 0,40 | 0,50 | 0,50 |
| | | б | 0,003 | С-I** | - | 2 | 0,5 | 0,1 | 0,1 | 0,25 | 0,25 | 0,25 | 0,35 | 0,35 | 0,35 | 0,40 | 0,45 | 0,50 |
| | То же, при измерении биения | в | $\pm 0,004$ | С-I** | - | - | - | - | - | 0,15 | 0,15 | 0,15 | 0,15 | 0,15 | 0,15 | 0,15 | 0,15 | 0,15 |
| | | г | 0,003 | С-I** | - | - | - | - | - | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,10 |

* С-II – стойки с пределом измерений 0-160 мм, вылетом головки 75 мм и диаметром колонки 50 мм.

** С-I – стойки с пределом измерений 0-160 мм, вылетом головки 75 мм и диаметром колонки 70 мм.

Таблица 1.11

| Средства измерения | | Варианты использования | Условия измерения | | | | | | Предельные погрешности измерения, мкм, для диапазона размеров, мм | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------|---|------------------------|---|------------------------------------|---------------------------|--------|---|--------|---|------|------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| № для прил 3 и 7 | Наименование и случаи применения | | Используемые перемещения измерительного стержня, мм | Установочные узлы по ГОСТ 10197-70 | Применяемые концевые меры | | Температурный режим, °С, для диапазона размеров, мм | | | до 3 | св. 3 до 6 | св. 6 до 10 | св. 10 до 18 | св. 18 до 30 | св. 30 до 50 | св. 50 до 80 | св. 80 до 120 | св. 120 до 180 | св. 180 до 250 | св. 250 до 315 | св. 315 до 400 | св. 400 до 500 |
| | | | | | класс | разряд | до 30 | 30-120 | 120-500 | | | | | | | | | | | | | |
| 20 | Головки измерительные пружинные малогабаритные (микаторы) (2ИПМ) с ценой деления 0,002 мм и пределом измерения ±0,1 мм | а | ±0,1 | Штативы* | 3 | - | 5 | 2 | 1 | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 3,5 | 4,5 | 4,5 | 5,5 | 7,5 | 8,5 | 10 |
| | | б | 0,06 | Штатив | 2 | - | 2 | 1 | 0,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,6 | 1,5 | 2 | 2 | 2 | 3 | 4 | 4 | 5 |
| | То же, при измерении биения | в | ±0,1 | Штативы* | - | - | - | - | - | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2,5 | 3 | 3,5 | |
| | | г | 0,06 | Штативы* | - | - | - | - | - | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 2 | 2 |
| 21 | Головки измерительные пружинные малогабаритные (микаторы) (1ИПМ, 1ИПМУ) с ценой деления 0,001 мм и пределом измерения ±0,05 мм | а | ±0,05 | Штативы* | 2 | - | 2 | 1 | 0,5 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 2 | 2 | 2 | 3 | 4 | 4,5 | 5,5 |
| | | б | 0,03 | Штативы* | 1 | - | 2 | 0,5 | 0,2 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 0,8 | 1 | 1,2 | 1,2 | 1,5 | 2 | 2,5 | 3 |
| | То же, (с нормальным измерительным усилием – 1ИПМ) при измерении биения | в | ±0,05 | Штативы* | - | - | - | - | - | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,2 | 1,8 | 2,4 | 2,6 |
| | | г | 0,03 | Штативы* | - | - | - | - | - | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,9 | 1,3 | 1,6 | 1,8 |
| | То же, (с уменьшенным измерительным усилием – 1ИПМУ) при измерении биения | д | 0,03 | Стойки** | - | - | - | - | - | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | - | - | - | - | |
| | | е | ±0,05 | Штативы* | - | - | - | - | - | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,5 | 1,8 | 1,9 | |
| | | ж | 0,03 | Штативы* | - | - | - | - | - | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 1 | 1,2 | 1,3 | |
| 22 | Головки измерительные пружинные малогабаритные (микаторы) с нормальным измерительным усилием (05ИПМ) с ценой деления 0,0005 мм и пределом измерения ±0,025 мм | а | ±0,025 | Штативы* | - | 3 | 2 | 0,5 | 0,2 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 0,8 | 0,9 | 1,1 | 1,0 | 1,1 | 1,8 | 2,5 | 2,8 |
| | | б | 0,015 | Стойки** | - | 3 | 2 | 0,5 | 0,2 | 0,4 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,7 | - | - | - | - |
| | То же, при измерении биения | в | ±0,025 | Штативы* | - | - | - | - | - | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 1,6 | 2,2 | 2,5 |
| | | г | 0,015 | Штативы* | - | - | - | - | - | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 1 | 1,5 | 1,7 |
| | | д | 0,015 | Стойки** | - | - | - | - | - | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | - | - | - | - |

| Средства измерения | | Варианты использования | Условия измерения | | | | | | Предельные погрешности измерения, мкм, для диапазона размеров, мм | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------|--|------------------------|---|------------------------------------|---------------------------|--------|---|--------|---|------|------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| № для прил. 3 и 7 | Наименование и случаи применения | | Используемые перемещения измерительного стержня, мм | Установочные узлы по ГОСТ 10197-70 | Применяемые концевые меры | | Температурный режим, °С, для диапазона размеров, мм | | | до 3 | св. 3 до 6 | св. 6 до 10 | св. 10 до 18 | св. 18 до 30 | св. 30 до 50 | св. 50 до 80 | св. 80 до 120 | св. 120 до 180 | св. 180 до 250 | св. 250 до 315 | св. 315 до 400 | св. 400 до 500 |
| | | | | | класс | разряд | до 30 | 30-120 | 120-500 | | | | | | | | | | | | | |
| 23 | Головки измерительные пружинные малогабаритные (микаторы) с уменьшенным измерительным усилием (05ИПМУ) с ценой деления 0,0005 мм и пределом измерения $\pm 0,025$ мм | а | $\pm 0,025$ | Штативы* | - | 3 | 2 | 0,5 | 0,2 | 0,6 | 0,6 | 0,7 | 0,7 | 0,8 | 0,7 | 0,8 | 1,0 | 0,9 | 1,0 | 1,5 | 2,0 | 2,2 |
| | То же, при измерении биения | б | $\pm 0,025$ | Штативы* | - | - | - | - | - | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 1,2 | 1,5 | 1,7 |
| | | в | 0,015 | Штативы* | - | - | - | - | - | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,7 | 0,9 | 1,0 |
| 24 | Головки измерительные пружинные малогабаритные (микаторы) (02ИПМ, 02ИПМУ) с ценой деления 0,0002 мм и пределом измерения $\pm 0,010$ мм | а | $\pm 0,01$ | Штативы* | - | 2 | 1 | 0,5 | 0,2 | 0,45 | 0,45 | 0,50 | 0,50 | 0,60 | 0,60 | 0,70 | 1,0 | 0,9 | 0,9 | | | |
| | | б | 0,006 | Штативы* | - | 2 | 1 | 0,5 | 0,2 | 0,30 | 0,30 | 0,35 | 0,40 | 0,50 | 0,45 | 0,60 | 0,80 | 0,70 | 0,70 | | | |
| | То же, при измерении биения | в | $\pm 0,01$ | Штативы* | - | - | - | - | - | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | - | - | - |
| | | г | 0,006 | Штативы* | - | - | - | - | - | 0,25 | 0,25 | 0,25 | 0,25 | 0,25 | 0,25 | 0,25 | 0,35 | 0,35 | 0,35 | - | - | - |
| | д | 0,006 | Стойки** | - | - | - | - | - | 0,15 | 0,15 | 0,15 | 0,15 | 0,15 | 0,15 | 0,15 | 0,15 | 0,15 | - | - | - | - | |

* До 250 мм – штативы с диаметром колонки не менее 30 мм и наибольшим вылетом головки до 200 мм (Ш-11Н, ШМ-11Н).

св. 250 мм до 500 мм - штативы с диаметром колонки не менее 50 мм и наибольшим вылетом головки до 500 мм (Ш-11В, ШМ-11В).

** Стойки с пределами измерения 0-160 мм и 0-100 мм и диаметром колонки не менее 50 мм и не менее 30 мм соответственно (С-II и С-III).

Таблица 1.12

| Средства измерения | | Варианты использования | Условия измерения | | | | | | Предельные погрешности измерения, мкм, для диапазона размеров, мм | | | | | | | | | | |
|--------------------|--|------------------------|--|------------------------------------|---------------------------|--------|--|--------|---|------|------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|----------------|------|
| № для прил 3 и 7 | Наименование и случаи применения | | Используемое перемещение измерительного стержня в мм | Установочные узлы по ГОСТ 10197-70 | Применяемые концевые меры | | Температурный режим, °С, для диапазона измеряемых размеров, мм | | | до 3 | св. 3 до 6 | св. 6 до 10 | св. 10 до 18 | св. 18 до 30 | св. 30 до 50 | св. 50 до 80 | св. 80 до 120 | св. 120 до 160 | |
| | | | | | класс | разряд | 1-30 | 30-120 | 120-180 | | | | | | | | | | |
| 25 | Головки измерительные пружинно-оптические (оптикаторы) (1П) с ценой деления 0,001 мм и пределом измерения 0,25 мм | а | ± 0,100 | С-1* | 1 | - | 2 | 0,5 | 0,2 | 0,90 | 0,90 | 0,90 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,1 | 1,3 | 1,3 | |
| | | б | 0,100 | С-1* | 1 | - | 2 | 0,5 | 0,2 | 0,60 | 0,60 | 0,60 | 0,70 | 0,80 | 0,70 | 0,90 | 1,2 | 1,0 | |
| | То же, при измерении биений | в | ± 0,100 | С-1* | - | - | - | - | - | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 |
| | | г | 0,100 | С-1* | - | - | - | - | - | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 |
| 26 | Головки измерительные пружинно-оптические (оптикаторы) (05П) с ценой деления 0,0005 мм и пределом измерения 0,1 мм | а | ± 0,050 | С-1* | - | 3 | 1 | 0,5 | 0,2 | 0,50 | 0,50 | 0,50 | 0,60 | 0,60 | 0,60 | 0,70 | 0,90 | 0,70 | |
| | | б | 0,050 | С-1* | - | 2 | 1 | 0,5 | 0,1 | 0,35 | 0,35 | 0,35 | 0,40 | 0,50 | 0,50 | 0,60 | 0,80 | 0,60 | |
| | То же, при измерении биений | в | ± 0,050 | С-1* | - | - | - | - | - | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 |
| | | г | 0,050 | С-1* | - | - | - | - | - | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 |
| 27 | Головки измерительные пружинно-оптические (оптикаторы) (02П) с ценой деления 0,0002 мм и пределом измерения 0,050 мм | а | ± 0,020 | С-1* | - | 2 | 0,5 | 0,1 | 0,1 | 0,30 | 0,30 | 0,30 | 0,30 | 0,35 | 0,35 | 0,35 | 0,45 | 0,45 | |
| | | б | 0,020 | С-1* | - | 2 | 0,5 | 0,1 | 0,1 | 0,25 | 0,25 | 0,30 | 0,30 | 0,30 | 0,30 | 0,35 | 0,40 | 0,40 | |
| | То же, при измерении биений | в | ± 0,020 | С-1* | - | - | - | - | - | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 |
| | | г | 0,020 | С-1* | - | - | - | - | - | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 |
| 28 | Головки измерительные пружинно-оптические (оптикаторы) (01П) с ценой деления 0,0001 мм и пределом измерения 0,024 мм | а | ± 0,010 | С-1* | - | 2 | 0,5 | 0,1 | 0,1 | 0,25 | 0,25 | 0,25 | 0,30 | 0,30 | 0,35 | 0,35 | 0,40 | 0,40 | |
| | | б | 0,010 | С-1* | - | 2 | 0,5 | 0,1 | 0,1 | 0,25 | 0,25 | 0,25 | 0,25 | 0,30 | 0,30 | 0,30 | 0,40 | 0,40 | |
| | То же, при измерении биений | в | ± 0,010 | С-1* | - | - | - | - | - | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 |
| | | г | 0,010 | С-1* | - | - | - | - | - | 0,06 | 0,06 | 0,06 | 0,06 | 0,06 | 0,06 | 0,06 | 0,06 | 0,06 | 0,06 |

* С-1 – стойки с пределом измерений 0-160 мм, вылетом головки 75 мм и диаметром колонки 70 мм.

Таблица 1.13

| Средства измерения | | Варианты использования | Условия измерения | | Предельные погрешности измерения, мкм |
|--------------------|--|------------------------|--------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|
| № для прил. 7 | Наименование и случаи применения | | Используемая цена деления, мкм | Используемый предел измерения, мкм | |
| 29 | Головки измерительные рычажно-пружинные с ценой деления 0,001 (0,002) мм и пределом измерения 0,040 (0,080) мм при измерении биений. Положение головки горизонтальное, шкалой вверх. | а | 2 | 0,080 | 3 |
| | | б | 2 | 0,040 | 2 |
| | | в | 1 | 0,040 | 1 |
| | | г | 1 | 0,020 | 0,5 |

Таблица 1.14

| Средства измерения | | Варианты использования | Условия измерения | | | | | Предельные погрешности измерения, мкм, для диапазона размеров, мм | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------|---|------------------------|---|---|-----------------------------|--------|-------|---|------|------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| № для прил. 3 | Наименование и случаи применения | | Используемое перемещение измерительного стержня, мм | Тип наконечника и вид контакта | Применяемые контактные меры | | | Температурный режим, °С, для диапазона измеряемых размеров, мм | до 3 | св. 3 до 6 | св. 6 до 10 | св. 10 до 18 | св. 18 до 30 | св. 30 до 50 | св. 50 до 80 | св. 80 до 120 | св. 120 до 180 | св. 180 до 250 | св. 250 до 315 | св. 315 до 400 | св. 400 до 500 |
| | | | | | класс | разряд | до 30 | | | | | | | | | | | | | | |
| 30 | Оптиметр вертикальный, оптиметр горизонтальный, машина измерительная (ИЗМ) с ценой деления 0,001 мм и пределом измерения по шкале 0,1 мм, при измерении методом сравнения с мерой | а | ± 0,1 | При любом виде контакта | 0 | - | 1 | 0,5 | 0,2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1,5 | 1,5 | 2 | 2 |
| | | б | ± 0,06 | Сферический и ножевидный при любом виде контакта, плоский при плоскостном и линейчатом контакте | - | 2 | 1 | 0,5 | 0,1 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 |

Таблица 1.15

| Средства измерения | | Температурный режим, °С | Предельные погрешности измерения, мкм, для диапазона размеров, мм | | | | | | | | | |
|--------------------|--|-------------------------|---|------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|----------------|--|
| № для прил. 3 | Наименование и случаи применения | | до 3 | св. 3 до 6 | св. 6 до 10 | св. 10 до 18 | св. 18 до 30 | св. 30 до 50 | св. 50 до 80 | св. 80 до 120 | св. 120 до 150 | |
| 31 | Микроскопы инструментальные (большая и малая модели) | 5 | 4 | 4 | 4 | 4 | 5 | 5 | 6 | 9 | 11 | |

Примечание. Пределы измерения микроскопов инструментальных:

Малой модели до 75×25 мм;

Большой модели до 150×50 мм.

Таблица 1.16

| Средства измерения | | Варианты использования | Условия измерения | | | | Предельные погрешности измерения, мкм, для диапазона размеров, мм | | | | | | | | | | | | |
|--------------------|--|------------------------|----------------------------|-----------------------|--|--------|---|------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| № для прил. 3 | Наименование | | Форма детали | Метод измерения | Температурный режим, °С, для диапазона измеряемых размеров, мм | | до 3 | св. 3 до 6 | св. 6 до 10 | св. 10 до 18 | св. 18 до 30 | св. 30 до 50 | св. 50 до 80 | св. 80 до 120 | св. 120 до 180 | св. 180 до 250 | св. 250 до 315 | св. 315 до 400 | св. 400 до 500 |
| | | | | | до 30 | св. 30 | | | | | | | | | | | | | |
| 32 | Микроскопы измерительные универсальные | а | плоская | Проекционный | 5 | 2 | 3,0 | 3,0 | 3,5 | 3,5 | 4,0 | 4,5 | 5,5 | 7,0 | 9,0 | 12 | 16 | 20 | 25 |
| | | б | Цилиндрическая (в центрах) | Проекционный | 5 | 2 | 6,0 | 6,0 | 6,0 | 6,0 | 6,5 | 6,5 | 7,0 | 8,0 | - | - | - | - | - |
| | | в | | Метод осевого сечения | 5 | 2 | 2,5 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 3,5 | 4,0 | 5,0 | - | - | - | - | - |

Примечание. Пределы измерения универсальных измерительных микроскопов 200×100 и 500×200

Таблица 1.17

| Средства измерения | | Варианты использования | Предельные погрешности измерения, мкм, для диапазона размеров, мм | | | | | | | | | | | | |
|--------------------|--|------------------------|---|------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| № для прил. 3 | Наименование и случаи применения | | до 3 | св. 3 до 6 | св. 6 до 10 | св. 10 до 18 | св. 18 до 30 | св. 30 до 50 | св. 50 до 80 | св. 80 до 120 | св. 120 до 180 | св. 180 до 250 | св. 250 до 315 | св. 315 до 400 | св. 400 до 500 |
| 33 | Машина измерительная (ИЗМ) при абсолютных измерениях | а | 1 | 1 | 1 | 1 | 1,2 | 1,3 | 1,5 | 2 | 3 | 3,5 | 4 | 5 | 6 |
| | То же, при относительных измерениях | б | См. табл. 1.14 | | | | | | | | | | | | |

Примечание. Температурный режим при измерении размеров до 100 мм – 1 °С, свыше 100 мм – 0,5 °С.

Таблица 1.18

| Средства измерения | | Варианты использования | Условия измерения | | | | Предельные погрешности измерения, мкм, для диапазона размеров, мм | | | | | | | | | | | | |
|--------------------|---|------------------------|--------------------------------|--|--------|---------|---|------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| № для прил. 3 | Наименование и случаи применения | | Класс применяемых концевых мер | Температурный режим, °С, для диапазона измеряемых размеров, мм | | | до 3 | св. 3 до 6 | св. 6 до 10 | св. 10 до 18 | св. 18 до 30 | св. 30 до 50 | св. 50 до 80 | св. 80 до 120 | св. 120 до 180 | св. 180 до 250 | св. 250 до 315 | св. 315 до 400 | св. 400 до 500 |
| | | | | до 30 | 30-120 | св. 120 | | | | | | | | | | | | | |
| 34 | Длинномеры: горизонтальный и вертикальный при абсолютных измерениях При измерениях методом сравнения | а | - | 5 | 2 | - | 1,2 | 1,3 | 1,3 | 1,6 | 2 | 2 | 2,5 | 3 | - | - | - | - | - |
| | | б | 1 | 2 | 0,5 | 0,2 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 2,0 | 2,0 | 2,5 | 2,5 |

Примечание. Пределы измерения длинномеров: при абсолютном методе измерения 0-100 мм; при измерениях методом сравнения с мерой: горизонтального 0-500 мм, вертикального 0-250 мм.

Таблица 1.19

| № для прил. 3 | Наименование | Варианты использования | Увеличение | Предельные погрешности измерения, мкм, для диапазона размеров, мм | | | | | | |
|---------------|-------------------------|------------------------|-----------------|---|------------|-------------|--------------|--------------|--------------|---------------|
| | | | | до 3 | св. 3 до 6 | св. 6 до 10 | св. 10 до 18 | св. 18 до 30 | св. 30 до 50 | св. 50 до 100 |
| 35 | Проекторы измерительные | а | 10× | 15 | 15 | 15 | 15 | 16 | 16 | 16 |
| | | б | 20× | 8 | 8 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| | | в | 50×, 100×, 200× | 6 | 6 | 6 | 6 | 7 | 7 | 7 |

Примечания:

1. пределы измерения: часовых проекторов (ЧП-2; ПИ 360Ц) 40×25 мм; больших проекторов (БП; БП-3Ц) 100×50 мм.
2. температурные условия измерения: часовых проекторов – допустимое отклонение температуры от 20 °С до 3 °С; больших проекторов – допустимое отклонение температуры от 20 °С до 1 °С, допустимое изменение температуры в процессе измерения 1 °С.

Таблица 1.20

| Средство измерения | | Варианты использования | Условия измерения | | | | | Предельные погрешности измерения, мкм, для диапазона размеров, мм | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------|---|------------------------|------------------------------------|---------------------------|--------|---|--------|---|---------------------------|------|------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|------|-----|-----|-----|
| № для прил. 3 и 7 | Наименование и случаи применения | | Установочные узлы по ГОСТ 10197-70 | Применяемые концевые меры | | Температурный режим, °С, для диапазона размеров, мм | | | Используемая цена деления | до 3 | св. 3 до 6 | св. 6 до 10 | св. 10 до 18 | св. 18 до 30 | св. 30 до 50 | св. 50 до 80 | св. 80 до 120 | св. 120 до 180 | св. 180 до 250 | св. 250 до 315 | св. 315 до 400 | св. 400 до 500 | | | | |
| | | | | класс | разряд | до 30 | 30-120 | св. 120 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 36 | Приборы показывающие с индуктивными преобразователями с переменной ценой деления: 0,1; 0,2; 0,5; 1,0 и 2,0 мкм и пределами измерения: ± 3; ± 6; ± 15; ± 30 и ± 60 мкм при работе с одним преобразователем | а б в г | Штативы* | 2 | - | 2,0 | 1,0 | 0,5 | 2,0 | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 3,0 | 3,0 | 3,5 | 4,0 | 4,5 | 5,0 | | | | |
| | | | | | | | | | | 1,0 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,8 | 2,0 | 2,0 | 3,0 | 4,0 | 5,0 | | | | |
| | | | | | | | | | | 0,5 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 1,0 | 1,1 | 1,2 | 1,4 | 2,0 | 2,0 | 2,5 | 3,5 | 4,0 | 5,0 | | | |
| | | | | | | | | | | 0,2 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,9 | 1,0 | - | - | - | - | - | - | - | - | | | |
| | | д е ж з | Штативы* | 1 | - | 2,0 | 0,5 | 0,5 | 2,0 | 2,2 | 2,2 | 2,2 | 2,2 | 2,2 | 2,2 | 2,2 | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 3,0 | - | - | - | | | |
| | | | | | | | | | | 1,0 | 1,1 | 1,1 | 1,2 | 1,2 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,5 | 1,7 | 2,0 | - | - | - | | | |
| | | | | | | | | | | 0,5 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 0,8 | 0,9 | 1,1 | 1,4 | 1,8 | - | - | - | | | |
| | | | | | | | | | | 0,2 | 0,4 | 0,4 | 0,45 | 0,6 | 0,75 | 0,6 | 0,75 | 1,0 | 1,25 | 1,75 | - | - | - | | | |
| | | и к л м | Стойки** | - | 3 | 1,0 | 0,2 | 0,2 | 1,0 | 1,0 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,3 | - | - | - | | | | |
| | | | | | | | | | | 0,5 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | - | - | - | | | | |
| | | | | | | | | | | 0,2 | 0,35 | 0,35 | 0,35 | 0,45 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | - | - | - | | | | |
| | | | | | | | | | | 0,1 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,4 | - | - | - | - | - | - | - | - | | | | |
| н о п | Стойки** | - | 2 | 0,5 | 0,1 | 0,1 | 0,5 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,8 | - | - | - | | | | | | | |
| | | | | | | | | 0,2 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | - | - | - | | | | | | |
| | | | | | | | | 0,1 | 0,25 | 0,25 | 0,25 | 0,35 | 0,35 | 0,35 | - | - | - | - | - | - | | | | | | |
| | | | | | | | | 0,1 | 0,25 | 0,25 | 0,25 | 0,35 | 0,35 | - | - | - | - | - | - | - | | | | | | |
| То же, при измерении биения | р с т у ф | Штативы* | - | - | - | - | - | 2,0 | 2,2 | 2,2 | 2,2 | 2,2 | 2,2 | 2,2 | 2,2 | 2,2 | 2,2 | 2,2 | 2,2 | 2,2 | 2,2 | | | | | |
| | | | | | | | | 1,0 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | | |
| | | | | | | | | 0,5 | 0,55 | 0,55 | 0,55 | 0,55 | 0,55 | 0,55 | 0,55 | 0,55 | 0,55 | 0,55 | 0,55 | 0,55 | 0,55 | 0,55 | 0,55 | 0,9 | 0,9 | 1,0 |
| | | | | | | | | 0,2 | 0,25 | 0,25 | 0,25 | 0,25 | 0,25 | 0,25 | 0,25 | 0,25 | 0,25 | 0,25 | 0,25 | 0,30 | 0,30 | 0,30 | - | - | - | |
| | 0,1 | 0,15 | 0,15 | 0,15 | 0,15 | 0,15 | 0,15 | 0,15 | 0,15 | 0,15 | 0,15 | 0,15 | 0,25 | 0,25 | 0,25 | - | - | - | | | | | | | | |
| | х ц ч | Стойки** | - | - | - | - | - | 0,2 | 0,22 | 0,22 | 0,22 | 0,22 | 0,22 | 0,22 | 0,22 | 0,22 | 0,22 | - | - | - | | | | | | |

* До 250 мм – штативы с диаметром колонки не менее 30 мм и наибольшим вылетом головки до 200 мм (Ш-11Н, ШМ-11Н), св. 250 мм до 500 мм – штативы с диаметром колонки не менее 50 мм и наибольшим вылетом головки до 500 мм (Ш-11В, ШМ-11В).

** Стойки с пределами измерения 0-160 мм и 0-100 мм и диаметром колонки не менее 50 мм и не менее 30 мм соответственно (С-II и С-III).

Таблица 1.21

| Средства измерения | | Предельные погрешности измерения, мкм, для диапазона размеров, мм | | | | | | | |
|--------------------|--|---|--------------|--------------|---------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| № для прил. 6 | Наименование | до10 | св. 10 до 50 | св. 50 до 80 | св. 80 до 120 | св. 120 до 180 | св. 180 до 250 | св. 250 до 315 | св. 315 до 400 |
| 37 | Штангенглубиномер (ШГ) с отсчетом по нониусу 0,05 мм | 100 | 100 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 |

Таблица 1.22

| Средства измерения | | Варианты использования | Температурный режим, °С | Предельные погрешности измерения, мкм, для диапазона размеров, мм | | | | | |
|--------------------|---|------------------------|-------------------------|---|--------------|--------------|---------------|----------------|----------------|
| № для прил. 6 | Наименование и случаи применения | | | до 25 | св. 25 до 50 | св. 50 до 75 | св. 75 до 100 | св. 100 до 125 | св. 125 до 150 |
| 38 | Глубиномеры микрометрические (ГМ) при абсолютном методе измерения | а | 5 | 7 | 20 | 20 | 20 | 20 | 25 |
| | Глубиномеры микрометрические при измерении с настройкой по установочным мерам | б | 5 | 6 | 6 | 7 | 8 | 10 | 11 |

Таблица 1.23

| Средства измерения | | Варианты использования | Условия измерения | | | | Предельные погрешности измерения, мкм, для диапазона размеров, мм | | | | | |
|--------------------|---|------------------------|---|--------------------------------|-------------------------|--------|---|--------------|--------------|--------------|---------------|----------------|
| № для прил. 6 | Наименование и случаи применения | | Используемое перемещение измерительного стержня, мм | Класс применяемых концевых мер | Температурный режим, °С | | до 10 | св. 10 до 18 | св. 18 до 50 | св. 50 до 80 | св. 80 до 120 | св. 120 до 150 |
| | | | | | до 30 | св. 30 | | | | | | |
| 39 | Глубиномеры индикаторные (ГИ) при измерении с настройкой по установочной мере | а | 10 | - | 5 | 5 | 15 | 15 | 15 | 15 | 20 | 20 |
| | То же, с настройкой по блокам концевых мер | б в | 0,1 0,02-0,03 | 4 3 | 5 5 | 5 2 | 6 4 | 7 5 | 7 5 | 9 5 | 10 6 | 15 9 |
| 40 | Глубиномеры индикаторные (ГИ) при замене отсчетного устройства измерительной головкой с ценой деления 0,001 мм (1ИГ или 1ИПМ) и измерении с настройкой по блокам концевых мер | а | 0,002-0,003 | 2 | 2 | 1 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 2 | 2 | 2 |
| | То же, при четырехкратном измерении с переборкой блока при каждом измерении | б | 0,002-0,003 | 2 | 2 | 1 | 0,5 | 0,5 | 1,0 | 1,5 | - | - |

Предельные погрешности измерения внутренних линейных размеров универсальными измерительными средствами

таблица 2.1

| Средства измерения | | Варианты использования | Условия измерения | | | | | Предельные погрешности измерения, мкм, для диапазона размеров, мм | | | | |
|--------------------|--|------------------------|---|---|---|--|---------|---|--------------|---------------|------------------|-----------------|
| № для прил. 5 | Наименование и случаи применения | | Используемое перемещение измерительного стержня, мм | Средство установки | Шероховатость поверхности отверстий, Ra мкм | Температурный режим, °С, для диапазона измеряемых размеров, мм | | св. 3 до 18 | св. 18 до 50 | св. 50 до 120 | св. 120 до 250 | св. 250 до 500 |
| | | | | | | 3-120 | 120-500 | | | | | |
| 1 | Линейки измерительные металлические | - | - | - | - | - | - | 500 | | | | |
| 2 | Штангенциркули (ШЦ-1, ШЦТ-1, ШЦ-П, ШЦ-П) с отсчетом по нониусу 0,1 мм ¹ | - | - | - | 5 | 7 | 200 | 200 | 250 | 300 | 300 | |
| 3 | Штангенциркули (ШЦ-П, ШЦ-П) с отсчетом по нониусу 0,05 мм ¹ | - | - | - | 5 | 7 | 150 | 150 | 200 | 200 | 250 | |
| 4 | Нутромеры микрометрические (НМ) с величиной отсчета 0,01 мм | а | 13 | Микропара устанавливается по установочной мере | 5 | 5 | 3 | - | - | 15 | 20 | 30 |
| | | б | | Аттестируется размер собранного нутромера | | | | - | - | 10 | 15 | 20 |
| 5 | Нутромеры индикаторные (НИ) с ценой деления отсчетного устройства 0,01 мм ¹ | а | Весь расход | Концевые меры длины 3 класса с боковиками или микрометры ² | 5 | 5 | 3 | 15 | 20 | 25 | 25 | 30 |
| | | б | 0,1 | | 1,25 | | | 10 | 10 | 15 | 15 | 20 |
| | | в | 0,03 | Концевые меры длины 1 класса с боковиками или установочные кольца (до 160 мм) | 0,32 | 3 | 2 | 5 | 5 | 10 | 10 ³ | - |
| 6 | Нутромеры индикаторные (НИ) при замене отсчетного устройства измерительной головкой (ИГ) с ценой деления 0,001 или 0,002 мм ^{1,4} | а | 0,1 | Концевые меры длины 1 класса с боковиками или установочные кольца (до 160 мм) | 1,25 | 3 | 2 | 4,5 | 5,5 | 6,5 | 7,5 ³ | 11 ⁴ |
| | | б | 0,03 | | 0,32 | | | 2,8 | 3,5 | 4,5 | 6,5 | 9 ⁴ |
| 7 | Нутромеры с ценой деления отсчетного устройства 0,001 и 0,002 мм | а | 0,1 | Концевые меры длины 1 класса с боковиками или установочные кольца (до 160 мм) | 1,25 | 3 | 2 | 3,5 | 5 | 6 | 7 | - |
| | | б | 0,01 | Концевые меры длины 1 класса с боковиками | 0,32 | | | 2 | 3,5 | 4,5 | 5,5 | - |
| | | в | 0,01 | Установочные кольца (до 160 мм) | 0,32 | | | 1,5 | 2,5 | 3,5 | 4,5 | - |

Таблица 2.2

| Средства измерения | | Варианты использования | Условия измерения | | | | Предельные погрешности измерения, мкм, для диапазона размеров, мм | | | | |
|--------------------|---|------------------------|---|-------------------------------------|---|-------------------------|---|--------------|---------------|----------------|----------------|
| № для прл. 5 | Наименование | | Используемое перемещение измерительного стержня, мм | Средство установки | Шероховатость поверхности отверстий, Ra мкм | Температурный режим, °С | св. 13 до 18 | св. 18 до 50 | св. 50 до 120 | св. 120 до 250 | св. 250 до 500 |
| 8 | Оптиметры и длинномеры горизонтальные, измерительные машины с ценой деления отсчетного устройства 0,001 | а | ± 0,06 | Концевые меры 1 класса с боковиками | 0,25 | 2 | 1,5 | 1,5 | 2,5 | 5 | 9 |
| | | б | | Установочные кальца ⁵ | | | 1 | 1 | 1,2 | 2,5 | - |

Таблица 2.3

| Средства измерения | | Варианты использования | Условия измерения | | | | Предельные погрешности измерения, мкм, для диапазона размеров, мм | | | |
|--------------------|---|------------------------|---|---|-------------------------|---------------|---|-------------|--------------|---------------|
| № для прл. 5 | Наименование и случаи применения | | Диаметральный зазор между пробкой и отверстием, мкм | Шероховатость поверхности отверстий, Ra мкм | Температурный режим, °С | | св. 3 до 6 | св. 6 до 18 | св. 18 до 50 | св. 50 до 120 |
| | | | | | до 18 | св. 18 до 120 | | | | |
| 9 | Пневматические пробки с отсчетным прибором с ценой деления 1 мкм и 0,5 мкм с настройкой по установочным кольцам ⁵ То же, при цене деления прибора 0,5 мкм | а | 0,04-0,06 | 1,25 | 2 | | 4 | 4 | 4,5 | 5 |
| | | б | 0,03-0,04 | 1,25 | | | 3 | 3 | 3,5 | 4 |
| | | в | 0,02-0,03 | 1,25 | | | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 3 |
| | | г | 0,02-0,03 | 0,32 | | | 2 | 2 | 2,5 | 3 |
| | | д | 0,01-0,02 | | | | 1,5 | 1,5 | 2 | 2,5 |
| 10 | То же, при цене деления прибора 0,2 мкм | | 0,01-0,02 | 0,32 | 0,5 | 0,2 | 0,8 | 0,6 | 0,6 | 0,8 |

Таблица 2.4

| Средства измерения | | Температурный режим, °С, для диапазона измеряемых размеров, мм | | Предельные погрешности измерения, мкм, для диапазона размеров, мм | | | |
|--------------------|--|--|--------|---|--------------|---------------|----------------|
| № для прл. 5 | Наименование и случаи применения | 1-50 | 50-250 | до 18 | св. 18 до 50 | св. 50 до 120 | св. 120 до 250 |
| 11 | Микроскопы инструментальные (большая и малая модели) ^{6, 7} | 5 | 5 | 7 | 10 | 10 | 10 |
| 12 | Микроскопы универсальные измерительные при использовании штриховой головки ^{6, 7} | 3 | 2 | 5 | 6 | 7 | 7 |
| 13 | Приборы с электронным индикатором контакта ⁸ при настройке по концевым мерам 0 класса | 2 | 1 | 0,3 | 0,3 | 0,5 | 0,5 |
| 14 | Приборы с электронным индикатором контакта для измерения диаметра малых отверстий при настройке по концевым мерам 0 класса | 2 | - | 0,5 | - | - | - |

Примечания к табл. II:

¹ Штангенциркули имеют нижний предел измерения 10 мм, нутрометры индикаторные – 6 мм.

² При использовании для установки на размер концевых мер, вместо микрометров, предельная погрешность уменьшается на 2-3 мкм.

³ При использовании установочных колец диаметром 120-160 мм предельная погрешность уменьшается на 1-2 мкм.

⁴ Для диапазона 160-250 мм предельная погрешность указана только при использовании концевых мер длины.

⁵ Предельная погрешность измерения, указанная в табл. II.2 и II.3 может быть обеспечена только при применении аттестованных установочных колец по ГОСТ 14865-78 в соответствии с таблицей:

| № по табл. 2.2 и 2.3 | Класс точности установочных колец | Диаметр установочных колец, мм | | | | |
|----------------------|-----------------------------------|---|-------------|--------------|---------------|----------------|
| | | от 3 до 6 | св. 6 до 18 | св. 18 до 50 | св. 50 до 120 | св. 120 до 160 |
| | | Допускаемая погрешность аттестации, мкм | | | | |
| 8 и 9 | 2 и 4 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,8 | 1,5 |
| 10 | 1 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 и 0,5 | - |

⁶ Погрешности микроскопов указаны при измерении сквозных отверстий и глухих отверстий с острой торцевой кромкой.

⁷ Пределы измерения инструментальных микроскопов большой модели до 150 мм, малой модели до 75 мм, универсальных микроскопов до 200 мм.

⁸ Пределы измерения прибора с электронным индикатором контакта от 4 мм до 200 мм, а также для малых отверстий от 1 мм до 4 мм.

Измерение наружных размеров станковыми средствами измерения

| Диапазоны номинальных размеров, мм | Квалитеты | | | | | | | | | | | |
|------------------------------------|--|--|--|--|---|---|---|--|--|---------------------------|-----------------|------------|
| | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
| | Допускаемая погрешность измерения, мкм/допуски, мкм; средства измерения, по прил.1 | | | | | | | | | | | |
| До 3 | 0,4/1,2 | 0,8/2 | 1/3 | 1,4/4 | 1,8/6 | 3/10 | 3/14 | 6/25 | 8/40 | 12/60 | 20/100 | 30/40 |
| | 17б, 18а, 19а, 22б, 24б, 26б, 27а, 28а, 30б, 36з | 10б, 16а, 17а, 21б, 22а, 23а, 24а, 25б, 26а, 30б, 36в | 10б, 15б, 16а, 17а, 21б, 22а, 23а, 25а, 26а, 30а, 33а, 36в | 9б, 10б, 15б, 16а, 21а, 22а, 25а, 30а, 33а, 34а, 36б | 9б, 10б, 15а, 20б, 21а, 25а, 30а, 33а, 34а, 36б | 9б, 10б, 15а, 20б, 21а, 25а, 30а, 33а, 34а, 36б | 9а, 10а, 11в, 12а, 15а, 20а, 32а, в, 36а | 9а, 10а, 11в, 12а, 14б, 15а, 20а, 32а, б, в, 36а | 7д, и, 9а, 11а, 12а, 13а, 14а, 31, 35в | 7г, з, 11а, 13а, 32б, 35б | 7б, е, 13а, 35б | 7а, е, 35а |
| Св. 3 до 6 | 0,6/1,5 | 1/2,5 | 1,4/4 | 1,6/5 | 2/8 | 3/12 | 4/18 | 8/30 | 10/48 | 16/75 | 30/120 | 40/180 |
| | 10б, 16б, 17а, 18а, 19а, 22б, 23а, 24а, 25б, 26а, 27а, 30б, 36г, к | 10б, 15б, 16б, 17а, 21б, 22а, 23а, 25а, 26а, 30а, 33а, 36в | 9б, 10б, 15б, 16а, 21а, 22а, 23а, 25а, 30а, 33а, 34а, 36б | 9б, 10б, 15а, 20б, 21а, 25а, 30а, 33а, 34а, 36б | 9б, 10а, 12б, 15а, 20б, 21а, 30б, 33а, 34а, 36б | 9а, 10а, 11в, 12а, 14б, 15а, 20а, 32а, в, 36а | 7к, 9а, 10а, 11в, 12а, 13б, 14б, 20а, 31, 32а, в, 36а | 7г, з, 11а, 13а, 14а, 31, 32б, 35б | 7в, ж, 11а, 13а, 14а, 32б, 35б | 7а, е, 35а | 7а, 35а | - |
| Св. 6 до 10 | 0,6/1,5 | 1/2,5 | 1,4/4 | 2/6 | 2/9 | 4/15 | 5/22 | 9/36 | 12/58 | 18/90 | 30/150 | 50/220 |
| | 10б, 16б, 17а, 18а, 19а, 22б, 24а, 25б, 26а, 27а, 30б, 36г, к | 10б, 15б, 16а, 17а, 21б, 22а, 23а, 25а, 26а, 30а, 33а, 36в | 9б, 10б, 15б, 16а, 21а, 22а, 23а, 25а, 30а, 33а, 34а, 36б | 9б, 10а, 15а, 20б, 21а, 30а, 33а, 34а, 36б | 9б, 10а, 15а, 20б, 21а, 30а, 33а, 34а, 36б | 7к, 9а, 10а, 11в, 12а, 13б, 14б, 20а, 31, 32а, в, 36а | 7д, 9а, 11а, 12а, 13б, 14а, 20а, 31, 32а, в, 36а | 7г, з, 11а, 13а, 14а, 32б | 7б, е, 13а, 35б | 7а, 35а | 7а, 35а | - |
| Св. 10 до 18 | 0,8/2 | 1,2/3 | 1,6/5 | 2,8/8 | 3/11 | 5/18 | 7/27 | 10/43 | 14/70 | 30/110 | 40/180 | 60/270 |
| | 10б, 16б, 17а, 18а, 21б, 22а, 23а, 24а, 25б, 26а, 27а, 30б, 36ж | 10б, 16а, 17а, 21б, 22а, 23а, 25а, 26а, 30а, 33а, 36в, е | 9б, 10б, 15а, 16а, 20б, 21а, 25а, 30а, 33а, 34а, 36б | 9б, 10а, 15а, 20б, 21а, 34а, 36б | 9б, 10а, 12а, 14б, 15а, 20а, 21а, 32в, 34а, 36а | 7д, 9а, 11б, 12а, 13б, 14а, 20а, 31, 32а, в, 36а | 7д, и, 9а, 11а, 13а, 14а, 31, 32а, б, 35в | 7в, ж, 11а, 13а, 14а, 32б, 35б | 7б, е, 13а, 35б | 7а, 35а | - | - |
| Св. 18 до 30 | 1/2,5 | 1,4/4 | 2/6 | 3/9 | 4/13 | 6/21 | 8/33 | 12/52 | 18/84 | 30/130 | 50/210 | 70/330 |
| | 10б, 16а, 17а, 21б, 22а, 23а, 24а, 25а, 26а, 30а, 36г, ж | 10б, 16а, 21б, 22а, 23а, 25а, 30а, 33а, 36в, е | 9б, 10а, 15а, 16а, 20б, 21а, 25а, 30а, 33а, 34а, 36б | 9б, 10а, 12а, 14б, 15а, 20а, 21а, 32в, 34а, 36а | 7к, 9а, 10а, 11в, 12а, 14б, 20а, 32а, в, 34а, 36а | 7д, 9а, 11а, 12а, 13б, 14а, 20а, 31, 32а, в | 7г, 11а, 13а, 14а, 31, 32а, б, 35в | 7в, е, 11а, 13а, 32б, 35б | 7а, 35а | - | - | - |

| Диапазоны номинальных размеров, мм | Квалитеты | | | | | | | | | | | |
|--|--|---|--|---|--|---|---|--------------------|----------|--------|---------|---------|
| | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
| | Допускаемая погрешность измерения, мкм/допуски, мкм; средства измерения, по прил.1 | | | | | | | | | | | |
| Св. 30 до 50 | 1/2,5 | 1,4/4 | 2,4/7 | 4/11 | 5/16 | 7/25 | 10/39 | 16/62 | 20/100 | 40/160 | 50/250 | 80/390 |
| | 10б, 16а, 17а, 21б, 22а, 23а, 24а, 25а, 26а, 30а, 36ж, 36з | 10б, 16а, 21б, 22а, 23а, 25а, 30а, 33а, 36в, е | 9б, 10а, 15а, 20б, 21а, 33а, 34а, 36б, д | 7к, 9а, 10а, 11в, 12а, 14б, 15а, 20а, 32в, 34а, 36а | 7д, 9а, 11б, 12а, 13б, 14б, 20а, 31, 32а, в, 36а | 7д, и, 9а, 11а, 13а, 14а, 31, 32б, 35б | 7в, 11а, 13а, 14а, 31, 32б, 35б | 7а, 35а | 7а, 35а | - | - | - |
| Св. 50 до 80 | 1,2/3 | 1,8/5 | 2,8/8 | 4/13 | 5/19 | 9/30 | 12/46 | 18/74 | 30/120 | 40/190 | 60/300 | 100/460 |
| | 10б, 16а, 17а, 21б, 22а, 23а, 24а, 25а, 26а, 30а, 36ж, и | 9б, 10б, 15б, 16а, 21б, 22а, 25а, 30а, 33а, 34б, 36б | 9б, 10а, 12б, 15а, 20б, 21а, 33а, 34а, 36б | 9а, 10а, 11в, 12а, 14б, 15а, 20а, 21а, 32в, 34а, 36а | 7к, 9а, 11б, 12а, 13б, 14б, 20а, 32в, 34а, 36а | 7г, 11а, 13а, 14а, 31, 32а, б, 35в | 7в, ж, 11а, 13а, 14а, 31, 32б, 35б | 7а, 35а | 7а, 35а | - | - | - |
| Св. 80 до 120 | 1,6/4 | 2/6 | 3/10 | 5/15 | 6/22 | 10/35 | 12/54 | 20/87 | 30/140 | 50/220 | 70/350 | 120/540 |
| | 10б, 16а, 17а, 21б, 22а, 23а, 24а, 25а, 26а, 30а, 34б, 36е | 10б, 15б, 16а, 20б, 21а, 22а, 23а, 24а, 25а, 30а, 33а, 34б, 36б | 9б, 10а, 12б, 15а, 20б, 21а, 33а, 34а*, б, 36а | 7к, 9а, 10а, 11в, 12а, 14б, 15а, 20а, 32в*, 34а*, 36а | 7д, 9а, 11б, 12а, 13б, 14б, 20а, 32в*, 34а*, 36а | 7г, з, 11а, 13а, 14а, 31, 32а, б*, в*, 35б* | 7в, ж, 11а, 13а, 14а, 31, 32а, б*, 35б* | 7а, 11а, 13а, 35а* | 7а, 35а* | - | - | - |
| Св. 120 до 180 | 2/5 | 2,8/8 | 4/12 | 6/18 | 7/25 | 12/40 | 16/63 | 30/100 | 40/160 | 50/250 | 80/400 | 140/630 |
| | 10б*, 15б*, 16а*, 20б, 21а, 22а, 23а, 24а, 25а*, 30а, 34б, 36б | 9б*, 10а, 15а*, 20б, 21а, 34б, 36б, д | 9б*, 10а, 11в*, 12а, 15а*, 20б, 21а, 33а, 36а | 7д, 9а, 11в*, 12а, 13б*, 14б*, 20а, 33а, 36а | 7д, и, 9а, 11б, 13б*, 14б*, 20а | 7в, ж, 11а, 13а*, 14а*, 31*, 32а | 7в, е, 11а, 13а*, 14а*, 31*, 32а | 7а | 7а | - | - | - |
| Св. 180 до 250 | 2,8/7 | 4/10 | 5/14 | 7/20 | 8/29 | 12/46 | 18/72 | 30/115 | 40/185 | 60/290 | 100/460 | 160/720 |
| | 10а, 22а, 23а, 24а, 30а, 34б, 36в, е | 10а, 12а, 20б, 21а, 33а, 34б, 36б | 10а, 12а, 20б, 21а, 33а, 36а | 7д, 9а, 12а, 20а, 33а, 36а | 7д, и, 9а, 11б, 12а, 20а | 7г, з, 9а, 11а, 32а | 7в, е, 11а, 32а | 7а | 7а | - | - | - |
| Св. 250 до 315 | 3/8 | 4/12 | 5/16 | 8/23 | 10/32 | 14/52 | 20/81 | 30/130 | 50/210 | 70/320 | 120/520 | 180/810 |
| | 21б, 22а, 23а, 30а, 34б | 20б, 21а, 33а, 34б, 36а | 20б, 21а, 33а, 36а | 7к, 20а, 21а, 33а, 36а | 7г, 20а | 7г, з, 20а | 7в, е, 32а | 7в, е, 32а | 7а | - | - | - |

| Диапазоны номинальных размеров, мм | Квалитеты | | | | | | | | | | | |
|--|---|-------------------------------|-----------------------|------------------------------|--------------------|------------|------------|------------|---------|--------|---------|---------|
| | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
| | Допускаемая погрешность измерения, мкм/допуски, мкм; средства измерения, по прил. 1 | | | | | | | | | | | |
| Св. 315 до 400 | 3/9 | 5/13 | 6/18 | 9/25 | 10/36 | 16/57 | 24/89 | 40/140 | 50/230 | 80/360 | 120/570 | 180/890 |
| | 21а, 22а, 23а, 30а, 34б | 20б, 21а, 33а, 34б, 36а | 20б, 21а, 33а, 36а | 7д, 20а, 21а, 33а, 36а | 7д, и, 20а, 33а | 7г, з, 20а | 7в, е, 32а | 7а, 32а | 7а | - | - | - |
| Св. 400 до 500 | 4/10 | 5/15 | 6/20 | 9/27 | 12/40 | 18/63 | 26/97 | 40/155 | 50/250 | 80/400 | 140/630 | 200/970 |
| | 21б, 22а, 23а, 30а, 34б | 20б, 21б, 34б, 36а | 20б, 21а, 33а, 36а | 20б, 21а, 33а, 36а | 7г, 20а, 33а | 7г, з, 20а | 7в, е, 32а | 7в, е, 32а | 7а, 32а | - | - | - |

Измерение наружных размеров накладными средствами измерения

| Диапазоны номинальных размеров, мм | Квалитеты | | | | | | | |
|------------------------------------|---|--------|--------|-------------|-------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| | Допускаемая погрешность, мкм/допуски, мкм; средства измерения, по прил. 1 | | | | | | | |
| До 3 | 0,4/1,2 | 0,8/2 | 1/3 | 1,4/4 | 1,8/6 | 3/10 | 3/14 | 6/25 |
| | - | 6г | 6г | 6г | 6г | 6в | 6в | 4а, 5в, 6а |
| Св. 3 до 6 | 0,6/1,5 | 1/2,5 | 1,4/4 | 1,6/5 | 2/8 | 3/12 | 4/18 | 8/30 |
| | 6г | 6г | 6г | 6г | 6в | 6в | 6а | 4а, 5в, 6а |
| Св. 6 до 10 | 0,6/1,5 | 1/2,5 | 1,4/4 | 2/6 | 2/9 | 4/15 | 5/22 | 9/36 |
| | 6г | 6г | 6г | 6в | 6в | 6а | 4а, 5г, 6а | 4а, 5в |
| Св. 10 до 18 | 0,8/2 | 1,2/3 | 1,6/5 | 2,8/8 | 3/11 | 5/18 | 7/27 | 10/43 |
| | 6г | 6г | 6г | 6в | 6в | 4а, 5г, 6а | 4а, 5в, 6а | 4а, 5б |
| Св. 18 до 30 | 1/2,5 | 1,4/4 | 2/6 | 3/9 | 4/13 | 6/21 | 8/33 | 12/52 |
| | 6г | 6г | 6в*, г | 6в | 6а*, в | 4а*, в, 5г, 6а*, б | 4а*, б, 5в, 6а | 4а, 5б, 6а |
| Св. 30 до 50 | 1/2,5 | 1,4/4 | 2,4/7 | 4/11 | 5/16 | 7/25 | 10/39 | 16/62 |
| | 6г | 6г | 6г | 6в | 4б, 5г, 6б | 4б, 5в, 6а | 4а, 5б, 6а | 4а, 5а |
| Св. 50 до 80 | 1,2/3 | 1,8/5 | 2,8/8 | 4/13 | 5/19 | 9/30 | 12/46 | 18/74 |
| | 6г | 6г | 6г | 6в | 4б, 5г, 6б | 4б, 5в, 6а*, б | 4а*, б, 5б, 6а | 4а, 5а, 6а |
| Св. 80 до 120 | 1,6/4 | 2/6 | 3/10 | 5/15 | 6/22 | 10/35 | 12/54 | 20/87 |
| | 6г | 6г | 6г | 4б*, 6б*, в | 4б*, 5г, 6б | 4б, 5в, 6б | 4б, 5б | 4а, 5а, 6а |
| Св. 120 до 180 | 2/5 | 2,8/8 | 4/12 | 6/18 | 7/25 | 12/40 | 16/63 | 30/100 |
| | 6г | 6г | 6в*, г | 5г, 6в | 5в, 6б | 4б, 5б, 6б | 4а*, б, 5б, 6а*, б | 4а, 5а, 6а |
| Св. 180 до 250 | 2,8/7 | 4/10 | 5/14 | 7/20 | 8/29 | 12/46 | 18/72 | 30/115 |
| | 6г | 6в*, г | 6в | 5г*, 6б | 5в*, 6б | 4б, 5в, 6б | 4б, 5б, 6б | 4а, 5а*, б, 6а |
| Св. 250 до 315 | 3/8 | 4/12 | 5/16 | 8/23 | 10/32 | 14/52 | 20/81 | 30/130 |
| | 6г | 6г | 6в*, г | 6б | 4б, 5в, 6б | 4б, 5в, 6б | 4в, 5б*, в, 6б | 4а*, б, 5б, 6а*, б |
| Св. 315 до 400 | 3/9 | 5/13 | 6/18 | 9/25 | 10/36 | 16/57 | 24/89 | 40/140 |
| | 6г | 6г | 6в | 6б | 4б, 5в, 6б | 4б, 5в, 6б | 4б, 5б, 6б | 4а, 5б, 6а |
| Св. 400 до 500 | 4/10 | 5/15 | 6/20 | 9/27 | 12/40 | 18/63 | 26/97 | 40/155 |
| | 6г | 6г | 6г | 6б | 4б, 5в, 6б | 4б, 5в, 6б | 4б, 5б, 6б | 4б, 5б, 6б |

| Диапазоны номинальных размеров, мм | Квалитеты | | | | | | | |
|------------------------------------|---|------------|---------|---------|----------|----------|----------|-----------|
| | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 |
| | Допускаемая погрешность, мкм/допуски, мкм; средства измерения, по прил. 1 | | | | | | | |
| До 3 | 8/40 | 12/60 | 20/100 | 30/140 | 50/250 | 80/400 | 120/600 | 200/1000 |
| | 4а, 5в, 6а | 4а, 5а | 4а, 5а | 4а | 4а | 4а | 3 | 2 |
| Св. 3 до 6 | 10/48 | 16/75 | 30/120 | 40/180 | 6/300 | 100/480 | 160/750 | 240/1200 |
| | 4а, 5а | 4а, 5а | 4а | 4а | 4а | 3 | 2 | 2 |
| Св. 6 до 10 | 12/58 | 18/90 | 30/150 | 50/220 | 80/360 | 120/580 | 200/900 | 300/1500 |
| | 4а, 5а | 4а, 5а | 4а | 4а | 4а | 3 | 2 | 2 |
| Св. 10 до 18 | 14/70 | 30/110 | 40/180 | 60/270 | 90/430 | 140/700 | 240/1100 | 380/1800 |
| | 4а, 5а | 4а | 4а | 4а | 4а | 3 | 2 | 2 |
| Св. 18 до 30 | 18/84 | 30/130 | 50/120 | 70/330 | 120/520 | 180/840 | 280/1300 | 440/2100 |
| | 4а, 5а | 4а | 4а | 4а | 3 | 2 | 2 | 2 |
| Св. 30 до 50 | 20/100 | 40/160 | 50/250 | 80/390 | 140/620 | 200/1000 | 320/1600 | 500/2500 |
| | 4а, 5а | 4а | 4а | 4а | 3 | 2 | 2 | 1, 2 |
| Св. 50 до 80 | 30/120 | 40/190 | 60/300 | 100/460 | 160/740 | 240/1200 | 400/1900 | 600/3000 |
| | 4а, 5а | 4а | 4а | 3 | 3 | 2 | 2 | 1, 2 |
| Св. 80 до 120 | 30/140 | 50/220 | 70/350 | 120/540 | 180/870 | 280/1400 | 440/2200 | 700/3500 |
| | 4а, 5а | 4а | 4а | 3 | 3 | 2 | 2 | 1, 2 |
| Св. 120 до 180 | 40/160 | 50/250 | 80/400 | 140/630 | 200/1000 | 320/1600 | 500/2500 | 800/4000 |
| | 4а, 5а | 4а | 4а | 3, 4а | 2, 4а | 2, 4а | 1, 2, 4а | 1, 2, 4а |
| Св. 180 до 250 | 40/185 | 60/290 | 100/460 | 160/720 | 240/1150 | 380/1850 | 600/2900 | 1000/4000 |
| | 4а, 5а, 6а | 4а, 5а | 3, 4а | 3, 4а | 3, 4а | 2, 4а | 1, 2, 4а | 1, 2, 4а |
| Св. 250 до 315 | 50/210 | 70/320 | 120/520 | 180/810 | 260/1300 | 440/2100 | 700/3200 | 1100/5200 |
| | 4а, 5а, 6а | 4а, 5а | 4а | 4а | 2, 4а | 2, 4а | 1, 2, 4а | 1, 2, 4а |
| Св. 315 до 400 | 50/230 | 80/360 | 120/570 | 180/890 | 280/1400 | 460/2300 | 800/3600 | 1200/5700 |
| | 4а, 5а, 6а | 4а, 5а, 6а | 4а | 4а | 2, 4а | 2, 4а | 1, 2, 4а | 1, 2, 4а |
| Св. 400 до 500 | 50/250 | 80/400 | 140/630 | 200/970 | 320/1550 | 500/2500 | 800/4000 | 1400/6300 |
| | 4а, 5б, 6а | 4а, 5а, 6а | 4а | 4а | 2, 4а | 1, 2, 4а | 1, 2, 4а | 1, 2, 4а |

Измерение внутренних размеров

| Диапазон номинальных размеров, мм | Квалитеты | | | | | | | |
|-----------------------------------|---|--------------|--------------|-------------|-----------------|--------------------|------------------------|------------------------|
| | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| | Допускаемая погрешность, мкм/допуски; средства измерения по прил. 2 | | | | | | | |
| До 3 | 0,4/1,2 | 0,8/2 | 1/3 | 1,4/4 | 1,8/6 | 3/10 | 3/14 | 6/25 |
| | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 12 |
| Св. 3 до 6 | 0,6/1,5 | 1/2,5 | 1,4/4 | 1,6/5 | 2/8 | 3/12 | 4/18 | 8/30 |
| | 13*, 14* | 10, 13*, 14* | 10, 13*, 14* | 7в, 9д | 7в, 9г | 7б, 9б | 7а, 9а | 9а, 11, 12 |
| Св. 6 до 10 | 0,6/1,5 | 1/2,5 | 1,4/4 | 2/6 | 2/9 | 4/15 | 5/22 | 9/36 |
| | 10, 13 | 10, 13 | 10, 13 | 7в, 9д | 7в, 9г | 6б, 7а, 9а | 5в, 6а, 7а, 9а, 12 | 5в, 6а, 7а, 9а, 11, 12 |
| Св. 10 до 18 | 0,8/2 | 1,2/3 | 1,6/5 | 2,8/8 | 3/11 | 5/18 | 7/27 | 10/43 |
| | 10, 13 | 8б*, 10, 13 | 7в, 8а*, 9д | 7б, 8а*, 9в | 6б, 7б, 8а*, 9б | 5в, 6а, 7а, 9а, 12 | 5в, 6а, 7а, 9а, 11, 12 | 5б, 9а, 11, 12 |
| Св. 18 до 30 | 1/2,5 | 1,4/4 | 2/6 | 3/9 | 4/13 | 6/21 | 8/33 | 12/52 |
| | 10, 13 | 8б, 10, 13 | 8а, 9д | 7в, 8а, 9в | 6б, 7б, 9б | 5в, 6а, 7а, 9а, 12 | 5в, 6а, 12 | 5б, 11 |
| Св. 30 до 50 | 1/2,5 | 1,4/4 | 2,4/7 | 4/11 | 5/16 | 7/25 | 10/39 | 16/62 |
| | 10, 13 | 8б, 10, 13 | 8а, 9д | 6б, 7б, 9б | 5в, 6б, 7а, 9а | 5в, 6а, 7а, 9а, 12 | 5б, 9а, 11, 12 | 5б, 11 |
| Св. 50 до 80 | 1,2/3 | 1,8/5 | 2,8/8 | 4/13 | 5/19 | 9/30 | 12/46 | 18/74 |
| | 8б, 10, 13 | 8б, 10 | 8а, 9д | 8а, 9б | 6б, 8а, 9а | 6а, 9а, 12 | 4б, 5в, 6а, 11, 12 | 4а, 5б, 11 |
| Св. 80 до 120 | 1,6/4 | 2/6 | 3/10 | 5/15 | 6/22 | 10/35 | 12/54 | 20/87 |
| | 8б, 10, 13 | 8б, 10 | 8а, 9в | 6б, 8а, 9а | 6б, 9а | 4б, 6а, 9а, 11, 12 | 4б, 6а, 11, 12 | 4а, 5б, 11 |
| Св. 120 до 180 | 2/5 | 2,8/8 | 4/10 | 6/18 | 7/25 | 12/40 | 16/63 | 30/100 |
| | 13 | 8б | 8б | 8а | 6а, 8а, 12 | 6а, 11*, 12 | 4б, 5б, 11*, 12 | 4а, 5а, 11*, 12 |
| Св. 180 до 250 | 2,8/7 | 4/10 | 5/14 | 7/20 | 8/29 | 12/46 | 18/72 | 30/115 |
| | 8б | 8б | 8а | 6а, 8а, 12* | 6а, 8а, 12* | 6а, 12* | 4б, 5б, 12* | 4а, 5а, 12* |
| Св. 250 до 315 | 3/8 | 4/12 | 5/16 | 8/23 | 10/32 | 14/52 | 20/81 | 30/130 |
| | - | - | - | - | 6б, 8а | 6а, 8а | 4б, 5б | 4а, 5а |
| Св. 315 до 400 | 3/9 | 5/13 | 6/18 | 9/25 | 10/36 | 16/57 | 24/89 | 40/140 |
| | - | - | - | 8а | 6б, 8а | 6а, 8а | 4б, 5б | 4а, 5а |
| Св. 400 до 500 | 4/10 | 5/15 | 6/20 | 9/27 | 12/40 | 18/63 | 26/97 | 40/155 |
| | - | - | - | 6б, 8а | 6а, 8а | 6а, 8а | 4б, 5б | 4а, 5а |

| Диапазон номинальных размеров, мм | Квалитеты | | | | | | | |
|---|---|--------------------|--------------------|--------------------|------------|----------|----------|-----------|
| | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 |
| | Допускаемая погрешность, мкм/допуски; средства измерения по прил. 2 | | | | | | | |
| До 3 | 8/40 | 12/60 | 20/100 | 30/140 | 50/250 | 80/400 | 120/600 | 200/1000 |
| | 11, 12 | 11 | 11 | 11 | 11 | 11 | 11 | 11 |
| Св. 3 до 6 | 10/48 | 15/75 | 30/120 | 40/180 | 60/300 | 100/480 | 160/750 | 240/1200 |
| | 9a, 11, 12 | 11 | 11 | 11 | 11 | 11 | 11 | 11 |
| Св. 6 до 10 | 12/58 | 18/90 | 30/150 | 50/220 | 80/360 | 120/580 | 200/900 | 300/1500 |
| | 5б, 11 | 5a, 11 | 5a, 11 | 5a, 11 | 5a, 11 | 5a, 11 | 2, 5a | 2, 5a |
| Св. 10 до 18 | 14/70 | 30/110 | 40/180 | 60/270 | 90/430 | 140/700 | 240/1100 | 380/1800 |
| | 5б, 11 | 5a, 11 | 5a, 11 | 5a, 11 | 5a, 11 | 5a, 11 | 2 | 2 |
| Св. 18 до 30 | 18/84 | 30/130 | 50/210 | 70/330 | 120/520 | 180/840 | 280/1300 | 440/2100 |
| | 5б, 11 | 5a, 11 | 5a, 11 | 5a, 11 | 5a, 11 | 3 | 2 | 2 |
| Св. 30 до 50 | 20/100 | 40/160 | 50/250 | 80/390 | 140/620 | 200/1000 | 320/1600 | 500/2500 |
| | 5a, 11 | 5a, 11 | 5a, 11 | 5a, 11 | 5a, 11 | 2 | 2 | 1, 2 |
| Св. 50 до 80 | 30/120 | 40/190 | 60/300 | 100/460 | 160/740 | 240/1200 | 400/1900 | 600/3000 |
| | 4a, 5a, 11 | 4a, 5a, 11 | 4a, 5a, 11 | 4a, 5a, 11 | 4a, 5a, 11 | 3 | 2 | 1, 2 |
| Св. 80 до 120 | 30/140 | 50/220 | 70/350 | 120/540 | 180/870 | 280/1400 | 440/2200 | 700/3500 |
| | 4a, 5a, 11 | 4a, 5a, 11 | 4a, 5a, 11 | 4a, 5a, 11 | 4a, 5a, 11 | 2 | 2 | 1, 2 |
| Св. 120 до 180 | 40/160 | 50/250 | 80/400 | 140/630 | 200/1000 | 320/1600 | 500/2500 | 800/4000 |
| | 4a, 5a, 11*, 12 | 4a, 5a, 11*, 12 | 4a, 5a, 11*, 12 | 4a, 5a, 11*, 12 | 3 | 2 | 1, 2 | 1, 2 |
| Св. 180 до 250 | 40/185 | 60/290 | 100/460 | 160/720 | 240/1150 | 380/1850 | 600/2900 | 1000/4600 |
| | 4a, 5a, 12* | 4a, 5a, 12* | 4a, 5a, 12* | 4a, 5a, 12* | 3 | 2 | 1, 2 | 1, 2 |
| Св. 250 до 315 | 50/210 | 70/320 | 120/520 | 180/810 | 260/1300 | 440/2100 | 700/3200 | 1100/5200 |
| | 4a, 5a | 4a, 5a | 4a, 5a | 4a, 5a | 3 | 2 | 1, 2 | 1, 2 |
| Св. 315 до 400 | 50/230 | 80/360 | 120/570 | 180/890 | 280/1400 | 460/2300 | 800/3600 | 1200/5700 |
| | 4a, 5a | 4a, 5a | 4a, 5a | 4a, 5a | 3 | 2 | 1, 2 | 1, 2 |
| Св. 400 до 500 | 50/250 | 80/400 | 140/630 | 200/970 | 320/1550 | 500/2500 | 800/4000 | 1400/6300 |
| | 4a, 5a | 4a, 5a | 4a, 5a | 4a, 5a | 2 | 1, 2 | 1, 2 | 1, 2 |

* Измерительное средство не полностью обеспечивает диапазон номинальных размеров (см. приложение 2).

ПРИЛОЖЕНИЕ 6

Измерение глубин и уступов универсальными измерительными средствами

| Диапазон номинальных размеров, мм | Квалитеты | | | | | | | |
|---|-----------|-------|-------|-------|-------|---------------|---------------|---------------|
| | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| Допускаемая погрешность, мкм/допуски; средства измерения по прил. 1 | | | | | | | | |
| До 3 | 0,4/1,2 | 0,8/2 | 1/3 | 1,4/4 | 1,8/6 | 3/10 | 3/14 | 6/25 |
| | - | 40б | 40б | 40б | 40а | 40а | 40а | 38б, 39б |
| Св. 3 до 6 | 0,6/1,5 | 1/2,5 | 1,4/4 | 1,6/5 | 2/8 | 3/12 | 4/18 | 8/30 |
| | 40б | 40б | 40б | 40а | 40а | 40а | 39в | 38б, 39б |
| Св. 6 до 10 | 0,6/1,5 | 1/2,5 | 1,4/4 | 2/6 | 2/9 | 4/15 | 5/22 | 9/36 |
| | 40б | 40б | 40б | 40а | 40а | 39в | 39в | 38б, 39б |
| Св. 10 до 18 | 0,8/2 | 1,2/3 | 1,6/5 | 2,8/8 | 3/11 | 5/18 | 7/27 | 10/43 |
| | 40б | 40б | 40а | 40а | 40а | 39в | 38б, 39б | 38б, 39б |
| Св. 18 до 30 | 1/2,5 | 1,4/4 | 2/6 | 3/9 | 4/13 | 6/21 | 8/33 | 12/52 |
| | 40б | 40б | 40а | 40а | 40а | 38б, 39в | 38б, 39б | 38б, 39б |
| Св. 30 до 50 | 1/2,5 | 1,4/4 | 2,4/7 | 4/11 | 5/16 | 7/25 | 10/39 | 16/62 |
| | 40б | 40б | 40а | 40а | 39в | 38б, 39б | 38б, 39б | 38б, 39а |
| Св. 50 до 80 | 1,2/3 | 1,8/5 | 2,8/8 | 4/13 | 5/19 | 9/30 | 12/46 | 18/74 |
| | - | 40б | 40а | 40а | 39в | 38б, 39б | 38б, 39б | 38б, 39а |
| Св. 80 до 120 | 1,6/4 | 2/6 | 3/10 | 5/15 | 6/22 | 10/35 | 12/54 | 20/87 |
| | - | 40а | 40а | 40а | 39в | 38б, 39б | 38б, 39б | 38а, 39а |
| Св. 120 до 180 | 2/5 | 2,8/8 | 4/12 | 6/18 | 7/25 | 12/40 | 16/63 | 30/100 |
| | 40а* | 40а* | 40а* | 40а* | 40а* | 38б*, 39б* | 38б*, 39б* | 38а*, 39а* |
| Св. 180 до 250 | 2,8/7 | 4/10 | 5/14 | 7/20 | 8/29 | 14/46 | 18/72 | 30/115 |
| | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Св. 250 до 315 | 3/8 | 4/12 | 5/16 | 8/23 | 10/32 | 14/52 | 20/81 | 30/130 |
| | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Св. 315 до 400 | 3/9 | 5/13 | 6/18 | 9/25 | 10/36 | 16/57 | 24/89 | 40/140 |
| | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Св. 400 до 500 | 4/10 | 5/15 | 6/20 | 9/27 | 12/40 | 18/63 | 26/97 | 40/155 |
| | - | - | - | - | - | - | - | - |

| Диапазон номинальных размеров, мм | Квалитеты | | | | | | | |
|---|---|------------|------------|------------|----------|----------|----------|-----------|
| | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 |
| | Допускаемая погрешность, мкм/допуски; средства измерения по прил. 1 | | | | | | | |
| До 3 | 8/40 | 12/60 | 20/100 | 30/140 | 50/250 | 80/400 | 120/600 | 200/1000 |
| | 38б, 39б | 38б, 39б | 38а, 39а | 38а, 39а | 38а, 39а | 38а, 39а | 37 | 37 |
| Св. 3 до 6 | 10/48 | 15/75 | 30/120 | 40/180 | 60/300 | 100/480 | 160/750 | 240/1200 |
| | 38б, 39б | 38б, 39а | 38а, 39а | 38а, 39а | 38а, 39а | 37 | 37 | 37 |
| Св. 6 до 10 | 12/58 | 18/90 | 30/150 | 50/220 | 80/360 | 120/580 | 200/900 | 300/1500 |
| | 38б, 39б | 38б, 39а | 38а, 39а | 38а, 39а | 38а, 39а | 37 | 37 | 37 |
| Св. 10 до 18 | 14/70 | 30/110 | 40/180 | 60/270 | 90/430 | 140/700 | 240/1100 | 380/1800 |
| | 38б, 39б | 38а, 39а | 38а, 39а | 38а, 39а | 38а, 39а | 37 | 37 | 37 |
| Св. 18 до 30 | 18/84 | 30/130 | 50/210 | 70/330 | 120/520 | 180/840 | 280/1300 | 440/2100 |
| | 38б, 39а | 38а, 39а | 38а, 39а | 38а, 39а | 37 | 37 | 37 | 37 |
| Св. 30 до 50 | 20/100 | 40/160 | 50/250 | 80/390 | 140/620 | 200/1000 | 320/1600 | 500/2500 |
| | 38а, 39а | 38а, 39а | 38а, 39а | 38а, 39а | 37 | 37 | 37 | 1, 37 |
| Св. 50 до 80 | 30/120 | 40/190 | 60/300 | 100/460 | 160/740 | 240/1200 | 400/1900 | 600/3000 |
| | 38а, 39а | 38а, 39а | 38а, 39а | 38а, 39а | 37 | 37 | 37 | 1, 37 |
| Св. 80 до 120 | 30/140 | 50/220 | 70/350 | 120/540 | 180/870 | 280/1400 | 440/2200 | 700/3500 |
| | 38а, 39а | 38а, 39а | 38а, 39а | 38а, 39а | 37 | 37 | 37 | 1, 37 |
| Св. 120 до 180 | 40/160 | 50/250 | 80/400 | 140/630 | 200/1000 | 320/1600 | 500/2500 | 800/4000 |
| | 38а*, 39а* | 38а*, 39а* | 38а*, 39а* | 38а*, 39а* | 37 | 37 | 1, 37 | 1, 37 |
| Св. 180 до 250 | 40/185 | 60/290 | 100/460 | 160/720 | 240/1150 | 380/1850 | 600/2900 | 1000/4600 |
| | - | - | - | 37 | 37 | 37 | 1, 37 | 1, 37 |
| Св. 250 до 315 | 50/210 | 70/320 | 120/520 | 180/810 | 260/1300 | 440/2100 | 700/3200 | 1100/5200 |
| | - | - | - | 37 | 37 | 37 | 1, 37 | 1, 37 |
| Св. 315 до 400 | 50/230 | 80/360 | 120/570 | 180/890 | 280/1400 | 460/2300 | 800/3600 | 1200/5700 |
| | - | - | - | 37 | 37 | 37 | 1, 37 | 1, 37 |
| Св. 400 до 500 | 50/250 | 80/400 | 140/630 | 200/970 | 320/1550 | 500/2500 | 800/4000 | 1400/6300 |
| | - | - | - | - | - | 1 | 1 | 1 |

Измерение радиального и торцевого биения поверхностей

| Допуск, мкм | Допускаемая погрешность измерения, мкм | Диапазоны диаметров контролируемых поверхностей, мм | | | | | | |
|-------------|--|---|--|--|----------------------------|-------------------------------------|----------------------------|----------------------------|
| | | До 50 | Св. 50 до 80 | Св. 80 до 160 | Св. 160 до 250 | Св. 250 до 315 | Св. 315 до 400 | Св. 400 до 500 |
| | | Средства измерения, по прил. 1 | | | | | | |
| 0,4 | 0,14 | 19г, 27г, 28в, 36ц | | | | | | |
| 0,5 | 0,18 | 18г, 19в, 27г, 28в, 36ц | | | | | | |
| 0,6 | 0,2 | 18в, 19в, 24д, 26г, 27в, 28в, 36ф | | | | | | |
| 0,8 | 0,3 | 17г, 18в, 19в, 22д, 24г, 26г, 27в, 36у | | | | | | |
| 1 | 0,35 | 17г, 18в, 22д, 24г, 26г, 27в, 36у | 17г, 18в, 22д, 24г, 26г, 27в, 36у | | | | | |
| 1,2 | 0,4 | 17в, 18в, 22г, 23в, 24в, 25г, 26в, 27в, 36у | 17в, 18в, 22г, 23в, 24в, 25г, 26в, 27в, 36у | 17в, 18в, 22д, 23в, 24г, 25г, 26в, 27в, 36у | | | | |
| 1,6 | 0,6 | 16г, 17в, 21д, 22в, 23б, 24в, 25г, 26в, 29г, 36т | 16г, 17в, 21д, 22в, 23б, 24в, 25г, 26в, 29г, 36т | 16г, 17в, 21д, 22г, 23в, 24в, 25г, 26в, 29г, 36т | | | | |
| 2 | 0,7 | 16в, 17в, 21д, 22в, 23б, 24в, 25г, 26в, 29г, 36т | 16в, 17в, 21д, 22в, 23б, 24в, 25г, 26в, 29г, 36т | 16в, 17в, 21д, 22г, 23б, 24в, 25г, 26в, 29г, 36т | 22г, 23б, 24в, 36т | | | |
| 2,5 | 0,9 | 10в, 16в, 21г, ж, 22в, 23б, 25в, 29г, 36т | 10в, 16в, 21д, ж, 22в, 23б, 25в, 29г, 36т | 16в, 21д, ж, 22в, 23б, 24в, 25в, 29г, 36т | 21д, ж, 22в, 23б, 24в, 36т | 23в, 36т | 23в, 36т | |
| 3 | 1 | 10в, 15г, 16в, 21г, ж, 22в, 23б, 29в, 36т | 10в, 15г, 16в, 21г, ж, 22в, 23б, 29в, 36т | 15г, 16в, 21г, ж, 22в, 23б, 24в, 29в, 36т | 21г, ж, 22в, 23б, 24в, 36т | 21ж, 22г, 23в, 36т | 23в, 36т | 23в, 36т |
| 4 | 1,4 | 9в, 10в, 15г, 16в, 21в, е, 29в, 36с | 9в, 10в, 15г, 16в, 21в, е, 29в, 36с | 10в, 15г, 16в, 21в, е, 22в, 23б, 29в, 36с | 10в, 21в, е, 22в, 23б, 36с | 10в, 21г, ж, 22г, 23б, 36с | 21ж, 23в, 36с | 21ж, 23в, 36с |
| 5 | 1,8 | 9в, 10в, 15в, 20г, 21в, е, 29в, 36с | 9в, 10в, 15в, 20г, 21в, е, 29в, 36с | 9в, 10в, 15в, 20г, 21в, е, 29в, 36с | 9в, 10в, 20г, 21в, е, 36с | 9в, 10в, 20г, 21в, е, 22в, 23б, 36с | 21г, е, 22г, 23б, 36с | 21г, ж, 22г, 23б, 36с |
| 6 | 2 | 9в, 10в, 11е, 12г, 15в, 20в, 21в, е, 29б, 36с | 9в, 10в, 11е, 12г, 15в, 20в, 21в, е, 29б, 36с | 9в, 10в, 11е, 12г, 15в, 20в, 21в, е, 29б, 36с | 9в, 10в, 20в, 21в, е, 36с | 9в, 10в, 20г, 21в, е, 22в, 23б, 36с | 20г, 21г, е, 22г, 23б, 36с | 20г, 21г, е, 22г, 23б, 36с |
| 8 | 3 | 9в, 10в, 11е, 12в, 14г, 15в, 20в, 29а, 36р | 9в, 10в, 11е, 12в, 14г, 15в, 20в, 29а, 36р | 9в, 10в, 11е, 12в, 14г, 15в, 20в, 29а, 36р | 9в, 10в, 12в, 20в, 36р | 9в, 10в, 20в, 21в, е, 22в, 36р | 20в, 21в, е, 22в, 23б, 36р | 20г, 21в, е, 22в, 23б, 36р |
| 10 | 3,5 | 9в, 10в, 11е, 12в, 14г, 20в, 29а, 36р | 9в, 10в, 11е, 12в, 14г, 20в, 29а, 36р | 9в, 10в, 11е, 12в, 14г, 20в, 29а, 36р | 9в, 10в, 12в, 20в, 36р | 9в, 10в, 20в, 21в, 36р | 20в, 21в, е, 22в, 36р | 20в, 21в, е, 22в, 36р |

| Допуск, мкм | Допускаемая погрешность измерения, мкм | Диапазоны диаметров контролируемых поверхностей, мм | | | | | | |
|-------------|--|---|--|--|--------------------------|-------------------|--------------------|--------------------|
| | | До 50 | Св. 50 до 80 | Св. 80 до 160 | Св. 160 до 250 | Св. 250 до 315 | Св. 315 до 400 | Св. 400 до 500 |
| | | Средства измерения, по прил. 1 | | | | | | |
| 12 | 4 | 9в, 10в, 11е, 12в, 13г, 14в, 20в, 29а, 36р | 9в, 10в, 11е, 12в, 13г, 14в, 20в, 29а, 36р | 9в, 10в, 11е, 12в, 13г, 14в, 20в, 29а, 36р | 9в, 10в, 12в, 36р | 9в, 10в, 20в, 36р | 20в, 21г, 22в, 36р | 20в, 21г, 22в, 36р |
| 16 | 6 | 7р, х, 9в, 10в, 11г, 12в, 13в, 14в, 29а | 7р, х, 9в, 10в, 11г, 12в, 13в, 14в, 29а | 7р, х, 9в, 10в, 11г, 12в, 13в, 14в, 29а | 7р, х, 9в, 10в, 11г, 12в | 7р, х | 7р, х, 20в | 7р, х, 20в |
| 20 | 7 | 7р, х, 9в, 10в, 11г, 13в, 14в | 7р, х, 9в, 10в, 11г, 13в, 14в | 7р, х, 9в, 10в, 11г, 13в, 14в | 7р, х, 9в, 10в, 11г | 7р, х | 7р, х | 7р, х, 20в |
| 25 | 9 | 7п, 11г, 13в | 7п, 11г, 13в | 7п, 11г, 13в | 7п, 11г | 7п | 7п | 7п |
| 30 | 9 | 7п, 11г, 13в | 7п, 11г, 13в | 7п, 11г, 13в | 7п, 11г | 7п | 7п | 7п |
| 40 | 12 | 7п, 8б, 11г, 13в | 7п, 8б, 11г, 13в | 7п, 8б, 11г, 13в | 7п, 8б, 11г | 7п, 8б | 7п, 8б | 7п, 8б |
| 50 | 15 | 7п, 8а | 7п, 8а | 7п, 8а | 7п, 8а | 7п, 8а | 7п, 8а | 7п, 8а |
| 60 | 18 | 7п, 8а | 7п, 8а | 7п, 8а | 7п, 8а | 7п, 8а | 7п, 8а | 7п, 8а |
| 80 | 20 | 7п, 8а | 7п, 8а | 7п, 8а | 7п, 8а | 7п, 8а | 7п, 8а | 7п, 8а |
| 100 | 25 | 7о, 8а | 7о, 8а | 7о, 8а | 7о, 8а | 7о, 8а | 7о, 8а | 7о, 8а |
| 120 | 30 | 7о, 8а | 7о, 8а | 7о, 8а | 7о, 8а | 7о, 8а | 7о, 8а | 7о, 8а |
| 160 | 40 | 7о, 8а | 7о, 8а | 7о, 8а | 7о, 8а | 7о, 8а | 7о, 8а | 7о, 8а |
| 200 | 50 | 7о, 8а | 7о, 8а | 7о, 8а | 7о, 8а | 7о, 8а | 7о, 8а | 7о, 8а |
| 250 | 50 | 7о, 8а | 7о, 8а | 7о, 8а | 7о, 8а | 7о, 8а | 7о, 8а | 7о, 8а |
| 300 | 60 | 7о, 8а | 7о, 8а | 7о, 8а | 7о, 8а | 7о, 8а | 7о, 8а | 7о, 8а |
| 400 | 80 | 7о, 8а | 7о, 8а | 7о, 8а | 7о, 8а | 7о, 8а | 7о, 8а | 7о, 8а |
| 500 | 100 | 7о, 8а | 7о, 8а | 7о, 8а | 7о, 8а | 7о, 8а | 7о, 8а | 7о, 8а |
| 600 | 120 | 7о, 8а | 7о, 8а | 7о, 8а | 7о, 8а | 7о, 8а | 7о, 8а | 7о, 8а |
| 800 | 160 | 7о | 7о | 7о | 7о | 7о | 7о | 7о |
| 1000 | 200 | 7н | 7н | 7н | 7н | 7н | 7н | 7н |
| 1200 | 240 | 7н | 7н | 7н | 7н | 7н | 7н | 7н |
| 1600 | 320 | 7н | 7н | 7н | 7н | 7н | 7н | 7н |
| 2000 | 400 | 7м | 7м | 7м | 7м | 7м | 7м | 7м |
| 2500 | 500 | | 7м | 7м | 7м | 7м | 7м | 7м |
| 3000 | 600 | | | 7м | 7м | 7м | 7м | 7м |
| 4000 | 800 | | | | | 7м | 7м | 7м |
| 5000 | 1000 | | | | | | | 7л |