

Г.Р. МУСЛИНА, Ю.М ПРАВИКОВ

**МЕТРОЛОГИЯ,
СТАНДАРТИЗАЦИЯ
И СЕРТИФИКАЦИЯ**

**МОСКВА
2014**

Г.Р. МУСЛИНА, Ю.М ПРАВИКОВ

МЕТРОЛОГИЯ, СТАНДАРТИЗАЦИЯ И СЕРТИФИКАЦИЯ

Допущено Учебно-методическим объединением вузов по образованию в области автоматизированного машиностроения (УМО АМ) в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств»

**МОСКВА
2014**

УДК 006.91(075)

ББК ____ —
М 68

Рецензенты:

Д.И. Волков, заведующий кафедрой «Резание материалов, станки и инструменты» им. С.С. Силина Рыбинского государственного авиационного технического университета им. П.А. Соловьева, д-р техн. наук, проф.,

Ю.В. Полянсков, президент Ульяновского государственного университета, заведующий кафедрой «Математическое моделирование технических систем», д-р техн. наук, проф.

М 68 Муслина, Г.Р.

Метрология, стандартизация и сертификация : учебное пособие / Г.Р. Муслина, Ю.М. Правиков; под общ. ред. д-ра техн. наук, проф. Л.В. Худобина – М.: КНО-РУС, 2014. – 381 с.

ISBN 978-5-388-00606-6

Рассмотрены основы технического регулирования в Российской Федерации, в том числе цели и принципы стандартизации и подтверждения соответствия. Изложены вопросы стандартизации норм точности геометрических параметров деталей, нормирования точности гладких и сложных соединений, а также некоторые вопросы метрологического обеспечения производства.

Для студентов технических вузов, изучающих дисциплины «Метрология, стандартизация и сертификация», «Нормирование точности и технические измерения» и будет полезно при решении задач нормирования точности соединений и их деталей, а также задач метрологического обеспечения производства в курсовых и дипломных проектах и выполнении научно-исследовательских работ.

© Муслина Г. Р., Правиков Ю. М., 2014

© ЗАО «МЦФЭР», 2014

© ЗАО «КНОРУС», 2014

ISBN 978-5-388-00606-6

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	7
Глава 1. ОСНОВЫ ТЕХНИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ И СТАНДАРТИЗАЦИИ.	10
1.1. Общие положения.	10
1.2. Технические регламенты	13
1.3. Государственный контроль (надзор) за соблюдением требований технических регламентов	15
1.4. Основные понятия, цели и принципы стандартизации	17
1.5. Организация работ по стандартизации	20
1.6. Документы в области стандартизации. Виды стандартов. Гармонизация стандартов	22
1.7. Международная и региональная стандартизация	27
1.8. Национальные системы стандартизации	29
1.9. Методы стандартизации. Комплексная и опережающая стандартизация.	33
1.10. Общетехнические системы стандартов	43
Контрольные вопросы	46
Глава 2. СТАНДАРТИЗАЦИЯ НОРМ ТОЧНОСТИ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ДЕТАЛЕЙ.	48
2.1. Основные понятия о взаимозаменяемости и точности изделий	48
2.2. Понятия о размерах, отклонениях, допусках и посадках	50
2.3. Единая система допусков и посадок (ЕСДП).	54
2.3.1. Общие положения	54
2.3.2. Закономерности построения ЕСДП.	54
2.3.3. Особенности построения рядов допусков и посадок деталей из пластмасс.	61
2.4. Обозначение полей допусков, предельных отклонений и посадок на чертежах.	62
2.5. Общие допуски.	63
2.6. Геометрические допуски и шероховатость поверхностей деталей	65
2.6.1. Допуски формы, ориентации, месторасположения и биений.	65
2.6.2. Зависимые допуски формы, расположения и координирующих размеров. Требования максимума, минимума материала и взаимодействия.	82

2.6.3. Шероховатость поверхностей	88
2.7. Нормирование точности угловых размеров, конусов и конических соединений	96
Контрольные вопросы	101
Глава 3. СТАНДАРТИЗАЦИЯ И НОРМИРОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ТИПОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ.	103
3.1. Выбор и расчет посадок гладких соединений.	103
3.1.1. Общие положения	103
3.1.2. Выбор посадок методами аналогов и подобия	108
3.1.3. Расчет и выбор посадок с зазором в подшипниках скольжения	122
3.1.4. Расчет и выбор посадок с натягом	133
3.1.5. Расчет и выбор посадок подшипников качения	139
3.2. Нормирование точности сложных соединений	152
3.2.1. Шпоночные соединения	152
3.2.2. Шлицевые соединения	154
3.2.3. Резьбовые соединения	160
3.3. Нормирование точности цилиндрических зубчатых колес и передач.	165
Контрольные вопросы	173
Глава 4. ОСНОВЫ МЕТРОЛОГИИ	175
4.1. Общие сведения о метрологии	175
4.1.1. Предмет и основные понятия метрологии	175
4.1.2. Государственная система обеспечения единства измерений	177
4.1.3. Метрологические службы Российской Федерации	180
4.1.4. Международные метрологические организации и обеспечение единства измерений в зарубежных странах	181
4.1.5. Государственный метрологический контроль и надзор	183
4.2. Единицы и системы единиц физических величин.	184
4.2.1. Физические величины	184
4.2.2. Международная система единиц физических величин	189
4.2.3. Соотношения единиц СИ с единицами других систем и внесистемными единицами	194
4.2.4. Основные правила написания обозначений единиц	195
4.3. Воспроизведение единиц физических величины передача их размеров . .	197
4.3.1. Понятие об эталонах физических величин	197

4.3.2. Эталоны единиц СИ	200
4.3.3. Поверка средств измерений и поверочные схемы	203
4.3.4. Калибровка средств измерения	207
4.4. Измерение физических величин.	208
4.4.1. Понятие об измерении и контроле	208
4.4.2. Погрешности измерений	216
4.4.3. Исключение систематических погрешностей	223
4.4.4. Оценивание случайных погрешностей	225
4.4.5. Исключение промахов	233
4.4.6. Правила округления и записи результатов измерений.	236
4.5. Обработка результатов измерений	237
4.5.1. Многократные прямые измерения	237
4.5.2. Однократные измерения	244
4.5.3. Косвенные измерения	245
4.6. Средства измерений	246
4.6.1. Виды средств измерений	246
4.6.2. Метрологические характеристики средств измерения	248
4.6.3. Выбор средств измерения геометрических параметров деталей . . .	254
4.6.4. Контроль деталей гладких соединений	261
Контрольные вопросы	268
Глава 5. ОСНОВЫ ПОДТВЕРЖДЕНИЯ СООТВЕТСТВИЯ	270
5.1. Сущность и содержание подтверждения соответствия	270
5.1.1. Термины и определения	270
5.1.2. Цели и принципы подтверждения соответствия	272
5.1.3. Формы подтверждения соответствия	273
5.1.4. Законодательная и нормативная базы подтверждения соответствия	278
5.2. Порядок проведения сертификации продукции.	279
5.3. Сертификация систем менеджмента качества	284
5.4. Сертификация производств	287
5.5. Сертификация персонала	287
5.6. Сертификация работ и услуг	289
5.7. Сертификация на соответствие экологическим требованиям	290
5.8. Национальные системы сертификации	291
5.9. Региональная сертификация	295

5.10. Международная сертификация	298
5.11. Органы по сертификации и испытательные лаборатории	300
5.12. Аккредитация органов по сертификации и испытательных лабораторий ..	302
Контрольные вопросы	304
ЛИТЕРАТУРА	306
ОСНОВНЫЕ ГОСУДАРСТВЕННЫЕ ЗАКОНЫ И ГОСУДАРСТВЕННЫЕ	
СТАНДАРТЫ В ОБЛАСТИ МЕТРОЛОГИИ, СТАНДАРТИЗАЦИИ	
И СЕРТИФИКАЦИИ	308
ПРИЛОЖЕНИЕ 1. НОРМЫ ТОЧНОСТИ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ	
ПАРАМЕТРОВ ДЕТАЛЕЙ.....	311
ПРИЛОЖЕНИЕ 2. ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА	
МАТЕРИАЛОВ.....	335
ПРИЛОЖЕНИЕ 3. ЗНАЧЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ РАДИАЛЬНОЙ	
И ОСЕВОЙ НАГРУЗКИ ДЛЯ ПОДШИПНИКОВ	
КАЧЕНИЯ.....	337
ПРИЛОЖЕНИЕ 4. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРИМЕНЕНИЮ СТЕПЕНЕЙ	
ТОЧНОСТИ ДЛЯ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС ($m > 1$)	338
ПРИЛОЖЕНИЕ 5. ЗНАЧЕНИЯ ИНТЕГРАЛА ВЕРОЯТНОСТЕЙ $\Phi_0(z)$	339
ПРИЛОЖЕНИЕ 6. ЗНАЧЕНИЯ КРИТЕРИЯ ФИШЕРА.....	340
ПРИЛОЖЕНИЕ 7. ДОПУСКАЕМЫЕ ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ.....	341
ПРИЛОЖЕНИЕ 8. ТЕМЫ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ.....	343
ПРИЛОЖЕНИЕ 9. СОСТАВ И СОДЕРЖАНИЕ РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕС-	
КИХ РАБОТ.....	344
ТЕСТОВЫЕ ЗАДАНИЯ.....	345
ГЛОССАРИЙ.....	372

ПРЕДИСЛОВИЕ

Необходимым условием развития машиностроения и других отраслей промышленности является взаимозаменяемость изделий. При этом на принципах взаимозаменяемости основано не только производство (проектирование и изготовление) изделий, но и их эксплуатация и ремонт.

Взаимозаменяемость изделий обеспечивается комплексом мероприятий, важнейшим из которых является стандартизация. Главной задачей стандартизации является создание системы нормативно-технической документации, устанавливающей требования к качеству изделий и обязательной к исполнению на соответствующих стандартах уровнях.

Другим важнейшим условием обеспечения взаимозаменяемости изделий является метрологическое обеспечение производства и ремонта изделий, т.е. комплекс мероприятий, направленных на обеспечение единства измерений и единообразия средств измерений. Основанное на практическом использовании положений метрологии (науки об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства и требуемой точности) метрологическое обеспечение производства – одна из основных предпосылок обеспечения требуемого качества изделий.

Обеспечению требуемого качества изделий способствует и их подтверждение соответствия (сертификация), включающее в себя комплекс мероприятий, направленных на достижение и проверку соответствия характеристик качества изделий установленным стандартам и другим нормативным документам.

Основой обеспечения требований в сфере метрологии, стандартизации и подтверждения соответствия является техническое регулирование, т. е. регулирование отношений при производстве, эксплуатации, хранении, перевозке, реализации и утилизации продукции.

Знания основных положений технического регулирования, метрологии, стандартизации и подтверждения соответствия, в том числе сертификации, необходимо для профессиональной деятельности специалистов, работающих в различных отраслях промышленности.

Настоящее учебное пособие предназначено для методического обеспечения подготовки бакалавров и дипломированных специалистов в соответствии с требованиями федеральных государственных образовательных стандартов высшего профессионального образования (ФГОС ВПО) по дисциплине «Метрология, стандартизация и сертификация», включенной в учебные планы многих специальностей и направлений.

В учебном пособии рассмотрены: основные положения и принципы технического регулирования в Российской Федерации (РФ), осуществляемого в соответствии с Федеральным законом (ФЗ) «О техническом регулировании» от 27.12.2002 № 184-ФЗ в редакции от 30.12.2009; роль технических регламентов (ТР) как документов, содержащих обязательные требования к объектам технического регулирования; цели принятия ТР; сущность государственного контроля (надзора) за соблюдением требований ТР; основные понятия, цели и принципы стандартизации; функции Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии – Росстандарта (ранее – Ростехрегулирования), и других органов по стандартизации; назначение и область применения документов по стандартизации; вопросы стандартизации на международном и региональном уровнях; национальные системы стандартизации ведущих стран мира; содержание и область применения методов стандартизации; стандартизация норм точности геометрических параметров соединений и деталей изделий различных отраслей промышленности; общие вопросы метрологии и метрологического обеспечения производства, в том числе структура и функции метрологических служб РФ, история развития и создания международных метрологических организаций и их роль в обеспечении единства измерений при современном уровне международного сотрудничества; области подтверждения соответствия, цели, принципы и формы подтверждения соответствия; системы сертификации и их типовая структура; схемы обязательного подтверждения соответствия, их содержание и области применения, основные этапы процесса сертификации, основные положения сертификации систем менеджмента качества (СМК), производств, персонала, работ и услуг, сертификации на соответствие экологическим требованиям; национальные системы сертификации ведущих стран мира, вопросы региональной и международной сертификации; функции и порядок аккредитации органов по сертификации и испытательных лабораторий.

Целью настоящего учебного пособия является оказание помощи студентам при изучении разделов дисциплины «Метрология, стандартизация и сертификация», вынесенных на самостоятельную проработку, привитие им умений и навыков использования полученных знаний при решении вопросов метрологического обеспечения производства, стандартизации и подтверждения соответствия технологических процессов, средств технологического оснащения и продукции предприятий различных отраслей промышленности.

Основными задачами пособия являются: ознакомление студентов с основами технического регулирования в РФ, направленного на правовое регулирование отношений, возникающих при исполнении обязательных требований ТР, исполнении на добровольной основе требований национальных стандартов и других нормативных документов, а также

при оценке соответствия; с целями и принципами стандартизации и сертификации; с системами и органами по стандартизации, методами стандартизации, основами нормирования точности соединений и деталей машин, приборов и других изделий; формами и схемами подтверждения соответствия; организационными вопросами аккредитации органов по сертификации и испытательных лабораторий; вопросами организации метрологического обеспечения и государственного метрологического контроля и надзора в РФ, должной организации измерительного эксперимента, обработки и представления результатов измерений в соответствии с принципами метрологии и действующими нормативными документами.

Полное освоение материала по соответствующим разделам дисциплины возможно лишь при изучении материалов, изложенных в настоящем учебном пособии и рекомендуемой литературе. Для самоконтроля полученных знаний предназначены контрольные вопросы, приведенные в конце каждого раздела, и тестовые задания.

Глава 1. ОСНОВЫ ТЕХНИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ И СТАНДАРТИЗАЦИИ

1.1. Общие положения

В связи с глобализацией торговых отношений в результате деятельности международных и региональных организаций (Международной организации по стандартизации (ИСО), Международной электротехнической комиссии (МЭК), Всемирной торговой организации (ВТО), Европейской экономической комиссии ООН (ЕЭК ООН), организации Европейского Союза (ЕС) и др.) сложилась мировая система технического регулирования. Основные положения этой системы определены Соглашением ВТО по техническим барьерам в торговле, рекомендациями ЕЭК ООН, директивами ЕС и международными стандартами. Присоединение той или иной страны к этой системе обусловлено заинтересованностью страны в создании условий для продвижения своих конкурентоспособных товаров на мировой рынок.

Переход РФ на рыночные отношения определил необходимость преобразования государственной системы технического нормирования, представляющей собой систему государственной стандартизации и сертификации, защищенную законами РФ «О стандартизации» и «О сертификации продукции и услуг», в национальную систему технического регулирования.

Если система технического нормирования поддерживалась банком документов, содержащим десятки тысяч государственных и отраслевых стандартов и технических условий, обязательных для всех участников народного хозяйства, то система технического регулирования направлена на правовое регулирование отношений, возникающих при:

- разработке, принятии, применении и исполнении обязательных требований к объектам регулирования, содержащимся в ТР;
- разработке, принятии, применении и исполнении на добровольной основе требований к объектам регулирования, содержащимся в национальных стандартах и других нормативных документах;
- оценке соответствия.

Объектами технического регулирования являются продукция и связанные с ней процессы проектирования (включая изыскания), производства, строительства, монтажа, наладки, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации, а также выполнение работ и оказание услуг. В свою очередь, под продукцией понимают *«результат деятельности, представленный в материально-вещественной форме и предназначенный для дальнейшего использования в хозяйственных или иных целях»*.^{*}

^{*} В главах 1, 2, 5 курсивом выделены выдержки из ФЗ «О техническом регулировании».

Основополагающим документом в области технического регулирования в России является ФЗ «О техническом регулировании» от 27 декабря 2002 г. № 184-ФЗ, существенно скорректированный в последующие годы.

Содержание и основные положения закона «О техническом регулировании» отражает схема, показанная на рис. 1.1.

В соответствии с этим законом техническое регулирование осуществляется в соответствии со следующими принципами:

- *«применения единых правил установления требований к продукции или к связанным с ней процессам проектирования (включая изыскания), производства, строительства, монтажа, наладки, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации, выполнению работ или оказанию услуг;*
- *соответствия технического регулирования уровню развития национальной экономики, развития материально-технической базы, а также уровню научно-технического развития;*
- *независимости органов по аккредитации, органов по сертификации от изготовителей, продавцов, исполнителей и приобретателей;*
- *единой системы и правил аккредитации;*
- *единства правил и методов исследований (испытаний) и измерений при проведении процедур обязательной оценки соответствия;*
- *единства применения требований технических регламентов независимо от видов или особенностей сделок;*
- *недопустимости ограничения конкуренции при осуществлении аккредитации и сертификации;*
- *недопустимости совмещения полномочий органа государственного контроля (надзора) и органа по сертификации;*
- *недопустимости совмещения одним органом полномочий на аккредитацию и сертификацию;*
- *недопустимости внебюджетного финансирования государственного контроля (надзора) за соблюдением требований технических регламентов;*
- *недопустимости одновременного возложения одних и тех же полномочий на два и более органа государственного контроля (надзора) за соблюдением требований технических регламентов».*



**Рис. 1.1. Структура Федерального закона
«О техническом регулировании»**

1.2. Технические регламенты

Технические регламенты – документы, содержащие обязательные требования к объектам технического регулирования.

В соответствии с ФЗ «О техническом регулировании» ТР принимаются в целях:

«защиты жизни или здоровья граждан, имущества физических или юридических лиц, государственного или муниципального имущества;

охраны окружающей среды, жизни или здоровья животных и растений;

обеспечения энергетической эффективности;

предупреждения действий, вводящих в заблуждение приобретателей».

Указанный ФЗ утверждает, что «... *принятие технических регламентов в иных целях не допускается*».

Для достижения названных целей ТР устанавливают (с учетом степени риска причинения вреда) минимально необходимые требования, обеспечивающие следующие виды безопасности: излучений, механическую, пожарную, промышленную, термическую, химическую, электрическую, ядерную и радиационную, электромагнитную совместимость в части обеспечения безопасности работы приборов и оборудования, взрывобезопасность, биологическую; другие виды безопасности, а также единство измерений.

Закон «О техническом регулировании» подчеркивает, что требования ТР «... *не могут служить препятствием осуществлению предпринимательской деятельности в большей степени, чем это минимально необходимо для выполнения целей*», перечисленных выше.

Технический регламент содержит:

- перечень и (или) описание объектов технического регулирования;
- требования к этим объектам;
- правила идентификации объектов в целях применения ТР;
- правила и формы оценки соответствия, определяемые с учетом степени риска, в том числе – могут содержать схемы подтверждения соответствия, порядок продления срока действия сертификата;
- предельные сроки оценки соответствия в отношении каждого объекта;
- требования к терминологии, упаковке, маркировке или этикеткам и правилам их нанесения.

Содержащиеся в ТР обязательные требования к объектам технического регулирования, правила и формы оценки соответствия, правила идентификации объектов, требования к терминологии, упаковке, маркировке или этикеткам и правила их нанесения имеют

прямое действие на всей территории Российской Федерации и могут быть изменены только путем внесения изменений и дополнений в соответствующий ТР.

В ТР кроме названных выше требований к объектам регулирования могут содержаться специальные требования:

- обеспечивающие защиту отдельных категорий граждан (несовершеннолетних, беременных женщин, кормящих матерей, инвалидов);
- применяемые в отдельных местах происхождения продукции, если отсутствие таких требований в силу климатических и географических особенностей приведет к недостижению указанных выше целей.

Помимо этого ТР устанавливают «... минимально необходимые ветеринарно-санитарные и фитосанитарные меры в отношении продукции, происходящей из отдельных стран и/или мест», представляющие обязательные для исполнения требования и процедуры, исключающие возможность переноса и распространения животными, растениями и другими объектами вредных организмов, заболеваний, переносчиков болезней и т. д.

Технические регламенты «... применяются одинаковым образом и в равной мере независимо от страны и (или) места происхождения продукции», т.е. их требования обязательны для продукции независимо от того произведена она в России или в другой стране для использования в нашей. Эти же положения касаются связанных с продукцией процессов проектирования, производства, строительства, монтажа, наладки, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации.

При разработке проектов ТР в качестве основы должны использоваться полностью или частично соответствующие международные стандарты за исключением случаев, если такое использование признано невозможным вследствие:

- климатических и географических особенностей РФ, технических и (или) технологических особенностей;
- того, что РФ выступала против принятия этих международных стандартов или отдельных их положений.

Национальные стандарты можно использовать в качестве основы для разработки проектов ТР.

Технический регламент может быть принят ФЗ или постановлением Правительства РФ, а в особых случаях – указом Президента РФ или ратификацией международного договора на федеральном уровне, т. е. Государственной Думой.

Президент РФ вправе издать ТР без публичного обсуждения при возникновении обстоятельств, приводящих к непосредственной угрозе здоровью граждан, окружающей среде, жизни или здоровью животных и растений, и в случаях, если для обеспечения безо-

пасности продукции и связанных с ней процессов необходимо незамедлительное принятие соответствующего нормативного правового акта о ТР.

Основная форма принятия ТР – Федеральный закон. Со дня вступления в силу ФЗ о техническом регламенте, соответствующий ТР, изданный указом Президента РФ или постановлением Правительства РФ, утрачивает силу.

Для того, чтобы национальная система технического регулирования соответствовала интересам национальной экономики, уровню развития материально-технической базы и уровню научно-технического развития, а также международным нормам и правилам, Правительство РФ подготавливает и утверждает Программу разработки ТР, которая ежегодно уточняется и публикуется.

В соответствии с ФЗ «О техническом регулировании» разработать проект ТР может любое заинтересованное в нем юридическое лицо.

Для бизнеса стимулом для разработки ТР может быть возможность изменения или отмены действующих, но устаревших норм, а также правил оценки соответствия; для потребителей – недостаточно высокий уровень защиты прав по действующим нормам; для контролирующих органов – легализация обязательных норм, ранее установленных ведомственными документами; для государственных учреждений и органов государственной власти – программные установки Президента и Правительства РФ, определяющие тактику и стратегию экономического развития страны [1].

Порядок разработки, принятия, изменения и отмены ТР определен ФЗ «О техническом регулировании».

1.3. Государственный контроль (надзор) за соблюдением требований технических регламентов

Одной из важнейших составляющих обеспечения качества изделий является контроль за соблюдением требований ТР и стандартов всех категорий.

В соответствии с ФЗ «О техническом регулировании» «... *контроль (надзор) за соблюдением требований технических регламентов – проверка выполнения юридическим лицом или индивидуальным предпринимателем требований технических регламентов к продукции или к связанным с ней процессам проектирования (включая изыскания), производства, строительства, монтажа, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации и принятие мер по результатам проверки*».

Государственный контроль (надзор) за соблюдением требований ТР осуществляют:
– федеральные органы исполнительной власти;

- органы исполнительной власти субъектов РФ;
- подведомственные органы исполнительной власти;
- государственные учреждения, уполномоченные на проведение государственного контроля (надзора) в соответствии с законодательством РФ.

Органы государственного контроля (надзора) вправе:

«требовать от изготовителя (продавца, лица выполняющего функции иностранного изготовителя) предъявления декларации о соответствии или сертификата соответствия, подтверждающих соответствие продукции требованиям технических регламентов или их копий, если применение таких документов предусмотрено соответствующим техническим регламентом;

осуществлять мероприятия по государственному контролю (надзору) за соблюдением требований технических регламентов в порядке, установленном законодательством Российской Федерации;

выдавать предписания об устранении нарушений требований технических регламентов в срок, установленный с учетом характера нарушения;

направлять информацию о необходимости приостановления или прекращения действия сертификата соответствия в выдавший его орган по сертификации; выдавать предписания о приостановлении или прекращении действия декларации о соответствии лицу, принявшему декларацию, и информировать об этом федеральный орган исполнительной власти, организующий формирование и ведение единого реестра деклараций о соответствии;

привлекать изготовителя (исполнителя, продавца, лицо, выполняющее функции иностранного изготовителя) к ответственности, предусмотренной законодательством Российской Федерации;

принимать иные предусмотренные законодательством Российской Федерации меры в целях недопущения причинения вреда».

Органы государственного контроля (надзора) обязаны:

«проводить в ходе мероприятий по государственному контролю (надзору) за соблюдением требований технических регламентов разъяснительную работу по применению законодательства Российской Федерации о техническом регулировании, информировать о существующих технических регламентах;

соблюдать коммерческую тайну и иную охраняемую законом тайну;

соблюдать порядок осуществления мероприятий по государственному контролю (надзору) за соблюдением требований технических регламентов и оформления результатов таких мероприятий, установленный законодательством Российской Федерации;

принимать на основании результатов мероприятий по государственному контролю (надзору) за соблюдением требований технических регламентов меры по устранению последствий нарушений требований технических регламентов;

направлять информацию о несоответствии продукции требованиям технических регламентов в соответствии с положениями главы 7 настоящего Федерального Закона;

осуществлять другие предусмотренные законодательством Российской Федерации полномочия».

В случае ненадлежащего выполнения своих служебных обязанностей при проведении мероприятий по государственному контролю (надзору), а также в случае совершения противоправных действий (бездействия) органы государственного контроля (надзора) и их должностные лица несут ответственность в соответствии с законодательством РФ. При этом органы государственного контроля (надзора) в течение месяца должны информировать лицо, права и законные интересы которого нарушены, о мерах, принятых в отношении виновных в нарушении законодательства РФ.

В ФЗ «О техническом регулировании» определены также:

– ответственность изготовителя (исполнителя, продавца или лица, выполняющего функции иностранного изготовителя) за нарушение требований ТР, неисполнение предписаний и решений органа государственного контроля (надзора), причинения вследствие нарушений требований ТР вреда (появления угрозы вреда) жизни или здоровью граждан, имуществу физических или юридических лиц, государственному или муниципальному имуществу, окружающей среде, жизни или здоровью животных и растений;

– правила информирования заинтересованных лиц о несоответствии продукции требованиям ТР.

1.4. Основные понятия, цели и принципы стандартизации

С 1992 г. государственное управление стандартизацией в РФ осуществлял Государственный комитет Российской Федерации по стандартизации, метрологии и сертификации (Госстандарт России).

В 1993 г. был принят закон РФ «О стандартизации», установивший правовые основы стандартизации в РФ, и принята Государственная система стандартизации Российской Федерации (ГСС РФ), а в 1994 г. утверждена новая редакция системы. Эта система представляла собой комплекс взаимосвязанных, основополагающих стандартов, регламентирующих общие организационно-технические правила проведения работ по стандартиза-

ции, порядок разработки и применения государственных стандартов, а также стандартов отраслей и предприятий.

В упомянутом федеральном законе указывалось, что «Госстандарт России осуществляет контроль и надзор за соблюдением обязательных требований государственных стандартов».

Действовавшие в РФ стандарты периодически обновлялись путем замены устаревших требований и гармонизации их с международными стандартами.

Однако система стандартизации в РФ принципиально отличалась от национальных систем технического регулирования развитых стран. Это обстоятельство было тормозом для продвижения российских товаров на мировые рынки и развития добросовестной конкуренции. Для преодоления технических барьеров в торговле, развития рыночных отношений и дальнейшей интеграции РФ в мировое экономическое пространство система технического нормирования РФ была приведена в соответствие с требованиями международных и региональных организаций по стандартизации. С 1 июля 2003 г. вступил в действие ФЗ «О техническом регулировании» и был отменен закон РФ «О стандартизации». Основой ФЗ «О техническом регулировании» являются положения и рекомендации Международной организации по стандартизации, Всемирной торговой организации, Европейской экономической комиссии ООН, Европейского комитета по стандартизации.

Федеральным органом исполнительной власти, осуществляющим управление в сфере технического регулирования, в настоящее время является Министерство промышленности и торговли РФ, в подчинении которого находится Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии (Росстандарт).

Основные термины и определения в области стандартизации, установленные комитетом по изучению научных принципов стандартизации ИСО и принятые многими странами, приведены в ФЗ «О техническом регулировании». В соответствии с этим ФЗ:

«стандартизация – деятельность по установлению правил и характеристик в целях их добровольного многократного использования, направленная на достижение упорядоченности в сферах производства и обращения продукции и повышение конкурентоспособности продукции, работ или услуг;

стандарт – документ, в котором в целях добровольного многократного использования устанавливаются характеристики продукции, правила осуществления и характеристики процессов проектирования (включая изыскания), процессов производства, строительства, монтажа, наладки, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации, выполнения работ или оказания услуг. Стандарт так же может содержать требования, правила и методы исследований (испытаний) и измерений, правила

отбора образцов, требования к терминологии, символике, упаковке, маркировке или этикеткам и правилам их нанесения».

Основными целями стандартизации являются:

«повышение уровня безопасности жизни и здоровья граждан, имущества физических и юридических лиц, государственного или муниципального имущества, объектов с учетом риска возникновения чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, повышение уровня экологической безопасности, безопасности жизни и здоровья животных и растений;

обеспечение конкурентоспособности и качества продукции (работ, услуг), единства измерений, рационального использования ресурсов, взаимозаменяемости технических средств (машин и оборудования, их составных частей, комплектующих изделий и материалов), технической и информационной совместимости, сопоставимости результатов исследований (испытаний) и измерений, технических и экономико-статистических данных, проведения анализа характеристик продукции (работ, услуг), исполнения государственных заказов, добровольного подтверждения соответствия продукции (работ, услуг);

содействие соблюдению требований ТР;

создание систем классификации и кодирования технико-экономической и социальной информации, систем каталогизации продукции (работ, услуг), систем обеспечения качества продукции (работ, услуг), систем поиска и передачи данных, содействие проведению работ по унификации».

Стандартизация в Российской Федерации осуществляется в соответствии с принципами:

«добровольного применения стандартов;

максимального учета при разработке стандартов законных интересов заинтересованных лиц;

применения международного стандарта как основы разработки национального стандарта», (за исключением случаев, установленных в аналогичной ситуации для ТР);

«недопустимости создания препятствий производству и обращению продукции, выполнению работ и оказанию услуг в большей степени, чем это минимально необходимо для выполнения целей, указанных выше;

недопустимости установления таких стандартов, которые противоречат техническим регламентам;

обеспечения условий для единообразного применения стандартов».

Добровольность применения стандартов является основополагающим принципом стандартизации. Этот принцип определяет юридический статус стандартов как документов, не имеющих обязательного характера.

Стандартизация, как вид деятельности, сохраняет государственный характер и порядок ее осуществления регулируется государством в соответствии с Конституцией РФ. Однако применение требований стандартов ложится на ответственность пользователя стандартов и является добровольной.

Соблюдение требований документов по стандартизации или их отдельных положений становится обязательным:

- для всех субъектов хозяйственной деятельности, если это установлено в ТР или нормативных правовых актах;
- для участников соглашения (контракта, договора) относительно разработки, изготовления или снабжения продукцией, оказания услуг, проведения работ, если приводится ссылка на национальные стандарты;
- для производителя или поставщика продукции (работ, услуг), если он принял декларацию о соответствии продукции (работ, услуг) документам по стандартизации или применил обозначение документов по стандартизации в маркировке, в эксплуатационной или иной документации;
- для производителя или поставщика, если его продукция (работы, услуги) сертифицирована на соответствие требованиям документов по стандартизации.

Обеспечение при разработке и принятии стандартов консенсуса всех заинтересованных сторон достигается процедурой публичного обсуждения проекта стандарта, при котором учитываются мнения всех сторон и сближаются несовпадающие точки зрения.

1.5. Организация работ по стандартизации

Организационная система стандартизации включает национальный орган по стандартизации, технические комитеты по стандартизации и другие организации (рис. 1.2).

Национальный орган Российской Федерации по стандартизации возглавляет и осуществляет все работы по стандартизации. В настоящее время им является *Росстандарт*.

Деятельность Росстандарта, как национального органа РФ по стандартизации должна обеспечивать соответствие национальной системы стандартизации интересам национальной экономики, уровню научно-технического прогресса, состоянию материально-технической базы и производства в России.

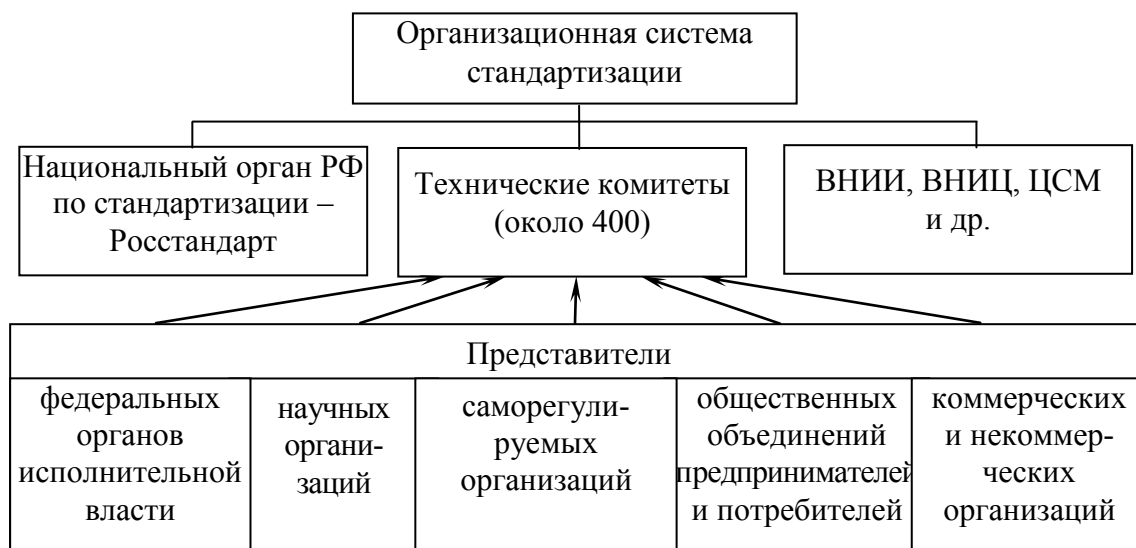


Рис. 1.2. Структура организационной системы стандартизации

В соответствии с ФЗ «О техническом регулировании» Росстандарт выполняет следующие функции:

- «утверждает национальные стандарты;*
- принимает программу разработки национальных стандартов;*
- организует экспертизу проектов национальных стандартов;*
- обеспечивает соответствие национальной системы стандартизации интересам национальной экономики, состоянию материально-технической базы и научно-техническому прогрессу;*
- осуществляет учет национальных стандартов, правил стандартизации, норм и рекомендаций в этой области и обеспечивает их доступность заинтересованным лицам;*
- создает технические комитеты по стандартизации, утверждает положение о них и координирует их деятельность;*
- организует опубликование национальных стандартов и их распространение;*
- участвует в соответствии с уставами международных организаций в разработке международных стандартов и обеспечивает учет интересов Российской Федерации при их принятии;*
- утверждает изображение знака соответствия национальным стандартам;*
- представляет Российскую Федерацию в международных организациях, осуществляющих деятельность в области стандартизации».*

Основными функциями технических комитетов являются [1]: организация разработки и пересмотра национальных стандартов в своей области деятельности; обеспечение гармонизации национальных стандартов с международными и региональными стандартами; рассмотрение проектов национальных стандартов и проведение их экспертизы; уча-

стие в работе международных и региональных организаций по стандартизации; участие в разработке международных и региональных стандартов и способствование принятию российских стандартов в качестве международных.

В систему органов по стандартизации России входят также [19]:

Всероссийские научно-исследовательские институты стандартизации (ВНИИ Стандарт), стандартизации и сертификации в машиностроении (ВНИИНМАШ), классификации, терминологии и информации по стандартизации и качеству (ВНИИКИ) и др.;

Всероссийский научно-исследовательский центр стандартизации, информации и сертификации сырья, материалов и веществ (ВНИИЦСМВ);

центры стандартизации, метрологии и сертификации Росстандарта (ЦСМ);

подразделения (службы) субъектов хозяйственной деятельности: научно-исследовательские отделы, конструкторско-технологические отделы; лаборатории, бюро, группы, специалисты, создаваемые на предприятиях и организациях для выполнения различного рода работ по стандартизации.

1.6. Документы в области стандартизации. Виды стандартов. Гармонизация стандартов

К документам в области стандартизации, используемым на территории РФ, в соответствии с ФЗ «О техническом регулировании» (в редакции от 30.12.2009) относятся:

«национальные стандарты;

правила стандартизации, нормы и рекомендации в области стандартизации;

применяемые в установленном порядке классификации, общероссийские классификаторы технико-экономической и социальной информации;

стандарты организаций;

сводоы правил;

международные стандарты, региональные стандарты, региональные своды правил, стандарты иностранных государств и своды правил иностранных государств, зарегистрированные в Федеральном информационном фонде технических регламентов и стандартов;

надлежащим образом заверенные переводы на русский язык международных стандартов, региональных стандартов, региональных сводов правил, стандартов иностранных государств и сводов правил иностранных государств, принятые на учет национальным органом РФ по стандартизации».

Кроме того, в настоящее время продолжают действовать отраслевые стандарты (ОСТ), принятые для конкретных отраслей, например, автомобилестроения.

Национальные стандарты утверждаются Росстандартом.

Разработка национальных стандартов должна выполняться открыто. Это достигается публикацией программы разработки национальных стандартов и уведомлений об их разработке, завершении публичного обсуждения и утверждения; публичностью обсуждения национальных стандартов; единством и непротиворечивостью правил разработки и утверждения национальных стандартов с обязательной экспертизой всех проектов стандартов.

«Национальный стандарт применяется на добровольной основе равным образом и в равной мере независимо от страны и (или) места происхождения продукции, осуществления процессов производства, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации, выполнения работ и оказания услуг, видов или особенностей сделок и (или) лиц, являющихся изготовителями, исполнителями, продавцами, приобретателями».

«Применение национального стандарта подтверждается знаком соответствия национальному стандарту».

Обозначение национального стандарта состоит из индекса «ГОСТ Р», регистрационного номера и отделенных от него тире четырех цифр года утверждения (принятия) стандарта, например, ГОСТ Р 511672–2004.

Если национальный стандарт РФ входит в систему общетехнических или организационно-методических национальных стандартов РФ, то обозначение такого стандарта формируют при его разработке в порядке, установленном основополагающим стандартом данной системы. При этом в обозначение стандарта включают одно- или двухразрядный код системы стандартов, отделенный от остальной цифровой части точкой.

Например, в обозначении национального стандарта ГОСТ Р 1.5–2004 код «1» соответствует системе стандартов «Стандартизация в Российской Федерации», а в обозначении ГОСТ Р 40.002–2000 код «40» соответствует системе стандартов «Система сертификации ГОСТ Р».

«В соответствии с Постановлением ГОССТАНДАРТа РФ от 30.01.2004 № 4 национальными стандартами признаются государственные и межгосударственные стандарты, принятые Госстандартом России до 1 июля 2003 г.».

«В случае отсутствия национальных стандартов применительно к отдельным требованиям технических регламентов или объектам технического регулирования, в целях обеспечения соблюдения требований технических регламентов к продукции или к связанным с ней процессам проектирования, реализации и утилизации разрабатываются своды правил». К сводам правил, используемым в РФ, относятся, например Строительные нормы и правила (СНиП), Санитарные правила и нормы (СанПиН) и другие подобные документы федеральных органов исполнительной власти.

«Общероссийские классификаторы технико-экономической и социальной информации – нормативные документы, распределяющие технико-экономическую и социальную информацию в соответствии с ее классификацией (классами, группами, видами и другим) и являющиеся обязательными для применения при создании государственных информационных систем и информационных ресурсов и межведомственном обмене информацией».

«Стандарты организаций – в том числе коммерческих, общественных, научных организаций, саморегулируемых организаций, объединений юридических лиц могут разрабатываться и утверждаться ими самостоятельно, исходя из необходимости применения этих стандартов для достижения целей (стандартизации), для совершенствования производства и обеспечения качества продукции, выполнения работ, оказания услуг, а также для распространения и использования полученных в различных областях знаний результатов исследований (испытаний), измерений и разработок».

Порядок разработки, утверждения, учета, изменения и отмены стандартов организаций устанавливают сами организации с учетом принципов стандартизации,

«Участники работ по стандартизации, а также национальные стандарты, общероссийские классификаторы технико-экономической и социальной информации, правила их разработки и применения, правила стандартизации, нормы и рекомендации в области стандартизации, своды правил образуют национальную систему стандартизации».

В зависимости от специфики объекта стандартизации и содержания устанавливаемых требований, согласно ГОСТ Р 1.0–2004, стандарты могут быть следующих видов:

- на продукцию;
- на процессы (работы) производства, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации продукции;
- на услуги;
- на термины и определения;
- на методы контроля (испытаний, измерений, анализа);
- основополагающие (организационно-методические и общетехнические).

Стандарты на продукцию устанавливают для групп однородной продукции или для конкретной продукции требования и методы их контроля по безопасности, основным потребительским свойствам, а также требования к условиям и правилам эксплуатации, транспортирования, хранения, применения и утилизации.

Примерами стандартов на продукцию являются: стандарты общетехнических требований; стандарты параметров и (или) размеров; стандарты типов конструкции, размера, марки, сортамента; стандарты правил приемки и др. В настоящее время накоплен большой

опыт, позволяющий с достаточной определенностью унифицировать и регламентировать содержание, построение и изложение отдельных видов стандартов, определяющих требования к поставляемой продукции.

Стандарты на процессы и работы устанавливают основные требования к организации производства и оборота продукции на рынке, к методам (способам, приемам, режимам, нормам) выполнения различного рода работ, а также методы контроля этих требований в технологических процессах разработки, изготовления, хранения, транспортирования, эксплуатации, ремонта и утилизации продукции.

Стандарты на услуги устанавливают требования и методы их контроля для групп однородных услуг или для конкретной услуги в части состава, содержания и формы деятельности по оказанию помощи, принесения пользы потребителю услуги, а также требования к факторам, оказывающим существенное влияние на качество услуги.

Стандарты на термины и определения устанавливают наименование и содержание понятий, используемых в стандартизации и смежных видах деятельности.

Стандарты на методы контроля, испытаний, измерений и анализа устанавливают требования к используемому оборудованию, условиям и процедурам осуществления всех операций, обработки и представлению полученных результатов, квалификации персонала.

Основополагающие стандарты устанавливают общие организационно-методические положения для определенной области деятельности, а также общетехнические требования (нормы и правила), обеспечивающие: взаимопонимание, совместимость и взаимозаменяемость; техническое единство и взаимосвязь различных областей науки, техники и производства в процессах создания и использования продукции; охрану окружающей среды; безопасность здоровья людей и имущества и другие общетехнические требования, обеспечивающие интересы национальной экономики и безопасности. Примером основополагающих стандартов могут быть системы стандартов «Единая система конструкторской документации» (ЕСКД), «Единая система технологической документации» (ЕСТД), «Единая система допусков и посадок» (ЕСДП), нормативные документы по организации государственной системы стандартизации в РФ и др.

Гармонизация стандарта – это приведение его содержания в соответствие с другим стандартом для обеспечения взаимозаменяемости продукции (услуг), взаимного понимания результатов испытаний и информации, содержащейся в стандартах.

Гармонизированный стандарт – это стандарт, относящийся к одному и тому же объекту и утвержденный различными органами, занимающимися стандартизацией [1].

В зависимости от того, какому документу соответствует гармонизированный стандарт, различают уровни гармонизации. Стандарты, гармонизированные на международ-

ном уровне, гармонизированы с международными стандартами. Стандарты, гармонизированные на региональном уровне, гармонизированы с региональными стандартами.

Унифицированные стандарты – гармонизированные стандарты, идентичные по содержанию, но не идентичные по форме представления.

Идентичные стандарты – гармонизированные стандарты, идентичные и по содержанию, и по форме представления. Нередко это точный перевод стандарта (международного, регионального, национального), принятого в национальной системе стандартизации.

Кроме гармонизированных стандартов существуют стандарты *односторонне согласованные и сопоставимые*.

В первом случае объекты стандартизации (продукция, процессы, услуги и др.), представляемые в соответствии с таким стандартом, отвечают требованиям и какого-либо другого стандарта, но не наоборот. К сопоставимым стандартам относятся стандарты на одну и ту же продукцию, на одни и те же процессы или услуги, в которых различные требования основываются на одних и тех же характеристиках и которые оцениваются с помощью одних и тех же методов, позволяющих однозначно сопоставить различия в требованиях, хотя эти стандарты утверждены различными органами, занимающимися стандартизацией.

Стандарты международных (региональных, национальных) организаций используют для гармонизации российских стандартов, если РФ является членом этих организаций или имеет соответствующие соглашения (договоры).

Международные стандарты можно использовать в РФ двумя различными способами [1].

Прямое применение международных стандартов в торговле, производстве и другой хозяйственной деятельности используется независимо от принятия данного международного стандарта в любом другом нормативном документе. При прямом применении международного стандарта на титульном листе приводится наименование международного стандарта на русском языке и языке оригинала и обозначение номера международного стандарта.

Косвенное применение международного стандарта осуществляется посредством другого нормативного документа, в котором этот стандарт был принят. На практике это может быть выполнено тремя методами:

1) метод обложки – принятие национального стандарта, идентичного соответствующему международному стандарту, т. е. без изменения структуры и технического содержания международного стандарта; обозначение стандарта, принятого методом обложки, формируют из индекса «ГОСТ Р», обозначения соответствующего международного

стандарта без указания года его принятия и указания, через тире, года принятия национального стандарта, а также индекса IDT, например ГОСТ Р ИСО 10264–2004 (IDT);

2) принятие национального стандарта, идентичного международному стандарту и представляющего собой аутентичный (подлинный) перевод на русский язык международного стандарта без изменения его структуры и технического содержания (метод переиздания в виде аутентичного перевода); обозначение такого идентичного национального стандарта аналогично стандарту, гармонизированному методом обложки (см. выше);

3) принятие национального стандарта, модифицированного (измененного) по отношению к международному стандарту. В отличие от первых двух идентичных стандартов, этот национальный стандарт называют модифицированным и обозначают индексом MOD. Модифицированный стандарт, представляет собой аутентичный перевод международного стандарта с внесением (исключением) в него дополнительных требований и изменений, отражающих потребности экономики РФ; пример обозначения модифицированного стандарта:

ГОСТ Р 51885 – 2002 (MOD)
(ИСО 7001:1990)

Если международный стандарт нецелесообразно использовать как национальный идентичный или модифицированный, его перевод может быть использован в качестве основы для разработки национального стандарта, но в содержание стандарта и его структуру вносят необходимые существенные изменения. Такой национальный стандарт не является гармонизированным, а в определенной степени соответствует международному стандарту. Такую степень соответствия обозначают индексом NEQ (что означает, что стандарт – негармонизированный, неэквивалентный).

1.7. Международная и региональная стандартизация

Международный стандарт – это стандарт, принятый международной организацией по стандартизации.

Международной является организация по стандартизации, если членство в ней открыто для соответствующего национального органа каждой страны.

Региональный стандарт – это стандарт, принятый региональной организацией по стандартизации.

Региональной является организация по стандартизации, членство в которой открыто для соответствующего национального органа каждой страны только одного географического, политического или экономического региона мира.

Крупнейшей международной организацией в области стандартизации является ИСО, организованная 14 октября 1946 г. Основная цель ИСО – содействовать благоприятному развитию стандартизации во всем мире для того, чтобы облегчить международный обмен товарами и развивать взаимное сотрудничество в области интеллектуальной, научной, технической и экономической деятельности. В настоящее время в состав ИСО входят национальные организации 146 государств [1]. Полноправным членом ИСО от РФ является Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. Официальные языки ИСО: английский, французский и русский. Высшим органом ИСО является Генеральная Ассамблея, которая собирается раз в 3 года и принимает решения по наиболее важным вопросам и избирает Президента.

Сфера деятельности ИСО лежит в области стандартизации во всех отраслях, кроме электротехники, электроники, радиосвязи и приборостроения, которые относятся к компетенции МЭК. Документы, являющиеся итогом совместной работы ИСО и МЭК, отмечены аббревиатурой ИСО/МЭК. Основная масса стандартов ИСО касается безопасности, взаимозаменяемости, технической совместимости, терминологии, методов испытаний продукции и других общих и методических вопросов. Лишь только около 25 % стандартов ИСО включают требования к конкретной продукции [1].

К международным организациям, участвующим в стандартизации, относится и ЕЭК ООН, главной задачей которой в области стандартизации является разработка основных направлений стандартизации на правительственном уровне и определение приоритетов в этой области.

Разработкой международных стандартов на продовольственные товары занимается Комиссия Кодекс Алиментариус – международная организация, созданная совместно Всемирной организацией здравоохранения (ВОЗ) и Продовольственной и сельскохозяйственной организацией ООН (ФАО). Сотрудничество ИСО, ЕЭК ООН и Комиссии Кодекс Алиментариус способствует гармонизации стандартов в этой области и упрощает торговлю продуктами питания.

Международные организации по стандартизации поддерживают постоянные рабочие контакты с региональными организациями по стандартизации. Практически страны-члены региональных организаций одновременно являются членами ИСО и других международных организаций. Поэтому при разработке региональных стандартов за основу принимаются международные стандарты, нередко еще на стадии проекта.

Среди региональных организаций, работающих в области стандартизации в дальнем зарубежье, в первую очередь следует отметить Европейский комитет по стандартизации (СЕН). Процесс стандартизации в рамках СЕН включает планирование, разработку и

принятие европейских стандартов (Евронорм – EN), – обязательно на основе использования международных стандартов. Высший орган СЕН – Генеральная ассамблея, в которой представлены национальные организации по стандартизации стран – членов ЕС.

К региональным организациям по стандартизации, кроме СЕН, относятся [1]: Европейский комитет по стандартизации в электротехнике СЕНЭЛЕК; Европейский институт по стандартизации в области электросвязи – ЕТСИ; Межскандинавская организация по стандартизации – ИНСТА; Консультативный комитет по стандартизации и качеству Ассоциации стран Юго-Восточной Азии – АСЕАН; Панамериканский комитет стандартов – КОПАНТ; Евразийский совет по стандартизации, метрологии и сертификации (региональное объединение национальных органов по стандартизации стран – членов СНГ) – ЕАСС. ИСО, МЭК и СЕН признали ЕАСС, как региональную организацию по стандартизации в странах СНГ. Стандарты, принятые ЕАСС и доступные широкому кругу пользователей называют *межгосударственными* стандартами. Их обозначение осталось прежним – ГОСТ. Все организационные вопросы в ЕАСС решаются в соответствии с ГОСТ 1.0–92 «Правила проведения работ по межгосударственной стандартизации. Общие положения». Первоочередная задача ЕАСС – гармонизация межгосударственных стандартов с международными стандартами.

1.8. Национальные системы стандартизации

Национальные системы стандартизации развитых в промышленном отношении стран мира существенно отличаются друг от друга и их основные положения приведены ниже [1].

Стандартизация в США разделена по промышленным секторам, в которых существуют многочисленные независимые частные организации по разработке стандартов.

В 1918 г. представителями нескольких таких организаций и правительством США был создан Американский национальный институт по стандартизации (АНСИ), являющийся частной некоммерческой организацией и включающий в настоящее время более 700 членов, в том числе 30 правительственных органов, 20 институтов и 260 частных организаций. АНСИ не разрабатывает стандарты, а является управляющим и координирующим органом для своих организаций – членов, которые разрабатывают стандарты на базе консенсуса, открытости и беспристрастности. АНСИ аккредитует частные организации, разрабатывающие стандарты и утверждает эти стандарты. Такие стандарты в обозначении имеют аббревиатуру ANSI. Иногда к ней добавляют аббревиатуру организации, разрабо-

тавшей стандарт, например ANSI/SAE (SAE – общество инженеров в автомобильной промышленности).

Департамент торговли США имеет в своем составе несколько бюро, работающих в области стандартизации: Администрация международной торговли (АМТ), Национальный институт по стандартам и технологиям (НИСТ), Национальная администрация по телекоммуникациям и информации (НАТИ) и др.

Система национальной стандартизации в США, несмотря на участие в работе ИСО и МЭК, развивалась обособленно, и в настоящее время подходы к стандартизации в США и странах-членах ЕС имеют существенные различия. Это связано с тем, что системой добровольных стандартов США управляет частный сектор и специалисты США в области стандартизации полагают, что стандартизация должна подчиняться законам конкуренции. Если существуют параллельные стандарты, то в случае необходимости рынок внесет свои коррективы. В Европе, напротив, убеждены, что промышленность крайне заинтересована в международных гармонизированных стандартах, разработанных в условиях открытости и консенсуса, и предостерегают от подчинения стандартизации законам конкуренции.

Стандартизация в Великобритании. Полномочным органом правительства Великобритании, ответственным за развитие национальной стандартизации, является Британский институт стандартов (BSI) – независимая организация, представляющая Великобританию в ИСО, МЭК, СЕН и СЕНЭЛЕК. Основные функции BSI – координация деятельности по разработке стандартов на основе соглашения между всеми заинтересованными сторонами и принятие британских стандартов (BS). Между BSI и правительством подписан меморандум о взаимопонимании, в котором подчеркивается, что содержание и форма национальных стандартов должны быть удобны для использования их при контроле качества продукции, подтверждении соответствия, а также при торговых переговорах и заключении контрактов. Со своей стороны, BSI считает приоритетными те направления стандартизации, которые правительство определяет, как отвечающие национальным интересам. Кроме стандартизации, BSI возглавляет работы по управлению качеством и сертификации. BSI имеет испытательный центр, который проводит испытания серийной продукции широкого профиля – от электронного оборудования до ширпотреба. Испытательный центр BSI считается одним из самых авторитетных в мире, и практически все страны признают его сертификаты без повторных испытаний.

Стандартизация во Франции. Национальной организацией по стандартизации во Франции является Французская ассоциация по стандартизации (AFNOR), на которую возложены организация, руководство и координация деятельности по стандартизации, разра-

ботка и принятие национальных стандартов, представление Франции в международных организациях по стандартизации. Помимо стандартизации, деятельность AFNOR включает сертификацию, метрологию и контроль качества.

В национальной системе стандартизации Франции под методическим руководством AFNOR действуют отраслевые бюро по стандартизации (их более 30). Отраслевые бюро выполняют основную работу по стандартизации в отдельных отраслях промышленности.

Основной принцип работ по стандартизации во Франции – использование программно-целевого метода. В настоящее время реализуются 19 долгосрочных целевых программ, направленных на решение приоритетных задач в различных областях экономической деятельности. При этом приоритетными в международной стандартизации признаны информационные технологии, в европейской – транспорт и телекоммуникации, а в национальной – экология, безопасность и агропромышленное производство.

Национальные стандарты Франции и знаки соответствия вплоть до настоящего времени обозначались аббревиатурой NF. Замена этого знака на AFNOR подчеркивает роль национальной стандартизации в экономике страны и ЕС.

Стандартизация в Германии. Национальной организацией по стандартизации Германии и полномочным представителем страны в ИСО, МЭК, СЕН и СЕНЭЛЕК является Немецкий институт по стандартизации (DIN).

Национальные немецкие стандарты носят добровольный (рекомендательный) характер и рассматриваются не как юридические нормы, а как «общепринятые правила техники». В сфере производства применение стандартов считается мерой безупречного технического поведения.

Между институтом DIN и правительством Германии заключено соглашение, согласно которому DIN обязуется действовать в интересах всего общества и вносить вклад в устранение технических барьеров в торговле. Кроме стандартизации, DIN занимается вопросами сертификации соответствия продукции. Эта область деятельности института связана с Германским обществом по маркированию продукции, которое занимается организацией, управлением и надзором за системами сертификации продукции на соответствие требованиям стандартов DIN, региональных или международных.

В обозначении национальных стандартов Германии имеется аббревиатура DIN, например, стандарт DIN 820.

Стандартизация в Японии. Национальная организация по стандартизации Японии – Японский комитет промышленных стандартов (JISC), выполняющий функции консультативного органа при министерстве внешней торговли и промышленности. Комитет под-

чинен управлению науки и техники, которое утверждает работы JISC, а отдел стандартизации этого управления, по существу, играет роль секретариата JISC.

Согласно закону о стандартизации, в Японии действуют национальные промышленные стандарты, отраслевые стандарты промышленных ассоциаций и фирменные стандарты. Национальные промышленные стандарты (JIS) носят добровольный характер для отраслей добывающей и обрабатывающей промышленности, но стандарты на медицинские препараты, средства защиты сельскохозяйственных культур и минеральные удобрения – обязательны. Национальные промышленные стандарты утверждаются министрами отраслей, которые на это уполномочены законом о стандартизации. Отраслевые стандарты промышленных ассоциаций представляют собой, как правило, детализацию национальных стандартов. Фирменные стандарты разрабатываются на основе национальных и отраслевых, но требования их отличаются. Работу по стандартизации на фирмах ведут отделы стандартизации этих фирм.

Японские специалисты принимают участие в работе ИСО и МЭК. В последние годы JISC более активно взаимодействует с региональными организациями по стандартизации, особенно с АСЕАН, где японская система промышленной стандартизации оценивается высоко.

Стандартизация в Китае. В 1989 г. в Китае вступил в действие Закон о стандартизации, который установил четыре уровня стандартов: национальные, отраслевые, местные и стандарты предприятий. Все стандарты делятся на две группы: обязательные и имеющие рекомендательный характер. В законе о стандартизации записано: «Должно быть обеспечено выполнение требований обязательных стандартов. Производство, продажа и импорт продукции, не соответствующей обязательным стандартам, запрещены».

Национальные стандарты разрабатываются и принимаются под контролем Управления по стандартизации Китая (SAC). Кодовое обозначение обязательного национального стандарта – GB. Стандарты, имеющие рекомендательный характер, обозначаются символом GB/T. Буква Т используется также в отраслевых и местных стандартах для обозначения документов рекомендательного характера.

Отраслевые стандарты разрабатываются для использования в рамках определенной отрасли на территории всей страны при отсутствии национального стандарта.

При отсутствии национальных и отраслевых стандартов для использования на территориях провинций разрабатываются местные стандарты. Местные стандарты должны содержать требования безопасности и гигиены промышленных продуктов, лекарств, ветеринарии, безопасности пищевых продуктов, защиты окружающей среды, сбережения энергоресурсов и др.

1.9. Методы стандартизации.

Комплексная и опережающая стандартизация

Классификация методов стандартизации

Под *методом стандартизации* понимается прием или совокупность приемов, которые обеспечивают достижение поставленных целей (рис. 1.3).

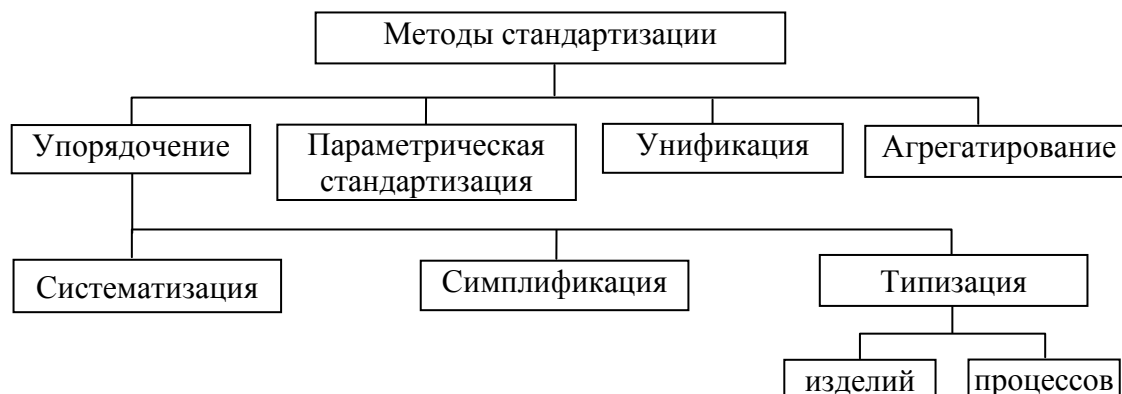


Рис. 1.3. Методы стандартизации

Метод *упорядочения* включает в себя систематизацию, симплификацию и типизацию объектов стандартизации.

Систематизация объектов стандартизации заключается в научно обоснованном, последовательном классифицировании и ранжировании совокупности конкретных объектов стандартизации [18].

Примерами результатов работы по систематизации могут служить общероссийские классификаторы, принятые Госстандартом России: Общероссийский классификатор продукции (ОКП); Общероссийский классификатор предприятий и организаций (ОКПО); Общероссийский классификатор стандартов (ОКС); Общероссийский классификатор изделий и конструкторских документов машиностроения и приборостроения (ЕСКД) и др.

Симплификация (от лат. *simples* – простота, *facere* – делать) заключается в ограничении номенклатуры применяемых в производстве изделий, основных и вспомогательных материалов до такого количества, которое является достаточным для удовлетворения существующей потребности.

При симплификации, как правило, исключают разновидности изделий, их составных частей, деталей и материалов, которые не являются необходимыми. В объекты симплификации не вносят каких-либо усовершенствований.

Типизация объектов стандартизации – это деятельность, направленная на разработку и установление типовых объектов, конструктивных, технологических, организацион-

ных и экономических решений [18]. Объектами типизации могут быть как конструкции изделий, так и связанные с ними процессы, в том числе технологические.

Типизация конструкций изделий – разработка и установление типовых конструкций, содержащих конструктивные параметры, общие для изделий, сборочных единиц и деталей.

Типизация технологических процессов (ТП) – разработка и установление ТП для производства однотипных деталей и сборки однотипных составных частей или изделий той или иной классификационной группы [19].

Типизации ТП должна предшествовать работа по классификации деталей, сборочных единиц и изделий и установлению типовых представителей, обладающих наибольшим числом признаков, характерных для деталей, сборочных единиц и изделий данной классификационной группы.

Параметрическая стандартизация. Среди параметров изделий, в том числе машин, выделяют основные параметры, определяющие характерные конструктивно-технологические и эксплуатационные свойства изделий. Например, в применении к машинам различного функционального назначения, подлежащим стандартизации, относятся следующие основные параметры [18]:

- размерные (размеры присоединительных поверхностей металлорежущих станков и технологической оснастки, длина и диаметр заготовки, обрабатываемой на токарном станке, и др.);
- эксплуатационные (диапазон и число ступеней скоростей и подач металлорежущего станка и др.);
- энергетические (мощность главного привода машины, суммарная мощность установленных электродвигателей и др.);
- силовые (крутящий момент муфты, двигателя и др.);
- параметры, характеризующие производительность (объем металла, снимаемого при резании в единицу времени и др.);
- параметры массы.

Из числа основных параметров изделий выделяют главные, которые отличаются стабильностью при технических усовершенствованиях, не зависят от применяемых материалов и технологии изготовления и наиболее полно характеризуют эксплуатационные свойства изделий. Например, для металлорежущих станков главными параметрами являются размеры устанавливаемой заготовки, диапазон перемещения рабочих органов, размеры рабочей поверхности стола.

Параметрическая стандартизация – это деятельность, направленная на выбор и установление целесообразных численных значений параметров изделий в соответствии с определенной математической закономерностью.

Параметрическая стандартизация способствует уменьшению чрезмерно большой номенклатуры изделий, сходных по назначению и незначительно отличающихся конструктивным исполнением и эксплуатационными характеристиками, а следовательно, уменьшению сроков подготовки производства, созданию условий для эффективной специализации и кооперирования предприятий и повышению их технико-экономической эффективности. При параметрической стандартизации после выбора номенклатуры главных и основных параметров изделий разрабатывают стандарты на параметрические ряды этих изделий.

Параметрическим рядом называют совокупность числовых значений параметра изделий одного функционального назначения и аналогичных по кинематике или рабочему процессу, закономерно построенных в определенном диапазоне на основе принятой градации.

Диапазон параметрического ряда – интервал, ограниченный крайними значениями членов ряда. Диапазон параметрического ряда определяется практической потребностью в изделиях данного вида. Значения крайних членов ряда выбирают так, чтобы была покрыта значительная часть потребности в стандартизируемых изделиях в настоящем и будущем.

Градация параметрического ряда – математическая закономерность, определяющая характер интервалов между членами параметрического ряда в определенном диапазоне. Градация может быть постоянной для данного параметрического ряда или различной на отдельных его участках.

Выбор градации параметрического ряда сводится к отысканию такой закономерности, которая отвечает поставленным требованиям в наибольшей степени.

Параметрические ряды изделий и других объектов стандартизации строят на базе *предпочтительных чисел*. При этом устанавливают несколько рядов значений стандартизируемых параметров с тем, чтобы при их выборе первый ряд предпочесть второму, второму – третьему и т. д.

Ряды предпочтительных чисел должны удовлетворять следующим требованиям [19]: представлять рациональную систему градаций, отвечающую потребностям производства и эксплуатации; быть бесконечными в уменьшении и увеличении чисел; включать все последовательные десятикратные или дробные значения каждого числа ряда; быть простыми и легко запоминающимися.

Этим требованиям удовлетворяют и наиболее широко используются ряды предпочтительных чисел, представляющие собой геометрические прогрессии с постоянным отношением двух соседних чисел – знаменателем прогрессии ϕ . В соответствии с рекомендациями ИСО, установлены ряды предпочтительных чисел со знаменателями:

$$\begin{aligned}\phi &= \sqrt[5]{10} \approx 1,6; \quad \phi = \sqrt[10]{10} \approx 1,25; \quad \phi = \sqrt[20]{10} \approx 1,12; \\ \phi &= \sqrt[40]{10} \approx 1,06; \quad \phi = \sqrt[80]{10} \approx 1,03; \quad \phi = \sqrt[160]{10} \approx 1,015.\end{aligned}$$

Ряды предпочтительных чисел $R5$, $R10$, $R20$, $R40$ со знаменателем ϕ , соответственно равным 1,6; 1,25; 1,12 и 1,06 являются *основными* и приведены в ГОСТ 8032–84. «Предпочтительные числа и ряды предпочтительных чисел».

Таблицы рядов предпочтительных чисел, приведенные в указанном стандарте, содержат числа, лежащие в интервале от 1,00 до 10,00. Для перехода от чисел, приведенных в таблицах в любой другой десятичный интервал, необходимо умножить соответствующее число на 10^k , где k – целое положительное или отрицательное число. Так, при $k = 1$ все числа ряда перейдут в интервал 10,0 до 100,0, а при $k = -1$ – в интервал от 0,100 до 1,000.

При установлении размеров и других параметров изделий их значения выбирают из основных рядов предпочтительных чисел, предпочитая ряд $R5$ ряду $R10$, ряд $R10$ ряду $R20$, ряд $R20$ ряду $R40$.

В рядах $R10$, $R20$, $R40$ содержится число 3,15, приблизительно равное числу π , благодаря чему округленные значения длины окружности и площади круга, диаметр которого – предпочтительное число, также являются предпочтительными числами.

В некоторых технически или экономически обоснованных случаях допускается использование *дополнительных* рядов предпочтительных чисел $R80$ и $R160$, имеющих знаменатели геометрической прогрессии ϕ соответственно 1,03 и 1,015.

Допускается использование в обоснованных случаях более округленных значений чисел, входящих в основные ряды, путем применения рядов первой (R') и второй (R'') степени округления.

Выборочные ряды образуют из основных или дополнительных рядов, если последние не удовлетворяют поставленным задачам. Их получают путем отбора каждого 2, 3, ..., n -го числа основного или дополнительного ряда. В этом случае в обозначение ряда вводится соответственно число 2, 3, ..., n , например:

- $R10/2$ – выборочный ряд, составленный из каждого второго числа ряда $R10$;
- $R80/4$ – выборочный ряд, составленный из каждого четвертого члена дополнительного ряда $R80$.

Иногда на практике используют ограниченные (сверху, снизу или сверху и снизу) основные и дополнительные ряды. Например:

- $R5 (...10)$ – основной ряд $R5$, ограниченный снизу числом 10;
- $R10 (2,5...)$ – основной ряд $R10$, ограниченный сверху числом 2,5;
- $R20 (100 ... 400)$ – основной ряд $R20$, ограниченный сверху числом 100 и снизу числом 400.

Ограниченными могут быть и выборочные ряды, например:

- $R10/2 (... 80)$ – выборочный ряд, составленный из каждого второго члена основного ряда $R10$ и ограниченный снизу числом 80;
- $R10/3 (...160...)$ – выборочный ряд, составленный из каждого третьего числа основного ряда $R10$, включающий число 160 и не ограниченный в обоих направлениях.

Составные ряды предпочтительных чисел получают путем сочетания различных основных и (или) выборочных рядов. Составной ряд в различных интервалах имеет неодинаковые знаменатели.

В радиотехнике часто используют предпочтительные числа рядов E ($E3$, $E6$, $E12$, $E24$, $E48$, $E96$ и $E192$), построенных на основе геометрической прогрессии со знаменателями:

$$\begin{aligned} E3 - \varphi &= \sqrt[3]{10} \approx 2,2; & E6 - \varphi &= \sqrt[6]{10} \approx 1,5; \\ E12 - \varphi &= \sqrt[12]{10} \approx 1,2; & E24 - \varphi &= \sqrt[24]{10} \approx 1,1 \quad \text{и т.д.} \end{aligned}$$

Допускается использовать и другие параметрические ряды, например построенные по убывающей геометрической прогрессии (в их обозначение вводится знак $\downarrow$: $\downarrow R5$; $\downarrow R10$ и т. д.), по арифметической прогрессии и др.

Многие промышленно развитые страны приняли национальные стандарты на нормальные линейные размеры. В нашей стране принят ГОСТ 6336–69, который устанавливает четыре основных ряда нормальных линейных размеров ($Ra5$, $Ra10$, $Ra20$, $Ra40$) и один дополнительный, членами которых являются округленные значения предпочтительных чисел соответствующих рядов $R5$, $R10$, $R20$, $R40$, $R80$.

Унификация (от лат. *unio* – единство и *facere* – делать) – это деятельность, направленная на приведение объектов одинакового функционального назначения к единообразию (например, к оптимальной конструкции) по установленному принципу и рациональное сокращение числа этих объектов на основе данных об их эффективной применимости.

Используют следующие виды унификации:

- модификационную унификацию, т. е. унификацию между базовой моделью и конструктивными модификациями, выполняемыми на основе этой модели;

- внутритиповую (размерно-конструктивную) унификацию, т. е. унификацию между однотипными изделиями, имеющими различные параметры;
- межтиповую унификацию, т. е. унификацию сборочных единиц и деталей изделий, отличающихся конструкцией, но имеющих сходные величины основных параметров;
- общую унификацию, т. е. унификацию сходных по назначению деталей и сборочных единиц изделий, не имеющих конструктивного подобия и отличающихся размерами основных параметров.

Кроме того различают два основных направления унификации: ограничительное и компоновочное [19]. Ограничительное направление характеризуется проведением анализа номенклатуры выпускаемых изделий и ограничением ее до минимально необходимой номенклатуры типоразмеров изделий и их элементов. Компоновочное направление характеризуется проведением анализа потребности и выявлением номенклатуры изделий, необходимых народному хозяйству. Результатом этого анализа является создание новых рядов изделий и их промежуточных типоразмеров на основе компоновки из определенного набора унифицированных узлов, агрегатов или блоков, но в пределах стандартных действующих или создаваемых типоразмерных рядов.

Из рисунка 1.4 видно, что наряду с классификацией, базой унификации является стандартизация с ее системой предпочтительных чисел, которая позволяет установить оптимальные значения размеров и параметров стандартизированных объектов, а также разработать комплекс государственных стандартов на основные нормы, обеспечивающие взаимозаменяемость унифицированных деталей и узлов.

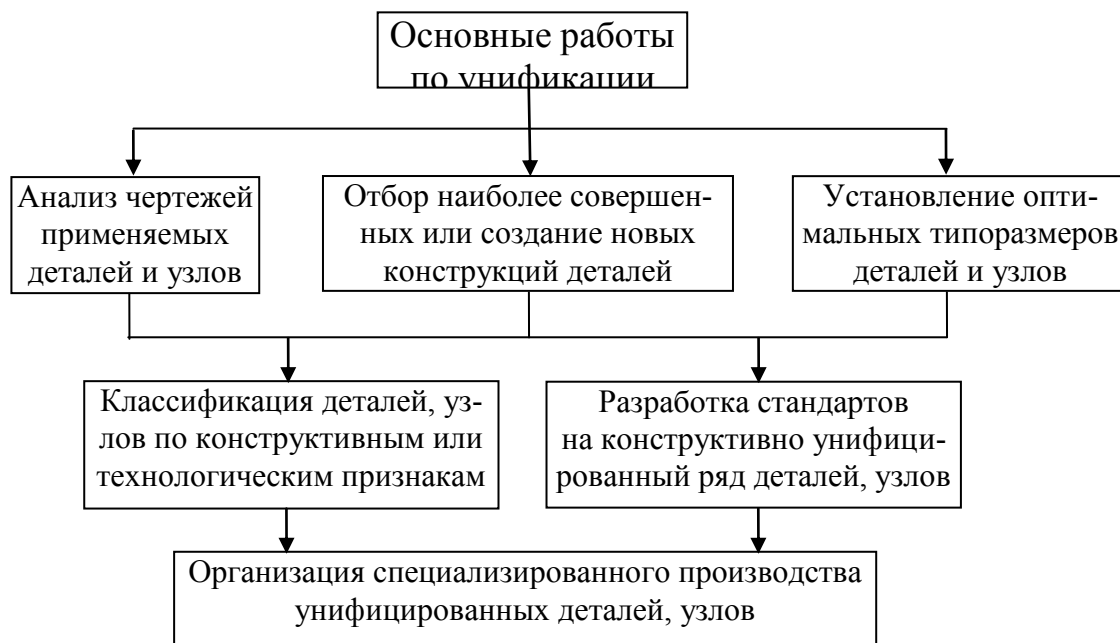


Рис. 1.4. Последовательность работ по унификации в машиностроении и приборостроении [19]

Унификацию изделий осуществляют как в какой-либо одной отрасли, так и на межотраслевом уровне, что позволяет использовать одни и те же детали и сборочные единицы в машинах различного назначения.

Эффективность работ по унификации характеризуют уровнем унификации, под которым понимают степень насыщенности этих изделий унифицированными частями (детальями и сборочными единицами). Уровень унификации оценивают тремя показателями, характеризующими унификацию с разных сторон:

– показателем уровня унификации Y_d (%) по количеству унифицированных деталей и сборочных единиц изделия:

$$Y_d = \frac{100 \cdot N_y}{N}, \quad (1.1)$$

где N_y, N – количество унифицированных и общее количество деталей и сборочных единиц изделия, шт.;

– показателем уровня унификации Y_m (%) по массе унифицированных деталей и сборочных единиц изделия:

$$Y_m = \frac{100 \cdot M_y}{M}, \quad (1.2)$$

где M_y, M – масса унифицированных и общая масса деталей и сборочных единиц изделия, кг;

– показателем уровня унификации Y_t (%) по трудоемкости изготовления:

$$Y_t = \frac{100 \cdot T_y}{T}, \quad (1.3)$$

где T_y, T – трудоемкость изготовления унифицированных и общая трудоемкость изготовления деталей и сборочных единиц изделия, ч.

Под унифицированными деталями и сборочными единицами изделия понимают стандартные, заимствованные (детали и сборочные единицы из ранее спроектированного и освоенного в производстве изделия для использования их в новом изделии) и покупные детали и сборочные единицы.

Более полно характеризует уровень унификации комплексный показатель Y_k (%)

$$Y_k = \frac{M_y \cdot C_y + T_y \cdot h}{M \cdot C + T \cdot h} \cdot 100, \quad (1.4)$$

где C_y, C – средняя стоимость 1 кг материала соответственно унифицированных деталей и сборочных единиц и изделия в целом, руб./кг; h – средняя стоимость нормо-часа, руб./ч.

Агрегатирование – это метод конструирования изделий путем применения ограниченного числа унифицированных и стандартных деталей и сборочных единиц, обладающих функциональной и геометрической взаимозаменяемостью.

Агрегатирование позволяет сконструировать новое изделие из уже спроектированных и изготавливаемых в производственных условиях деталей, сборочных единиц и агрегатов, а не создавать ее как оригинальную.

Агрегатирование следует рассматривать как метод конструирования изделий из унифицированных и стандартных узлов многократного использования, путем изменения характера соединений и пространственного сочетания этих узлов применительно к новым или изменившимся техническим условиям или задачам.

Широкое использование принципов агрегатирования во всех отраслях машиностроения и приборостроения позволяет при создании новых изделий и их модификаций значительно уменьшить объем проектно-конструкторских работ, сократить сроки подготовки и освоения производства, снизить трудоемкость изготовления продукции, увеличить мощности предприятий без увеличения производственных площадей.

Метод агрегатирования находит широкое применение при создании технологического оборудования, в том числе металлорежущих станков (рис. 1.5).

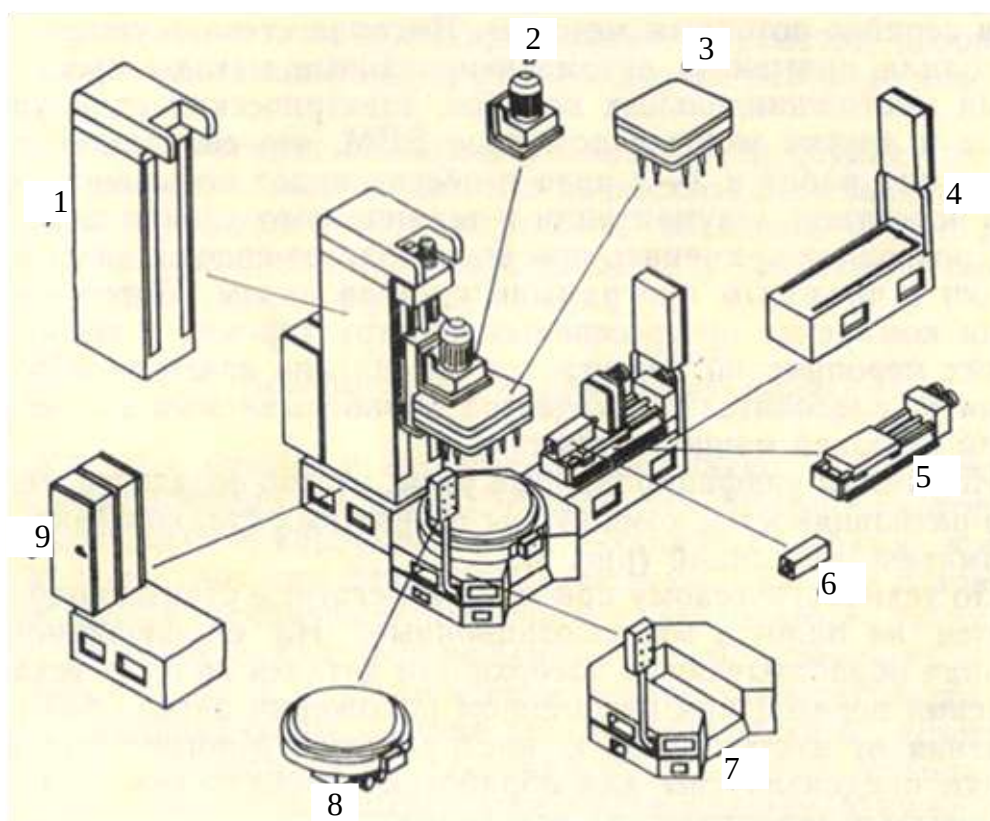


Рис. 1.5. Схема компоновки агрегатного станка: 1 – стойка; 2 – силовая бабка; 3 – многшпindleная коробка; 4 – станина боковая; 5 – самодействующий силовой стол; 6 – одношпindleная расточная бабка; 7 – станина центральная; 8 – поворотный делительный стол; 9 – станина-подставка

Комплексная стандартизация – это стандартизация, при которой осуществляется целенаправленное и планомерное установление и применение системы взаимоувязанных

требований как к самому объекту комплексной стандартизации в целом и его основным элементам, так и к материальным и нематериальным факторам, влияющим на объект в целях обеспечения оптимального решения конкретной проблемы.

Сущность комплексной стандартизации заключается в систематизации, оптимизации и увязке всех взаимодействующих факторов, обеспечивающих экономически оптимальный уровень качества продукции (услуг) в требуемые сроки. Такая стандартизация позволяет создавать комплексы согласованных между собой нормативно-технических документов по стандартизации, регламентирующих нормы и требования к взаимосвязанным (в процессе проектирования, производства или эксплуатации) объектам стандартизации.

Комплексная стандартизация позволяет устанавливать наиболее рациональные в техническом отношении параметрические ряды и сортамент промышленной продукции, устранять ее излишнее многообразие, неоправданную разнотипность, создавать техническую базу для организации массового поточного производства на специализированных предприятиях с применением более совершенной технологии, ускорять внедрение новейшей техники и обеспечивать эффективное решение многих вопросов, связанных с повышением качества изделий, их надежности, долговечности, ремонтпригодности, безопасности в условиях эксплуатации (рис. 1.6).

В России созданы крупные комплексные общетехнические системы стандартов, облегчающие кооперацию предприятий, способствующие повышению качества продукции и экономичности ее производства. К таким системам относятся: ЕСКД, ЕСТД, ЕСДП и другие системы.

Одним из условий эффективного развития комплексной стандартизации является наличие системы информационного обеспечения. Использование CALS-технологий (Continuous Acquisition and Life Cycle Support – непрерывная информационная поддержка жизненного цикла продукции) позволяет осуществить взаимосвязь отдельных процессов жизненного цикла продукции, включающего ее проектирование, производство, поставку, эксплуатацию и утилизацию, и создать единый источник информационного обеспечения системы комплексной стандартизации. В настоящее время использование информационных CAD/CAM/CAPP-систем (CAD: Computer Aided Design – компьютерное проектирование и конструирование; CAM: Computer Aided Manufacturing – компьютерное управление производственным оборудованием; CAPP: Computer Aided Process Planing – компьютерное планирование производственных процессов), ориентированных на системы стандартов ЕСКД и ЕСТД, позволяет выполнить последовательно проектирование изделия и его деталей с использованием типовых конструкций, содержащихся в элементной базе предприятия, разработку или выбор типовых или групповых технологических процессов и программирование механической обработки заготовок деталей на станках с ЧПУ.



Рис. 1.6. Система комплексной стандартизации

Опережающая стандартизация – это стандартизация, заключающаяся в установлении повышенных по отношению к уже достигнутому на практике уровню норм, требований к объектам стандартизации, которые согласно прогнозам будут оптимальными в последующее планируемое время. опережение может относиться как к изделию в целом, так и к наиболее важным параметрам и показателям его качества, методам и средствам производства, испытаний и контроля.

Процесс опережающей стандартизации является непрерывным, т. е. после ввода в действие опережающего стандарта приступают к разработке нового стандарта, которому предстоит заменить предыдущий.

Опережающая стандартизация способствует резкому сокращению времени между появлением идеи и ее реализацией и повышению темпов научно-технического прогресса.

1.10. Общетеchnические системы стандартов

Современное машиностроение, как и другие отрасли производства, характеризуется многономенклатурностью и малым сроком «жизни» объектов производства при все возрастающей сложности их конструкций. Эти обстоятельства обуславливают высокие требования к гибкости и динамичности производств, которые могут быть обеспечены при использовании систем управления (как правило, автоматизированных), основанных на единых системах конструкторской и технологической документации и типовых решениях, отражающих передовой отечественный и зарубежный опыт.

В связи с этим разработаны и успешно функционируют крупные общетеchnические (межотраслевые) системы стандартов, в том числе системы стандартов, определяющих требования к охране окружающей среды и безопасности труда.

К подобным системам относятся следующие системы (комплексы) стандартов, каждый из которых имеет свой номер (индекс), например: 1 – Стандартизация в Российской Федерации; 2 – Единая система конструкторской документации; 3 – Единая система технологической документации; 8 – Государственная система обеспечения единства измерений; 12 – Система безопасности труда; 14 – Единая система технологической подготовки производства; 26 – Средства измерения и автоматизации; 27 – Надежность в технике; 40 – Система сертификации ГОСТ Р.

Единая система конструкторской документации. Эта система была разработана в 1968 г. Она устанавливает для всех предприятий и организаций страны порядок проектирования, единые правила выполнения и оформления чертежей и ведения чертежного хозяйства, что упрощает проектно-конструкторские работы, способствует повышению качества и уровня взаимозаменяемости изделий и облегчает чтение и понимание чертежей. Используя ЕСКД, можно применять ЭВМ для проектирования и обработки технической документации. ЕСКД способствует развитию кооперирования предприятий и использованию при проектировании новых изделий отдельных частей и деталей ранее созданных конструкций.

ЕСКД включает свыше 200 стандартов, из которых основополагающими являются, например: ГОСТ 2.001, 2.101 ... 2.121. «Основные положения (виды изделий, виды конструкторской документации, стадии разработки, требования к чертежам и т. д.)»; ГОСТ 2.201. «Классификация и обозначения изделий в конструкторских документах»; ГОСТ 2.301 ... 2.317. «Общие правила выполнения чертежей».

Большое значение имеет ГОСТ 2.116 «ЕСКД. Карта технического контроля и качества продукции». В такой карте фиксируют достигнутый и перспективный уровни качества

ва изделий, а также показатели лучших отечественных и зарубежных аналогов. Эту карту используют для оценки изделий при их аттестации, сертификации или определении целесообразности их дальнейшей модернизации или снятия с производства.

Для обеспечения единства обозначения изделий в конструкторских документах разработан общероссийский классификатор изделий и конструкторских документов машиностроения и приборостроения (Классификатор ЕСКД). Основными признаками классификации деталей в Классификаторе ЕСКД являются параметры их геометрической формы, а для кодирования информации используются десятичные коды. Структура кода представляет собой графическое изображение последовательности расположения знаков кода и соответствующие этим знакам наименования уровней деления (класс, подкласс, группа, подгруппа, вид). Например, класс 71 объединяет детали – тела вращения типа колес, дисков, шкивов, валов и др.

Единая система технологической подготовки производства. Важнейшим этапом обеспечения качества продукции является технологическая подготовка производства. ЕСТПП включает комплекс стандартов, устанавливающих современные методы и средства организации управления и решения задач технологической подготовки производства, основными из которых являются:

- технологический анализ изделия;
- организационно-технологический анализ производства этого изделия;
- разработка ТП изготовления изделия;
- построение системы контроля качества изделия;
- проектирование и изготовление средств технологического оснащения производства;
- отладка технологического процесса, оборудования и оснастки;
- другие задачи.

ЕСТПП устанавливает необходимость применения типовых и групповых ТП для изготовления групп однородных или близких по конструкции и методам обработки деталей.

С целью снижения трудоемкости и сокращения сроков технологической подготовки производства разработан Технологический классификатор деталей машиностроения и приборостроения, являющийся логическим продолжением и дополнением Классификатора ЕСКД.

Основными признаками классификации деталей в Технологическом классификаторе являются: размерная характеристика детали, группа материала, вид детали по техно-

логическому методу изготовления, точность геометрических параметров, вид исходной заготовки и др.

Единая система технологической документации представляет собой комплекс национальных стандартов, устанавливающих: формы документации общего назначения (маршрутной карты ТП, сводной подетально-технологической спецификации, карты эскизов, схем наладок и др.); правила оформления ТП и формы документации для процессов литья, раскроя и нарезания заготовок, механической и термической обработки, сварочных работ, процессов, специфичных для отраслей радиотехники, электроники и др.

Существует тесная связь между ЕСТД и ЕСКД. Эти системы играют большую роль в совершенствовании управления производством и внедрении автоматизированных систем управления.

Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ). На современном уровне научно-технического прогресса измерительная информация нужна практически во всех областях человеческой деятельности – научной, производственной, экономической, в международном сотрудничестве и т. д. Правильные, точные и достоверные измерения обеспечивают соответствие выпускаемой продукции требованиям стандартов, технических норм и правил и другой нормативно-технической документации. Таким образом, измерения лежат в самой основе производства и в значительной степени определяют возможность получения качественной продукции.

Стандарты, входящие в систему ГСИ, регламентируют основные правила, нормы и положения в области обеспечения единства измерений, порядок утверждения и разработки эталонов физических единиц, требования к методикам и схемам поверки измерительных средств, их государственным испытаниям и аттестации, положения и требования к системам стандартных справочных данных и стандартных образцов.

Основными объектами ГСИ являются: единицы физических величин; государственные эталоны и поверочные схемы; методы и средства поверки средств измерений; номенклатура нормируемых метрологических характеристик средств измерений; нормы точности измерений; способы выражения и формы представления результатов измерений и показателей точности измерений; методики выполнения измерений; методики оценки достоверности и формы представления данных о свойствах веществ и материалов; требования к стандартным образцам состава и свойств веществ и материалов; организация и порядок проведения государственных испытаний, поверки и метрологической аттестации средств измерений, метрологической экспертизы нормативно-технической, проектной, конструкторской и технологической документации, экспертизы и аттестации данных о свойствах веществ и материалов; термины и определения в области метрологии.

ГСИ регламентирует также организацию и порядок проведения работ по государственному метрологическому надзору.

Контрольные вопросы

1. Какие требования к объектам технического регулирования являются обязательными при их разработке, принятии, применении и исполнении?
2. Какие требования к объектам регулирования разрабатывают, принимают, применяют и исполняют на добровольной основе?
3. Возможно ли совмещение полномочий органа государственного контроля (надзора) и органа по сертификации?
4. Каковы цели принятия ТР?
5. Какие требования устанавливают ТР?
6. Каково содержание ТР?
7. Обязательны ли требования ТР для продукции, произведенной в другой стране, а используемой в нашей?
8. Могут ли при разработке проектов ТР в качестве основы использоваться международные стандарты? В каких случаях такое использование международных стандартов недопустимо?
9. Могут ли при разработке проектов ТР в качестве основы использоваться национальные стандарты РФ?
10. Какие виды принятия ТР вы знаете?
11. В чем заключается сущность контроля (надзора) за соблюдением требований ТР?
12. На какой стадии жизненного цикла продукции осуществляется контроль (надзор) за соблюдением требований ТР?
13. Какие органы осуществляют контроль (надзор) за соблюдением требований ТР?
14. Какой федеральный орган исполнительной власти осуществляет управление техническим регулированием?
15. Что называется стандартизацией и стандартом?
16. Перечислите основные цели и принципы стандартизации.
17. Какова структура организационной системы стандартизации в РФ?
18. Каковы функции национального органа по стандартизации?
19. Перечислите документы в области стандартизации, используемые на территории РФ в соответствии с ФЗ «О техническом регулировании»?
20. Какие стандарты называют национальными? Каково их обозначение?
21. Каким документом определены правила разработки и утверждения национальных стандартов?
22. Какие стандарты называют стандартами организаций?

23. Назовите основные виды стандартов.
24. Назовите составляющие национальной системы стандартизации?
25. Назовите крупнейшую международную организацию в области стандартизации. Какова основная цель ее деятельности?
26. Какие стандарты называют межгосударственными?
27. Назовите особенности национальных систем стандартизации в США, Великобритании, Франции и др. странах.
28. Что понимают под гармонизацией стандартов и каковы ее цели?
29. Какие стандарты называют согласованными и сопоставимыми?
30. Какими способами можно в РФ использовать международные стандарты?
31. Как обозначают идентичный и модифицированный стандарты?
32. Назовите основные методы стандартизации.
33. Что представляет собой систематизация, симплификация и типизация объектов стандартизации?
34. Дайте определение типизации конструкций изделий и технологических процессов.
35. Что понимают под параметрической стандартизацией? Каково ее значение?
36. Что называют параметрическим рядом? Какие характеристики параметрических рядов Вы знаете?
37. Какие ряды предпочтительных чисел наиболее широко используются? Как обозначают эти ряды?
38. Какие ряды предпочтительных чисел называют основными и дополнительными? Каковы их знаменатели ϕ ?
39. Какие ряды предпочтительных чисел часто используют в радиотехнике и каково обозначение этих рядов?
40. Какие ряды нормальных линейных размеров устанавливает ГОСТ 6336–69?
41. Что такое унификация объектов стандартизации? Назовите основные виды и направления унификации.
42. Что понимают под уровнем унификации и как его можно оценить?
43. Дайте определение и приведите примеры агрегатирования.
44. В чем суть комплексной и опережающей стандартизации?
45. Каково назначение общетехнических систем стандартов?
46. Какие общетехнические системы стандартов Вы знаете? В чем заключается их сущность?

Глава 2. СТАНДАРТИЗАЦИЯ НОРМ ТОЧНОСТИ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ДЕТАЛЕЙ

2.1. Основные понятия о взаимозаменяемости и точности изделий

Взаимозаменяемостью изделий (машин, приборов, механизмов, агрегатов), их частей или других видов продукции (сырья, материалов, полуфабрикатов) называют их свойство равноценно заменять при использовании любой из множества экземпляров изделий, их частей или иной продукции другим однотипным экземпляром [22].

Взаимозаменяемость деталей, сборочных единиц, агрегатов (крепежных деталей, подшипников качения, электродвигателей) позволяет изготавливать их в одних цехах (на одних предприятиях), а собирать – в (на) других, что способствует специализации предприятий на производстве однотипной продукции, возможности организации поточного производства и его автоматизации, а следовательно, удешевлению готовых изделий. Кроме того взаимозаменяемость обеспечивает упрощение процессов сборки и ремонта изделий: появляется возможность выполнения сборочных операций рабочими низкой квалификации, а ремонт изделий часто сводится к простой замене вышедших из строя деталей, сборочных единиц, агрегатов другими взаимозаменяемыми экземплярами.

Различают взаимозаменяемость полную, неполную и групповую [4].

Полная взаимозаменяемость – взаимозаменяемость, при которой сборку изделий производят путем механического соединения деталей или сборочных единиц без их выбора, подбора или изменения значений каких-либо параметров. При этом требуемая точность обеспечивается у всех собираемых изделий.

Неполная взаимозаменяемость – взаимозаменяемость, при которой сборку изделий производят, как и в первом случае, путем механического соединения деталей или сборочных единиц без их выбора, подбора или изменения значений каких-либо параметров. При этом требуемая точность изделий обеспечивается с некоторым, заранее обусловленным риском (предусматривается риск изготовления бракованного изделия). Риск выхода параметров изделий за пределы допускаемых значений, как правило, невелик (часто 0,27 %). Однако при этом допуски параметров деталей и сборочных единиц, составляющих изделие, могут быть существенно увеличены, а тем самым уменьшены затраты на их изготовление.

Использование при изготовлении изделий *групповой взаимозаменяемости*, регулирования и пригонки также позволяет расширить допуски параметров деталей и сборочных единиц путем введения в процесс сборки операций сортировки их на группы, регулирования или пригонки.

Выбор для применения в производстве изделий метода полной, неполной, групповой взаимозаменяемости, регулирования или пригонки может быть обоснован только технико-экономическими расчетами.

Взаимозаменяемость может быть внешней и внутренней.

Внешняя взаимозаменяемость – это взаимозаменяемость покупных и кооперируемых изделий (монтируемых в другие более сложные изделия) и сборочных единиц по эксплуатационным показателям, а также по размерам и форме присоединительных поверхностей. Например, в электродвигателях внешнюю взаимозаменяемость обеспечивают по частоте вращения вала и мощности, а также по размерам присоединительных поверхностей; в подшипниках качения – по наружному диаметру наружного кольца и диаметру отверстия внутреннего кольца, а также по эксплуатационным характеристикам.

Внутренняя взаимозаменяемость распространяется на детали, сборочные единицы и механизмы, входящие в изделие. Например, в подшипнике качения внутреннюю групповую взаимозаменяемость имеют тела качения и кольца.

Уровень взаимозаменяемости изделий часто характеризуют коэффициентом взаимозаменяемости K_B :

$$K_B = \frac{\sum_{i=1}^n T_{B_i}}{T_{\text{и}}},$$

где T_{B_i} – трудоемкость изготовления i -ой взаимозаменяемой детали или сборочной единицы; n – количество взаимозаменяемых деталей или сборочных единиц в изделии; $T_{\text{и}}$ – общая трудоемкость изготовления изделия.

Основной предпосылкой обеспечения взаимозаменяемости является изготовление (в том числе измерение) изделий с необходимой точностью.

Под *точностью* изготовления понимают степень приближения действительных значений параметров деталей к их заданным значениям.

Чаще всего под точностью изделия понимают точность его геометрических параметров, характеризуемую точностью линейных размеров, точностью взаимного расположения (точностью угловых размеров) и формы, волнистостью и шероховатостью элементов этого изделия.

Точность принято оценивать погрешностью: чем меньше погрешность, тем выше точность. Появление погрешности изготовления обусловлено действием множества факторов: погрешностями изготовления оборудования и его износом в процессе эксплуатации; погрешностями изготовления и износа рабочих (например, режущих) и измерительных инструментов; упругими деформациями и вибрациями, возникающими в технологи-

ческой системе при обработке; погрешностями установки заготовок на технологическом оборудовании и погрешностями его настройки; субъективными погрешностями, связанные с квалификацией рабочих-операторов, и др. Из-за наличия названных погрешностей изготовить абсолютно одинаковые детали или детали без погрешностей принципиально невозможно. Для того, чтобы, несмотря на наличие погрешностей, изделие все же выполняло свое функциональное (служебное) назначение, необходимо нормировать погрешности деталей, т.е. нормировать точность деталей, составляющих сборочные единицы и изделие в целом. В свою очередь взаимозаменяемость изделий, как внутренняя, так и внешняя, не может быть обеспечена без стандартизации норм точности, рассмотрению которых посвящен материал, излагаемый далее в настоящей главе.

2.2. Понятия о размерах, отклонениях, допусках и посадках

Основные понятия о размерах, отклонениях, допусках и посадках приведены в ГОСТ 25346.

Размер – числовое значение линейной величины (диаметра, длины и т.п.) в выбранных единицах измерения.

Действительный размер – размер элемента, установленный измерением.

Предельные размеры – два предельно допустимых размера элемента, между которыми должен находиться (или которым может быть равен) действительный размер.

Наибольший предельный размер – наибольший допустимый размер элемента (рис. 2.1, а).

Наименьший предельный размер – наименьший допустимый размер элемента (см. рис. 2.1, а).

Номинальный размер – размер, относительно которого определяются отклонения (см. рис. 2.1, а).

Отклонение – алгебраическая разность между размером (действительным или предельным) и соответствующим номинальным размером.

Верхнее отклонение (ES, es) – алгебраическая разность между наибольшим предельным и соответствующим номинальным размерами (см. рис. 2.1).

Нижнее отклонение (EI, ei) – алгебраическая разность между наименьшим предельным и соответствующим номинальным размерами (см. рис. 2.1).

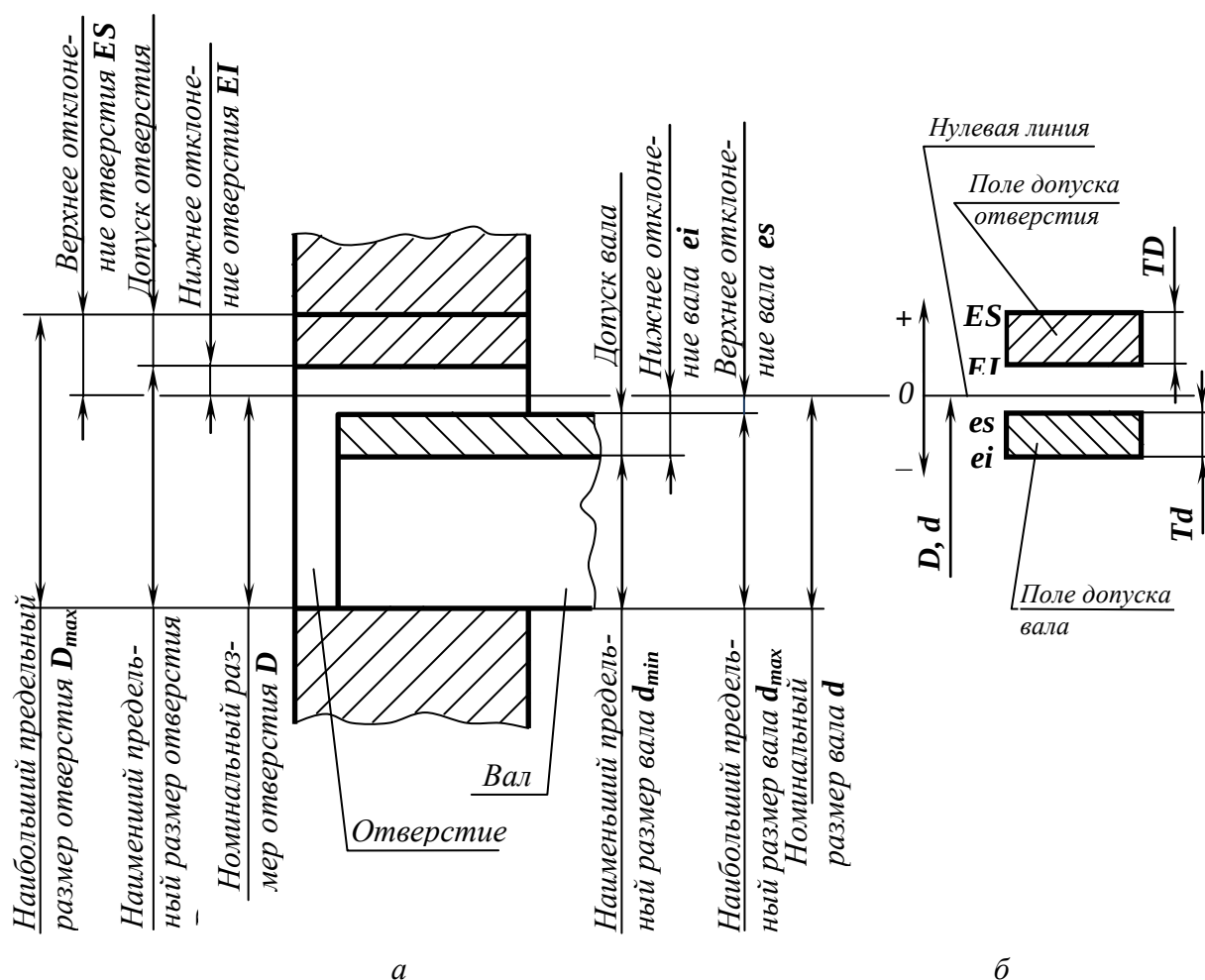


Рис. 2.1. Параметры отверстия и вала: *a* – на чертеже соединения;
б – на схеме полей допусков

Основное отклонение – одно из двух предельных отклонений (верхнее или нижнее), определяющее положение поля допуска относительно нулевой линии. В принятой системе допусков и посадок (см. п. 2.3) основным является отклонение, ближайшее к нулевой линии.

Нулевая линия – линия, соответствующая номинальному размеру, от которой откладывают отклонения размеров при графическом изображении полей допусков и посадок. Если нулевая линия расположена горизонтально, то положительные отклонения откладывают вверх от нее, а отрицательные – вниз (см. рис. 2.1, б).

Допуск T – разность между наибольшим и наименьшим предельными размерами или алгебраическая разность между верхним и нижним отклонениями (см. рис. 2.1).

Поле допуска – поле, ограниченное наибольшим и наименьшим предельными размерами и определяемое величиной допуска и его положением относительно номинального размера. При графическом изображении поле допуска заключено между двумя линиями, соответствующими верхнему и нижнему отклонениям относительно нулевой линии (см. рис. 2.1, б).

Вал – термин, условно применяемый для обозначений наружных элементов деталей, включая и нецилиндрические элементы.

Отверстие – термин, условно применяемый для обозначения внутренних элементов деталей, включая и нецилиндрические элементы.

Основной вал – вал, верхнее отклонение которого равно нулю.

Основное отверстие – отверстие, нижнее отклонение которого равно нулю.

Посадка – характер соединения двух деталей, определяемый разностью их размеров до сборки.

Номинальный размер посадки – номинальный размер, общий для отверстия и вала, составляющих соединение.

Допуск посадки – сумма допусков отверстия и вала, составляющих соединение.

Зазор – разность между размерами отверстия и вала до сборки, если размер отверстия больше размера вала (рис. 2.2, *а*).

Натяг – разность между размерами вала и отверстия до сборки, если размер вала больше размера отверстия (рис. 2.2, *б*).

Посадка с зазором – посадка, при которой всегда образуется зазор в соединении, т.е. наименьший предельный размер отверстия больше наибольшего предельного размера вала или равен ему. При графическом изображении поле допуска отверстия расположено над полем допуска вала (см. рис. 2.2, *а*).

Посадка с натягом – посадка, при которой всегда образуется натяг в соединении, т.е. наибольший предельный размер отверстия меньше наименьшего предельного размера вала или равен ему. При графическом изображении поле допуска отверстия расположено под полем допуска вала (см. рис. 2.2, *б*).

Переходная посадка – посадка, при которой возможно получение как зазора, так и натяга в соединении, в зависимости от действительных размеров отверстия и вала. При графическом изображении поля допусков отверстия и вала перекрываются полностью или частично (рис. 2.2, *в*).

Наименьший зазор – разность между наименьшим предельным размером отверстия и наибольшим предельным размером вала в посадке с зазором (см. рис. 2.2, *а*).

Наибольший зазор – разность между наибольшим предельным размером отверстия и наименьшим предельным размером вала в посадке с зазором или в переходной посадке (см. рис. 2.2, *а, в*).

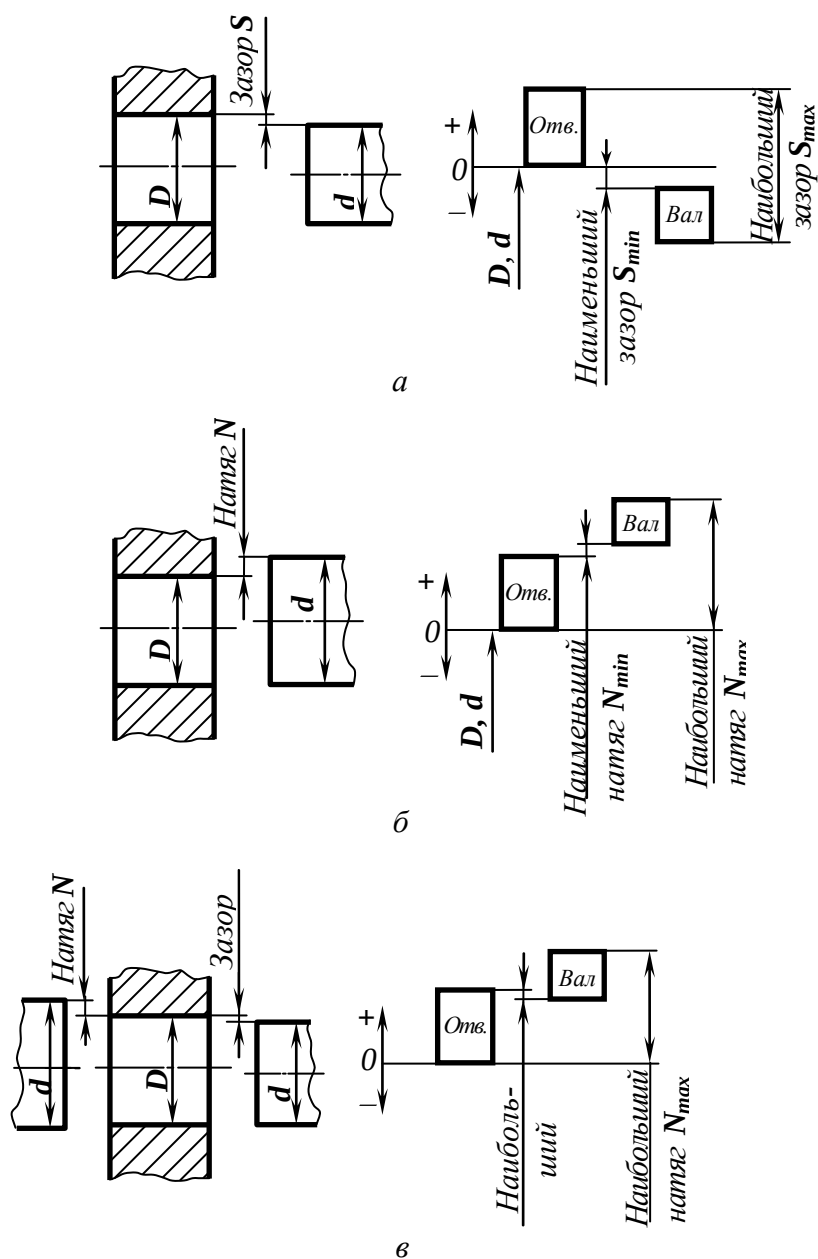


Рис. 2.2. Соединение отверстия и вала: *a* – с зазором; *б* – с натягом; *в* – по переходной посадке

Наименьший натяг – разность между наименьшим предельным размером вала и наибольшим предельным размером отверстия до сборки в посадке с натягом (см. рис. 2.2, *б*).

Наибольший натяг – разность между наибольшим предельным размером вала и наименьшим предельным размером отверстия до сборки в посадке с натягом или в переходной посадке (см. рис. 2.2, *б, в*).

2.3. Единая система допусков и посадок (ЕСДП)

2.3.1. Общие положения

В Российской Федерации стандартизация параметров точности изделий осуществляется по системе стандартов «Основные нормы взаимозаменяемости» (ОНВ), куда входит система стандартов ЕСДП – «Единая система допусков и посадок», регламентирующая точность размеров гладких соединений и деталей. Остальные стандарты ОНВ регламентируют точность шпоночных, шлицевых, резьбовых, конических соединений и их деталей, зубчатых передач и колес, а также точность формы, взаимного расположения элементов деталей и шероховатость их поверхностей.

Стандарты ОНВ (в том числе ЕСДП) базируются на стандартах ИСО, которыми пользуются большинство стран мира. Работы по созданию и внедрению стандартов ЕСДП и ОНВ были начаты в 70-х годах прошлого века, а дополнение систем новыми стандартами, связанное с совершенствованием стандартов ИСО, продолжается до сих пор.

Система допусков и посадок – это совокупность рядов допусков и посадок, закономерно построенных на основе опыта, теоретических и экспериментальных исследований и оформленных в виде стандартов [22].

ЕСДП распространяется на гладкие цилиндрические соединения и соединения с плоскими параллельными поверхностями. Система охватывает номинальные размеры до 10000 мм. Область ее распространения не ограничивается какими-либо материалами и способами обработки за исключением тех, для которых допуски установлены в отдельных стандартах (например, детали из дерева, поковки, отливки и др.).

Допуски и отклонения, установленные ЕСДП, относятся к деталям, размеры которых определены при температуре 20 °С.

Исходными элементами в ЕСДП (как и в системе ИСО) являются не посадки и образующие их поля допусков, а элементы, необходимые для получения различных полей допусков: ряды допусков и ряды основных отклонений, определяющих положение полей допусков относительно номинального размера.

2.3.2. Закономерности построения ЕСДП

Общие закономерности построения рядов допусков и основных отклонений, а также правила образования полей допусков и посадок для гладких соединений и их деталей определяют ГОСТ 25346 «ЕСДП. Общие положения, ряды допусков и основных отклонений», ГОСТ 25347 «ЕСДП. Поля допусков и рекомендуемые посадки»,

ГОСТ 25348 «ЕСДП. Ряды допусков, основных отклонений и поля допусков для размеров свыше 3150 мм» и ГОСТ 25349 «ЕСДП. Поля допусков деталей из пластмасс».

Интервалы номинальных размеров. Значения допусков и основных отклонений в ЕСДП определены в зависимости от номинальных размеров, для чего весь диапазон размеров до 10000 мм разделен на интервалы, например, для размеров свыше 1 до 500 мм установлено 13 интервалов (свыше 1 мм до 3 мм, свыше 3 мм до 6 мм, свыше 6 мм до 10 мм и т.д.). В пределах каждого интервала значения допусков и основных отклонений неизменны. В расчетных формулах используются средние геометрические (D) граничных значений соответствующих интервалов (D_{min} и D_{max})

$$D = \sqrt{D_{min} \cdot D_{max}} . \quad (2.1)$$

Для размеров до 3 мм $D = \sqrt{3}$.

Нормирование точности. В ЕСДП точность линейных размеров нормируют качествами (qualite – качество), обозначенными номерами, возрастающими с увеличением допуска: 01, 0, 1, 2, 3, 4, ..., 15, 16, 17, 18.

Стандартный допуск того или иного качества обозначается буквами ИТ (International tolerance) в сочетании с номером качества, например: IT_0 , IT_6 , IT_{14} .

Для качеств 5 – 18 значения допусков определяют по формулам

$$IT = a \cdot i \quad \text{или} \quad IT = a \cdot I , \quad (2.2)$$

где i , I – единица допуска соответственно для размеров до 500 мм и свыше 500 мм

$$i^* = 0,45 \cdot \sqrt[3]{D} + 0,001 \cdot D; \quad (2.3)$$

$$I = 0,004 \cdot D + 2,1, \quad (2.4)$$

a – количество единиц допуска (табл. 2.1).

2.1. Количество единиц допуска в качествах 5 – 18

Квалитет	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Количество единиц допуска	7	10	16	25	40	64	100	160	250	400	640	1000	1600	2500

Начиная с 6-го качества количество единиц допуска « a » изменяется по геометрической прогрессии со знаменателем $\phi = 1,6$, т.е. при переходе от одного качества к другому (бóльшему) допуск размера увеличивается в 1,6 раза.

Для качеств 01 – 4 значения допусков определяются по специальным формулам, приведенным в ГОСТ 25346.

* В формулах (2.3), (2.4) D – в мм; i , I – в мкм.

Основные отклонения. Для определения положения поля допуска относительно номинального размера (нулевой линии) в ЕСДП установлены основные отклонения валов и отверстий, обозначаемые буквами или сочетанием букв латинского алфавита (рис. 2.3). Значения основных отклонений валов ($a, b, c, cd, d, e, ef, f, fg, g, js(j), k, m, n, p, r, s, t, u, v, x, y, z, za, zb, zc$) рассчитаны по эмпирическим формулам, приведенным в ГОСТ 25346, а значения основных отклонений отверстий ($A, B, C, CD, D, E, EF, F, FG, G, JS(J), K, M, N, P, R, S, T, U, V, X, Y, Z, ZA, ZB, ZC$) с размерами до 500 мм определяют на основании общего и специального правил, а отверстий с размерами свыше 500 мм – на основании общего правила.

Общее правило гласит, что основное отклонение отверстия должно быть симметрично относительно нулевой линии основному отклонению вала, обозначенному той же буквой. Как показано на рис. 2.3,

для отверстий от A до H

$$EI = -es; \quad (2.5)$$

для отверстий от K до ZC

$$ES = -ei. \quad (2.6)$$

Общее правило действительно для всех основных отклонений, за исключением отклонений, на которые распространяется специальное правило, и отклонений отверстий N квалитетов 9 – 18 для размеров свыше 3 мм, у которых основное отклонение $ES = 0$.

В соответствии со специальным правилом, основные отклонения отверстий должны иметь такие значения, чтобы две соответствующие друг другу посадки в системе отверстия и системе вала, в которых отверстия данного квалитета соединяются с валом ближайшего более точного квалитета (например, $H7/p6$ и $P7/h6$), имели одинаковые натяги. Это правило распространяется на отверстия с размерами свыше 3 мм – J, K, M, N до $IT8$ включительно и от P до ZC – до $IT17$ включительно и может быть выражено формулой

$$ES = -ei + \Delta, \quad (2.7)$$

где $\Delta = IT_n - IT_{n-1}$, n – номер квалитета.

Поля допусков. Поля допусков образуются сочетанием основных отклонений и допусков и соответственно обозначаются буквой (буквами) основного отклонения и порядковым номером квалитета, например: $h6, g6, d9$ (поля допусков валов); $H7, E8, D10$ (поля допусков отверстий).

В результате всех возможных сочетаний основных отклонений и допусков для размеров до 500 мм может быть получено 544 поля допусков валов и 543 поля допусков отверстий, для размеров свыше 500 мм до 3150 мм – по 323 поля допусков валов и

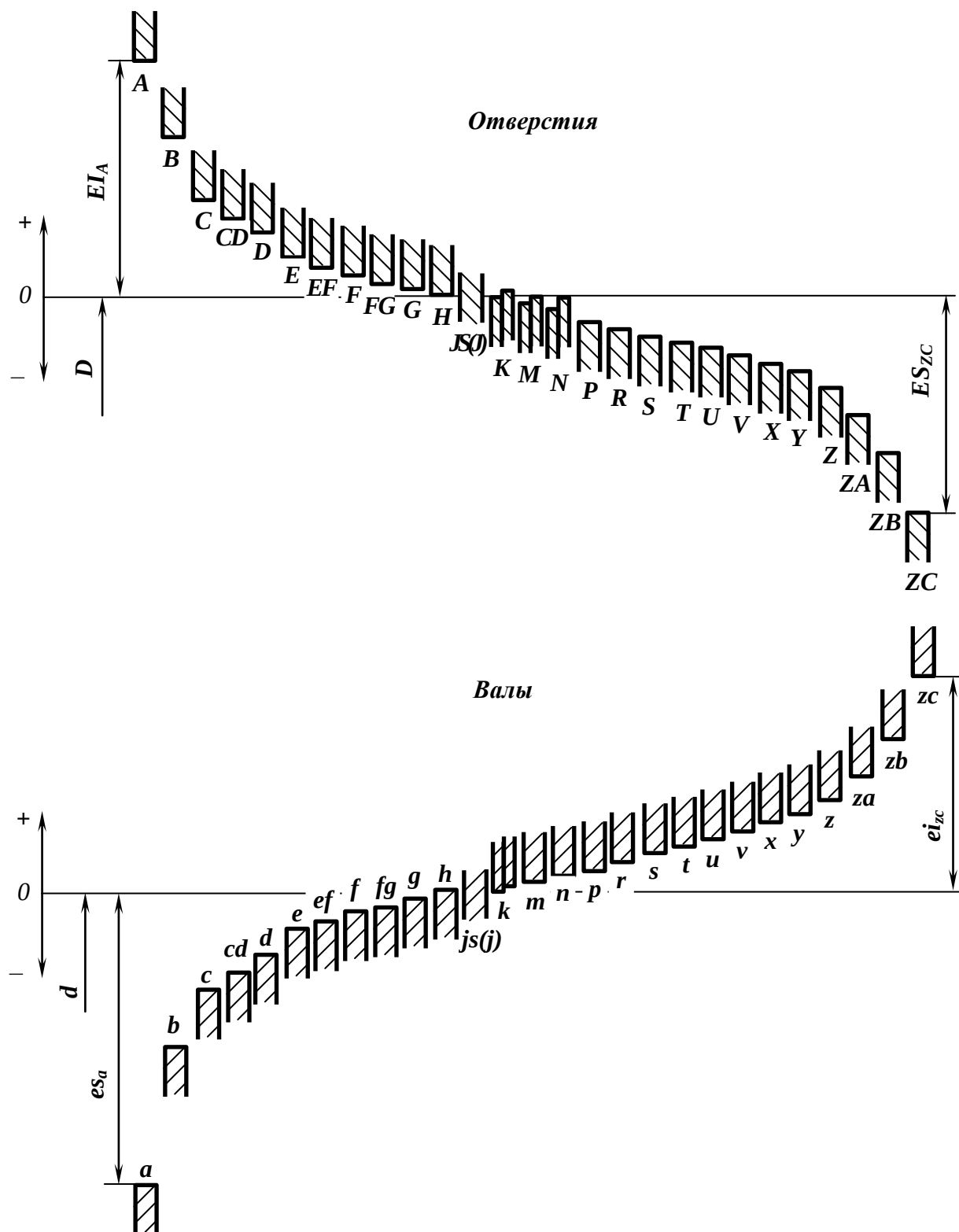


Рис. 2.3. Основные отклонения отверстий и валов

отверстий, а для размеров свыше 3150 мм до 10000 мм – по 255 полей допусков [10]. Использование такого большого количества полей допусков в промышленности неэкономично, так как требует соответственно большей номенклатуры режущего и мерительного инструмента. Поэтому для практического использования из всей совокупности полей до-

пусков, которые могут быть получены, отобрано оптимальное количество полей допусков, удовлетворяющих потребностям промышленности.

Ограничительные отборы полей допусков для сопрягаемых элементов установлены различными для четырех диапазонов линейных размеров: менее 1 мм, свыше 1 мм до 500 мм, свыше 500 мм до 3150 мм (ГОСТ 25347), свыше 3150 мм до 10000 мм (ГОСТ 25348).

Кроме полей допусков, вошедших в ограничительные отборы, предусмотрены дополнительные поля допусков, применение которых допускается лишь в технически и экономически обоснованных случаях.

Посадки. В ЕСДП (ГОСТ 25347 и ГОСТ 25348) приведены рекомендуемые посадки для размеров до 3150 мм и свыше 3150 мм. Для размеров от 1 мм до 500 мм особо выделены (рамкой, квадратными скобками, жирным шрифтом, звездочкой) предпочтительные посадки (табл. 2.2, 2.3), которые следует применять в первую очередь.

Посадки в ЕСДП предусмотрены в системе отверстия и в системе вала.

Посадки в системе отверстия – это посадки, в которых требуемые зазоры или натяги получают сочетанием различных полей допусков валов с полем допуска основного отверстия (рис. 2.4, а).

Посадки в системе вала – это посадки, в которых требуемые зазоры или натяги получают сочетанием различных полей допусков отверстий с полем допуска основного вала (рис. 2.4, б).

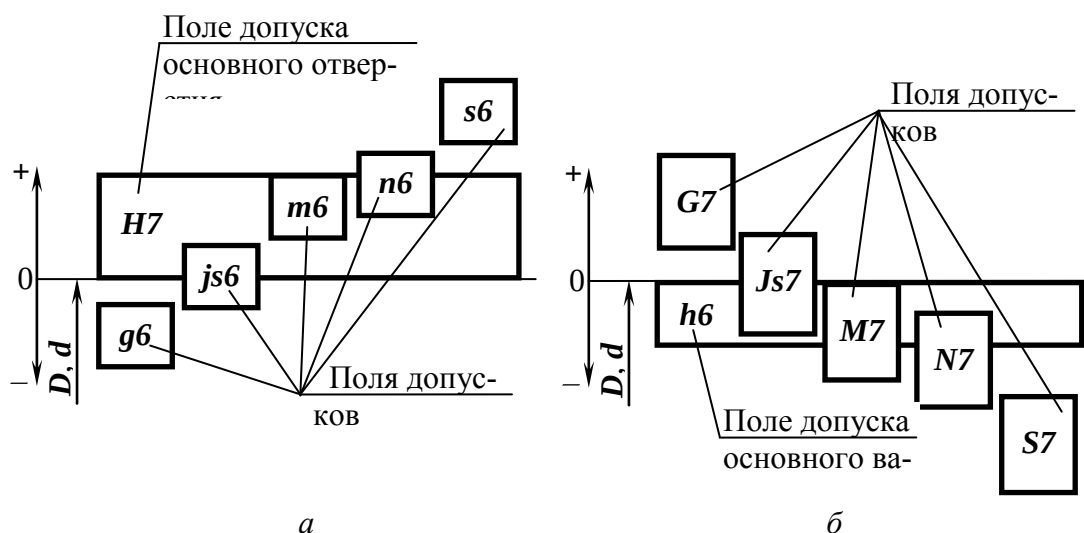


Рис. 2.4. Схемы расположения полей допусков отверстий и валов:
а – в системе отверстия; б – в системе вала

Рекомендации по образованию посадок основаны на следующих положениях [10]:

- посадки, как правило, должны применяться в системе отверстия или в системе вала;
- применение системы отверстия предпочтительно;

2.2. Рекомендуемые посадки в системе отверстия при номинальных размерах от 1 до 500 мм (ГОСТ 25347)

Поле допуска основного отверстия	Основные отклонения валов																			
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>e</i>	<i>f</i>	<i>g</i>	<i>h</i>	<i>js</i>	<i>k</i>	<i>m</i>	<i>n</i>	<i>p</i>	<i>r</i>	<i>s</i>	<i>t</i>	<i>u</i>	<i>v</i>	<i>x</i>	<i>z</i>
	Посадки																			
<i>H5</i>							$\frac{H5}{g4}$	$\frac{H5}{h4}$	$\frac{H5}{js4}$	$\frac{H5}{k4}$	$\frac{H5}{m4}$	$\frac{H5}{n4}$								
<i>H6</i>						$\frac{H6}{f6}$	$\frac{H6}{g5}$	$\frac{H6}{h5}$	$\frac{H6}{js5}$	$\frac{H6}{k5}$	$\frac{H6}{m5}$	$\frac{H6}{n5}$	$\frac{H6}{p5}$	$\frac{H6}{r5}$	$\frac{H6}{s5}$					
<i>H7</i>			$\frac{H7}{c8}$	$\frac{H7}{d8}$	$\frac{H7}{e7}$, $\frac{H7}{e8}$	$\frac{H7}{f7}$	$\frac{H7}{g6}$	$\frac{H7}{h6}$	$\frac{H7}{js6}$	$\frac{H7}{k6}$	$\frac{H7}{m6}$	$\frac{H7}{n6}$	$\frac{H7}{p6}$	$\frac{H7}{r6}$	$\frac{H7}{s6}$, $\frac{H7}{s7}$	$\frac{H7}{t6}$	$\frac{H7}{u7}$			
<i>H8</i>			$\frac{H8}{c8}$	$\frac{H8}{d8}$	$\frac{H8}{e8}$	$\frac{H8}{f7}$, $\frac{H8}{f8}$		$\frac{H8}{h7}$, $\frac{H8}{h8}$	$\frac{H8}{js7}$	$\frac{H8}{k7}$	$\frac{H8}{m7}$	$\frac{H8}{n7}$			$\frac{H8}{s7}$		$\frac{H8}{u8}$		$\frac{H8}{x8}$	$\frac{H8}{z8}$
				$\frac{H8}{d9}$	$\frac{H8}{e9}$	$\frac{H8}{f9}$		$\frac{H8}{h9}$												
<i>H9</i>				$\frac{H9}{d9}$	$\frac{H9}{e8}$, $\frac{H9}{e9}$	$\frac{H9}{f8}$, $\frac{H9}{f9}$		$\frac{H9}{h8}$, $\frac{H9}{h9}$												
<i>H10</i>				$\frac{H10}{d10}$				$\frac{H10}{h9}$, $\frac{H10}{h10}$												
<i>H11</i>	$\frac{H11}{a11}$	$\frac{H11}{b11}$	$\frac{H11}{c11}$	$\frac{H11}{d11}$				$\frac{H11}{h11}$												
<i>H12</i>		$\frac{H12}{b12}$						$\frac{H12}{h12}$												
Примечание. Обозначения предпочтительных посадок заключены в рамку.																				

60

Поле допуска основного вала	Основные отклонения отверстий																
	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>	<i>E</i>	<i>F</i>	<i>G</i>	<i>H</i>	<i>JS</i>	<i>K</i>	<i>M</i>	<i>N</i>	<i>P</i>	<i>R</i>	<i>S</i>	<i>T</i>	<i>U</i>
	Посадки																
<i>h4</i>							$\frac{G5}{h4}$	$\frac{H5}{h4}$	$\frac{JS5}{h4}$	$\frac{K5}{h4}$	$\frac{M5}{h4}$	$\frac{N5}{h4}$					
<i>h5</i>						$\frac{F7}{h5}$	$\frac{G6}{h5}$	$\frac{H6}{h5}$	$\frac{JS6}{h5}$	$\frac{K6}{h5}$	$\frac{M6}{h5}$	$\frac{N6}{h5}$	$\frac{P6}{h5}$				
<i>h6</i>				$\frac{D8}{h6}$	$\frac{E8}{h6}$	$\frac{F7}{h6}$; $\frac{F8}{h6}$	$\frac{G7}{h6}$	$\frac{H7}{h6}$	$\frac{JS7}{h6}$	$\frac{K7}{h6}$	$\frac{M7}{h6}$	$\frac{N7}{h6}$	$\frac{P7}{h6}$	$\frac{R7}{h6}$	$\frac{S7}{h6}$	$\frac{T7}{h6}$	
<i>h7</i>				$\frac{D8}{h7}$	$\frac{E8}{h7}$	$\frac{F8}{h7}$		$\frac{H8}{h7}$	$\frac{JS8}{h7}$	$\frac{K8}{h7}$	$\frac{M8}{h7}$	$\frac{N8}{h7}$					$\frac{U8}{h7}$
<i>h8</i>				$\frac{D8}{h8}$; $\frac{D9}{h8}$	$\frac{E8}{h8}$; $\frac{E9}{h8}$	$\frac{F8}{h8}$; $\frac{F9}{h8}$		$\frac{H8}{h8}$; $\frac{H9}{h8}$									
<i>h9</i>				$\frac{D9}{h9}$; $\frac{D10}{h9}$	$\frac{E9}{h9}$	$\frac{F9}{h9}$		$\frac{H8}{h9}$; $\frac{H9}{h9}$; $\frac{H10}{h9}$									
<i>h10</i>				$\frac{D10}{h10}$				$\frac{H10}{h10}$									
<i>h11</i>	$\frac{A11}{h11}$	$\frac{B11}{h11}$	$\frac{C11}{h11}$	$\frac{D11}{h11}$				$\frac{H11}{h11}$									
<i>h12</i>		$\frac{B12}{h12}$						$\frac{H12}{h12}$									
Примечание. Обозначения предпочтительных посадок заключены в рамку.																	

– систему вала следует применять только в тех случаях, когда это оправдано конструктивными или экономическими условиями (см. п. 3.1.1);

– кроме посадок, приведенных в ГОСТ 25347 и ГОСТ 25348, в технически обоснованных случаях допускаются и другие посадки, образованные полями допусков, предусмотренными этими стандартами. Однако и в этих случаях рекомендуется, чтобы по возможности посадка относилась к системе отверстия или системе вала, при неодинаковых допусках отверстия и вала бóльший допуск был у отверстия, а допуски отверстия и вала отличались не более, чем на два квалитета.

2.3.3. Особенности построения рядов допусков и посадок деталей из пластмасс

Детали из пластмасс обладают специфическими физико-механическими свойствами (низким модулем упругости, высоким коэффициентом линейного расширения, способностью изменять размеры в связи с влагопоглощением).

С учетом этих свойств ГОСТ 25349 «ЕСДП. Поля допусков деталей из пластмасс» устанавливает ряды допусков, поля допусков и посадки в соединениях деталей из пластмасс с деталями из пластмасс и металлов, в некоторой степени отличающиеся от приведенных в ГОСТ 25347 для металлических деталей.

Поля допусков, установленные этим стандартом, относятся к внешним условиям: температуре 20 °С, относительной влажности воздуха 50 %.

Ряды полей допусков для деталей из пластмасс включают следующие поля допусков:

– отобранные из полей допусков, рекомендуемых ГОСТ 25347 для металлических деталей (в основном не включены поля допусков точнее 8 квалитета), например, *e8, h9, D10, H11*;

– не вошедшие в ГОСТ 25347, но образованные по правилам этого стандарта, например, *k8, y10, N11, Z10*;

– специальные поля допусков: *ay11, az11, ze11, AY11, AZ11, ZE11*.

Кроме рядов полей допусков в ГОСТ 25349 приведены посадки в системе отверстия и в системе вала, рекомендуемые в соединениях деталей из пластмасс с деталями из пластмасс и металла. Допускается применение и других посадок, образованных полями допусков, приведенными в стандарте. Так, например, в соединениях пластмассовых деталей друг с другом, требующих больших зазоров и натягов, могут быть использованы посадки, образованные полями допусков отверстий из системы вала с полями допусков валов из системы отверстия.

2.4. Обозначение полей допусков, предельных отклонений и посадок на чертежах

Правила указания предельных отклонений, полей допусков и посадок на чертежах определены ГОСТ 2.307.

Предельные отклонения указывают после номинального размера со знаками «+», «-», «±», соблюдая следующие правила:

- при симметричном расположении поля допуска отклонения указывают одним числом со знаками «±» тем же шрифтом, что и номинальный размер (например, $20 \pm 0,018$);

- верхнее отклонение ставят сверху, а нижнее внизу, справа от номинального размера; отклонение, равное нулю, не указывают; шрифт при указании предельных отклонений используют более мелкий, чем при указании номинальных размеров (рис. 2.5, а, б);

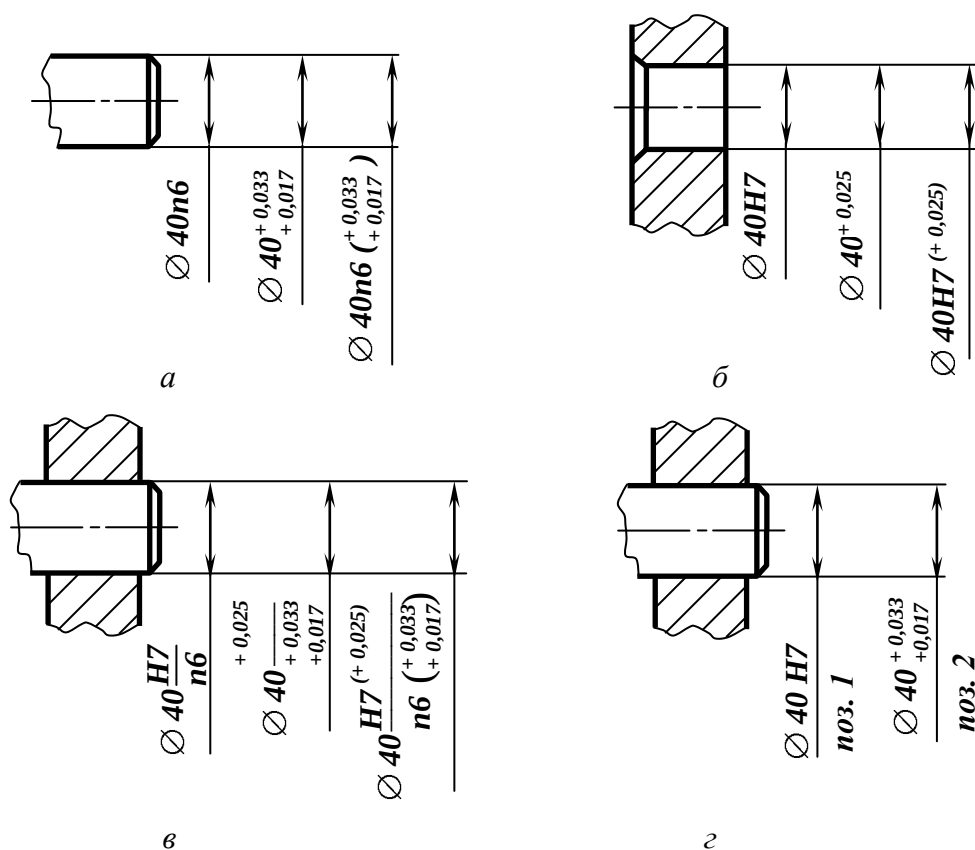


Рис. 2.5. Примеры указания на чертежах:

а, б, г – полей допусков и предельных отклонений; в – посадок

- предельные отклонения, указываемые числовыми значениями, выраженными десятичной дробью, записывают до последней значащей цифры включительно, выравнивая количество знаков в верхнем и нижнем отклонении добавлением нулей.

Предельные отклонения указывают на чертежах тремя способами, записывая после номинального размера: условное обозначение поля допуска по ГОСТ 25346; числовые

значения предельных отклонений или условное обозначение поля допуска с указанием справа в скобках числовых значений предельных отклонений (см. рис. 2.5, *а, б*).

При указании предельных отклонений условными обозначениями полей допусков указание их числовых значений является обязательным в следующих случаях:

- при назначении стандартных предельных отклонений размеров, не включенных в ряды нормальных линейных размеров по ГОСТ 6636;
- при назначении предельных отклонений, условные обозначения которых не предусмотрены ГОСТ 25347, например, для размеров пластмассовой детали с предельными отклонениями по ГОСТ 25349;
- при назначении стандартных предельных отклонений размеров уступов с несимметричными полями допусков.

Обозначение посадки в соединении деталей на сборочном чертеже состоит из номинального размера и условного обозначения полей допусков сопрягаемых деталей, записанных в виде дроби; в числителе – поле допуска отверстия, в знаменателе – поле допуска вала; черта может быть прямой (рис. 2.5, *в*) или косой, например $\varnothing 40H7/n6$. При необходимости в соответствии с ГОСТ 2.307 обозначение посадки может содержать числовые значения предельных отклонений отверстия и вала, записанные в виде дроби без условного обозначения их полей допусков или после условного обозначения полей допусков в скобках (см. рис. 2.5, *в*).

В соединении деталей на сборочном чертеже могут быть указаны числовые значения предельных отклонений только одной из сопрягаемых деталей. В этом случае необходимо указание к какой детали относятся эти отклонения (рис. 2.5, *г*).

2.5. Общие допуски

Термин «общий допуск» в стандарте ГОСТ 30893.1 соответствует термину «неуказанный допуск» (неуказанные предельные отклонения). Под общим допуском понимается допуск, оговоренный общей записью в чертеже для размеров элементов без индивидуально указанных допусков (предельных отклонений).

Общие допуски по ГОСТ 30893.1 распространяются на металлические детали, изготовленные резанием, или детали, изготовленные формообразованием из листового металла, но могут применяться и для других материалов и способов обработки, если соответствуют предъявляемым к ним требованиям.

Значения общих допусков установлены по классам точности, характеризующим различные уровни обычной производственной точности, достигаемой без применения дополнительной обработки повышенной точности.

Для нормирования общих допусков линейных и угловых размеров предусмотрены четыре класса точности: точный f , средний m , грубый c , очень грубый v .

В отличие от односторонне заданных неуказанных непосредственно на чертеже предельных отклонений валов и отверстий по ГОСТ 25670, действовавшему до 01.01.2004 г. (например $H14, h14, +t_2, -t_2$) предельные отклонения любых размеров (отверстий, валов, остальных) по классам точности f, m, c, v заданы симметрично относительно номинального размера (например, $\pm 0,1$ мм, $\pm 0,8$ мм). Применение односторонних предельных отклонений по квалитетам $IT12 - IT17$ или классам точности $t_1 - t_4$ ГОСТ 30893.1 предусматривает как дополнительные варианты, не рекомендованные при новом «проектировании».

В случае использования дополнительных вариантов предельные отклонения по квалитетам (например, $H14, h14, \pm IT14/2$) должны соответствовать ГОСТ 25346 и ГОСТ 25348. Симметричные предельные отклонения по классам точности ($\pm t_2/2$) должны соответствовать симметричным предельным отклонениям по ГОСТ 30893.1, при этом обозначение $\pm t_1/2$ соответствует обозначениям $f, \pm t_2/2 - m, \pm t_3/2 - c, \pm t_4/2 - v$. Односторонние предельные отклонения ($+t, -t$) приведены в приложении А ГОСТ 30893.1.

Выбор класса точности проводят с учетом возможностей производства и функциональных требований к детали.

Общие допуски по ГОСТ 30893.1 действуют в том случае, если на чертежах (в технических требованиях) есть ссылка на этот стандарт (табл. 2.4).

2.4. Примеры указания общих допусков на чертежах (для класса точности «средний»)

Общие допуски	Вариант	Пример записи условными обозначениями
Линейных и угловых размеров	Основной	«Общие допуски по ГОСТ 30893.1- m » или «ГОСТ 30893.1- m »
	Дополнительный	1. «Общие допуски по ГОСТ 30893.1: $H14, h14, \pm t_2/2$ » или «Общие допуски по ГОСТ 30893.1: $H14, h14, \pm IT14/2$ » 2. «Общие допуски по ГОСТ 30893.1: $+t_2, -t_2, \pm t_2/2$ »

Общие допуски по ГОСТ 30893.1 не применяют для размеров, к которым относятся ссылки на общие допуски по другим стандартам, для справочных размеров, для номинальных (теоретически точных) размеров, заключенных в прямоугольные рамки.

В соответствии с ГОСТ 30893.1, выход размеров деталей за предельные размеры, соответствующие общему допуску, не должен вести к их автоматическому забраковыванию, если не нарушена способность детали к функционированию и если в документации не оговорено другое истолкование неуказанных предельных отклонений.

2.6. Геометрические допуски и шероховатость поверхностей деталей

2.6.1. Допуски формы, ориентации, месторасположения и биений

Общие положения

Геометрические отклонения поверхностей условно можно классифицировать [21] в зависимости от отношения шага S к высоте неровностей H : при $S/H > 1000$ – макрогеометрические отклонения формы поверхности, при $S/H = 500 \dots 1000$ – волнистость и при $S/H < 1000$ – отклонения микрогеометрии поверхности (шероховатость).

Правила нормирования и указания на чертежах допусков, ограничивающих отклонения формы, ориентации, месторасположения и биения, определены соответствующими стандартами*.

С 01.07.2005 г. вступил в действие межгосударственный стандарт ГОСТ 31254-2004 (ИСО 14660-1:1999, ИСО 14660-2:1999) «ОНВ. Геометрические элементы. Общие термины и определения», а с 01.01.2012 г. – национальный стандарт ГОСТ Р 53442-2009 (ИСО 1101:2004) «ОНВ. Характеристики изделий геометрические. Допуски формы, ориентации, месторасположения и биения». Эти стандарты заменили ГОСТ 24642-81 «ОНВ. Допуски формы и расположения поверхностей. Основные определения», в настоящее время утративший силу в Российской Федерации.

В соответствии с ГОСТ 31254 геометрические элементы разбиты на четыре группы: номинальные, реальные, выявленные и присоединительные (табл. 2.5).

Номинальные элементы существуют на чертеже; реальные элементы – это физически существующие элементы; выявленные элементы определяют при контроле деталей и для их определения необходимо указание и реализация тем или иным способом присоединенных элементов.

Установленные в этом стандарте термины для геометрических параметров являются новыми по сравнению с применявшимися. Их введение стало необходимым для однозначного описания и беспрепятственного математического определения различных видов геометрических элементов в различных странах.

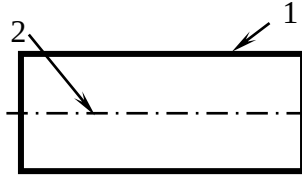
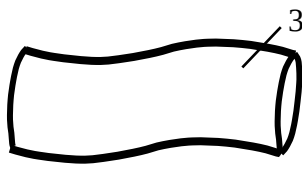
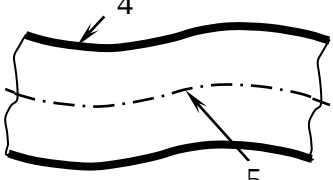
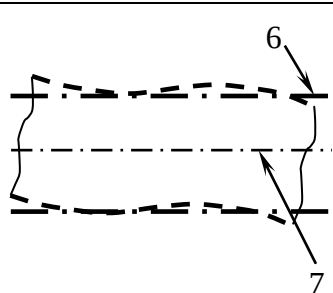
Элемент, геометрический элемент – точка, линия или поверхность.

Полный геометрический элемент – поверхность или линия на поверхности.

Производный геометрический элемент – средняя точка, средняя линия или средняя поверхность, которые произведены от одного или нескольких полных элементов (например, средняя линия (ось) цилиндра является производным геометрическим элементом от цилиндрической поверхности, которая является полным геометрическим элементом (см. табл. 2.5).

*Параметры волнистости не стандартизированы.

2.5. Классификация геометрических элементов (ГОСТ 31254-2004)

Геометри- ческий элемент	Тип элемента	Объект	Область существо- вания	Пример
Номиналь- ный элемент	Полный элемент	Точка Линия/ось Поверхность/плоскость	Чертеж	
	Произ- водный элемент	Точка Линия/ось Грань/плоскость		
Реальный элемент	Полный элемент	Поверхность	↓ Деталь	
Выявлен- ный эле- мент	Полный элемент	Точка Линия Поверхность	↓ Выявление (контроль)	
	Произ- водный элемент	Точка Линия Грань		
Присоеди- ненный элемент	Полный элемент	Точка Прямая линия Идеальный элемент	↓ Присоеди- ние (контроль)	
	Произ- водный элемент	Точка Прямая линия Плоскость		
	База	Точка Линия Поверхность/плоскость		

Примечание. 1.Номинальный полный элемент.2.Номинальный производный элемент.
3.Реальный элемент.4.Выявленный полный элемент.5. Выявленный производный эле-
мент.6. Присоединенный полный элемент.7.Присоединенный производный элемент.

Размерный элемент – геометрическая форма, определяемая линейным или угловым размером.

Полный номинальный геометрический элемент – точный, полный геометрический элемент, определенный чертежом или другими средствами (см. табл. 2.5).

Производный номинальный геометрический элемент – центр, ось или плоскость симметрии, которые произведены от одного или нескольких полных геометрических элементов (на чертежах производные номинальные геометрические элементы изображаются в основном тонкими штрихпунктирными линиями).

Реальная поверхность детали – совокупность физически существующих геометрических элементов, которые отделяют всю деталь от окружающей среды.

Реальный полный геометрический элемент – полный геометрический элемент как часть реальной поверхности детали, ограниченная соседними реальными полными геометрическими элементами (реальные производные геометрические элементы не существуют).

Выявленный геометрический элемент – приближенное представление реального полного геометрического элемента, которое получают с помощью регистрации конечного (ограниченного) числа точек реального полного геометрического элемента при соблюдении согласованных условий.

Выявленный производный элемент – центральная точка, средняя линия или средняя поверхность, произведенные от одного или нескольких реальных полных элементов (производная средняя линия выявленной цилиндрической поверхности называется выявленной средней линией (выявленной осью), производная средняя поверхность двух противолежащих выявленных плоских поверхностей называется выявленной средней поверхностью).

Присоединенный полный элемент – полный элемент правильной формы, присоединенный (совмещенный) к выявленному полному элементу при соблюдении согласованных условий.

Присоединенный производный элемент – центр, ось или плоскость симметрии, произведенные от одного или нескольких присоединенных полных элементов.

Выявленная средняя линия цилиндра – геометрическое место центров поперечных сечений (центрами поперечных сечений являются центры присоединенных окружностей, поперечные сечения перпендикулярны к оси присоединенного цилиндра, полученного по выявленной поверхности, т.е. радиус может отличаться от номинального радиуса).

Выявленная средняя линия конуса – геометрическое место центров поперечных сечений конуса (центрами поперечных сечений конуса являются центры присоединенных окружностей; поперечные сечения перпендикулярны к оси присоединенного конуса, полученного по выявленной поверхности, т.е. угол конуса может отличаться от номинального угла).

Выявленная средняя поверхность – геометрическое место центральных точек для наборов противолежащих точек выявленных противолежащих поверхностей (линии, соединяющие пары противолежащих точек, перпендикулярны к присоединенной средней плоскости (плоскости симметрии); присоединенная средняя плоскость является плоскостью симметрии двух присоединенных параллельных плоскостей, полученных по выявленным поверхностям, т.е. расстояние между двумя присоединенными параллельными плоскостями может отличаться от номинального расстояния).

Местный размер выявленного цилиндра, местный диаметр выявленного цилиндра – расстояние между двумя противоположащими точками элемента. Линия, соединяющая две точки, проходит через центр присоединенной окружности; поперечные сечения перпендикулярны к оси присоединенного цилиндра, полученного по выявленной поверхности.

Местный размер для элемента, образованного двумя параллельными выявленными поверхностями – расстояние между двумя точками на противоположащих выявленных поверхностях (линии, соединяющие пары противоположащих точек, перпендикулярны к присоединенной плоскости симметрии; присоединенная плоскость симметрии является плоскостью симметрии двух присоединенных параллельных плоскостей, полученных по выявленным поверхностям, т.е. расстояние между присоединенными плоскостями может отличаться от номинального).

Так как выявленные элементы не имеют правильной геометрической формы, в ГОСТ 31254 приведены условия для определения частных видов выявленных производных элементов и местных размеров, используемые «по умолчанию» (если не предписано иное). Так для определения выявленной средней линии цилиндра и конуса должны выполняться следующие условия: присоединенные окружности являются полными окружностями наименьших квадратов отклонений (среднее квадратическое отклонение точек выявленной окружности от присоединенной окружности является минимальным); присоединенные цилиндр или конус являются соответственно полным цилиндром или полным конусом наименьших квадратов отклонений (рис. 2.6).

Для определения «по умолчанию» выявленной средней поверхности обе присоединенные параллельные плоскости должны быть построены по методу наименьших квадратов.

Для определения местного размера (диаметра) выявленного цилиндра и местного размера двух параллельных выявленных поверхностей присоединенные элементы должны удовлетворять тем же условиям.

Указание геометрических допусков на чертежах

Ниже использованы определения, приведенные в ГОСТ Р 53090.

Нормируемый элемент – элемент, для которого установлен геометрический допуск.

База – производный элемент, относительно которого устанавливается геометрический допуск ориентации или месторасположения рассматриваемого нормируемого элемента.

Базовый элемент – реальный полный элемент, от которого произведена база.

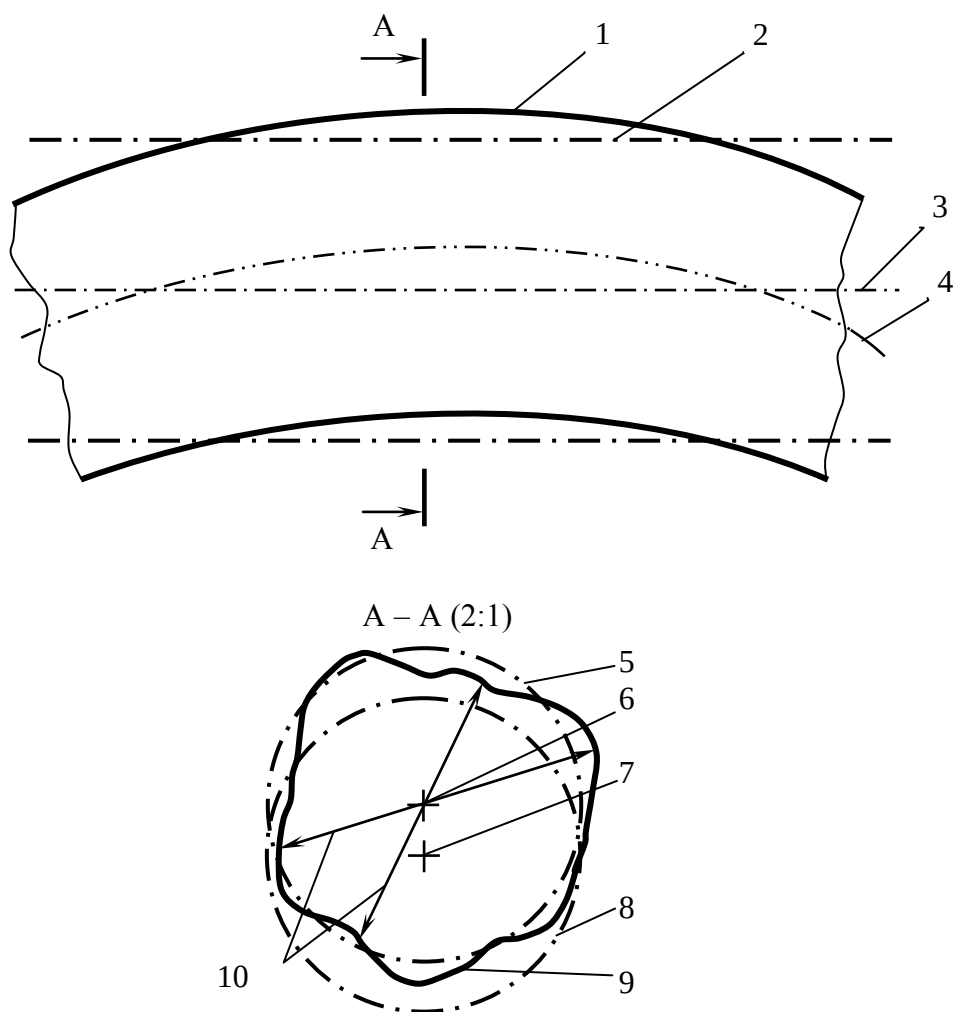


Рис.2.6. Геометрические элементы и местные диаметры цилиндра: 1 – выявленная поверхность; 2, 8– присоединенный цилиндр; 3 – ось присоединенного цилиндра; 4 – выявленная средняя линия; 5 – присоединенная окружность; 6 – центр присоединенной окружности; 7 – ось присоединенного цилиндра; 9 – выявленная линия; 10 – местный диаметр выявленного элемента

В соответствии с ГОСТ Р 53442 геометрические допуски* указывают на чертежах в рамке допуска вместе с условным обозначением геометрической характеристики, нормируемой им (табл. 2.6).

Наименование геометрического допуска состоит из слова «допуск» и геометрической характеристики элемента, нормируемой им, например «допуск соосности». исключение составляет допуск позиционирования, который в сложившейся практике имеет наименование «позиционный допуск».

Рамку допуска разделяют на две или более частей, в которых помещают:

– в первой – знак геометрической характеристики элемента, нормируемой допуском, согласно табл. 2.6 (рис. 2.7, а – з);

*Геометрический допуск – допуск формы, ориентации, месторасположения и биения.

2.6. Условные обозначения геометрических допусков на чертежах (ГОСТ Р 53442)

Группа допусков	Геометрическая характеристика	Обозначение геометрической характеристики	Необходимость указания базы
Допуски формы	Прямолинейность		Нет
	Плоскостность		Нет
	Круглость		Нет
	Цилиндричность		Нет
	Форма заданного профиля		Нет
	Форма заданной поверхности		Нет
Допуски ориентации	Параллельность		Да
	Перпендикулярность		Да
	Наклон		Да
	Форма заданного профиля		Да
	Форма заданной поверхности		Да
Допуски месторасположения	Позиционирование		Да или нет
	Концентричность (для точек)		Да
	Соосность (для осей)		Да
	Симметричность		Да
	Форма заданного профиля		Да
	Форма заданной поверхности		Да
Допуски биения	Биение		Да
	Полное биение		Да
Примечание. Форма и размеры знаков (обозначений) – по ГОСТ 2.308.			

– во второй – числовое значение допуска в миллиметрах, перед которым указывают символ « $\varnothing$ » (в случае кругового или цилиндрического поля допуска) или символ « $S\varnothing$ » (в случае сферического поля допуска) (см. рис. 2.7, а – з);

– в третьей и последующих – буквенное обозначение базы (см. рис. 2.7, б), общей базы (см. рис. 2.7, в), комплекта баз (см. рис. 2.7, г).

Если геометрический допуск установлен для нескольких элементов, то их число с последующим знаком умножения « $\times$ » указывают над рамкой геометрического допуска (рис. 2.7, д).

При необходимости обозначения, накладывающие дополнительные ограничения на форму элемента в пределах поля допуска, должны записываться под рамкой допуска (рис. 2.7, е), а если необходимо нормировать несколько геометрических характеристик элемента, то для удобства допускается объединять рамки.

Рамку геометрического допуска соединяют с нормируемым элементом (элементом, для которого установлен допуск) сплошной тонкой линией, начинающейся на

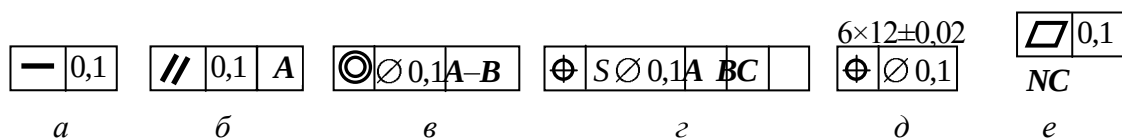


Рис. 2.7. Варианты записей в рамках при указании геометрических допусков

любой из двух торцевых сторон рамки и заканчивающейся стрелкой:

- на контуре элемента или на продолжении контура (соединительная линия при этом не должна являться продолжением размерной линии), если допуск относится к самой линии или поверхности (рис. 2.8, *а, б*), если для указания поверхности используют выноску, стрелка может заканчиваться на ней (рис. 2.8, *в*);
- являющейся продолжением размерной линии, если допуск относится к средней линии или средней поверхности или точке, определяемой элементом, к которому относится размер (рис. 2.8, *г, д*).

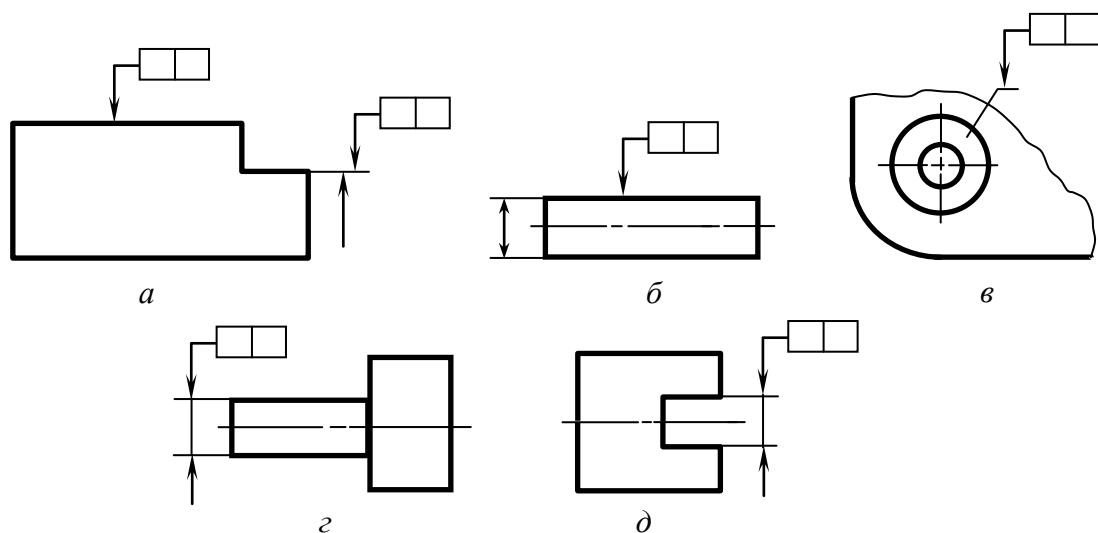


Рис. 2.8. Указание на чертежах нормируемого элемента

Ширина поля допуска направлена по нормали к номинальному геометрическому элементу, если нет иных указаний (рис. 2.9, *а*). При необходимости указывают угол α (рис. 2.9, *б*), определяющий ориентацию ширины поля допуска, даже если он равен 90° .

Поле допуска круглости всегда располагается в плоскости, перпендикулярной к номинальной оси.

Если для центральной точки, средней линии или средней поверхности установлен однонаправленный допуск, то:

- ориентация ширины поля позиционного допуска может быть параллельна или перпендикулярна относительно размеров, составляющих шаблон теоретически точных размеров (ГОСТ Р 53089), и определяется, если нет других указаний, направлением стрелки соединительной линии (рис. 2.10, *а*);

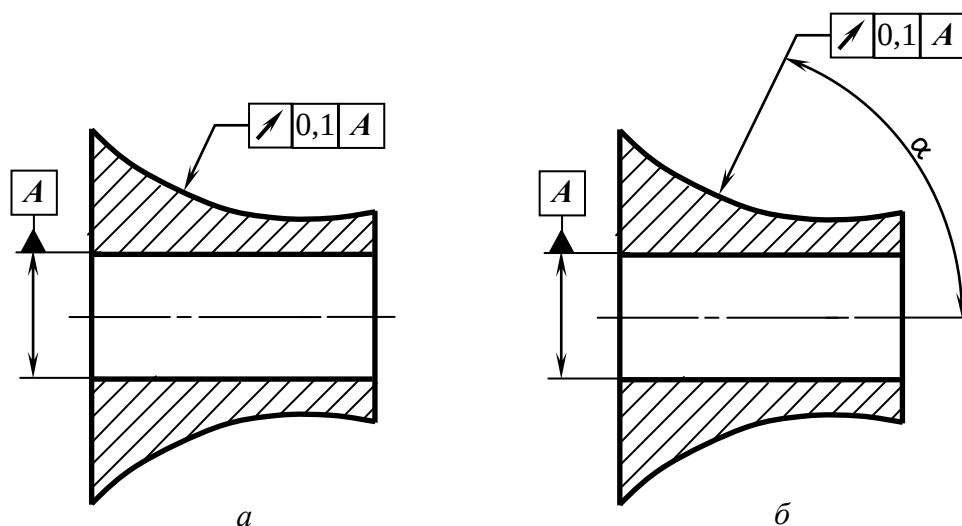


Рис. 2.9. Указание на чертежах ориентации ширины поля допуска криволинейной поверхности

– ориентация ширины поля допуска параллельности может быть параллельна или перпендикулярна относительно базы и определяется (если нет других указаний) направлением стрелки соединительной линии (рис. 2.10, б);

– два однонаправленных геометрических допуска, нормирующих одну и ту же геометрическую характеристику элемента, должны быть перпендикулярны друг относительно друга (если нет других указаний).

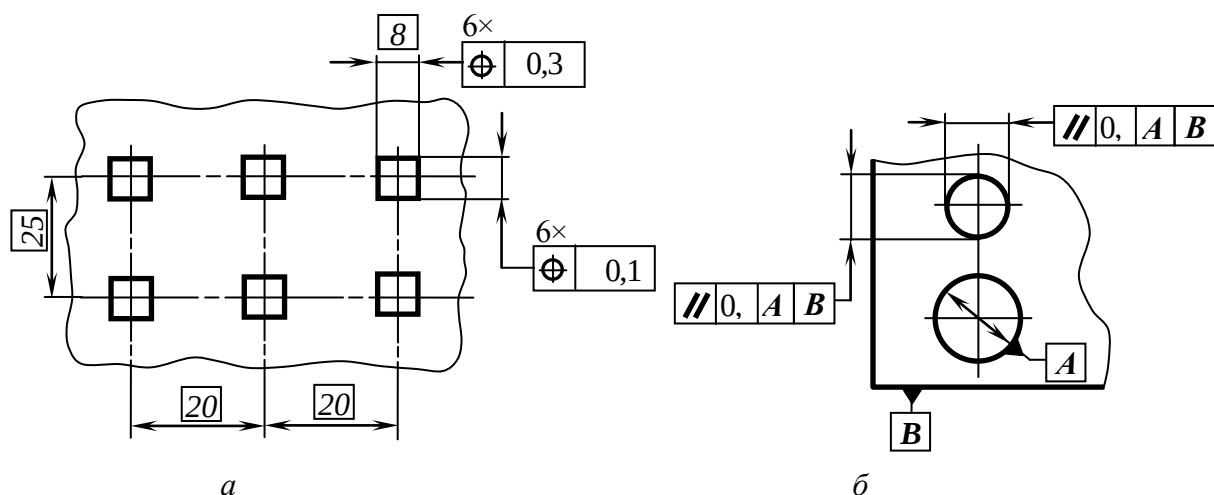


Рис. 2.10. Указание на чертежах ориентации ширины поля однонаправленного допуска

Если для нескольких отдельных элементов установлены одинаковые геометрические допуски, с одинаковыми значениями допусков относительно одних и тех же баз (при этом поля допусков являются индивидуальными для каждого отдельного элемента), то их допускается указывать один раз в рамке, от которой отходит одна соединительная линия, разветвляемая затем ко всем нормируемым элементам (рис. 2.11, а), если поле допуска

является общим для нескольких отдельных элементов, то это требование указывают на чертеже дополнительным значком «CZ» (табл. П.1.1^{*}), располагаемым в рамке сразу после числового значения допуска (рис. 2.11, б).

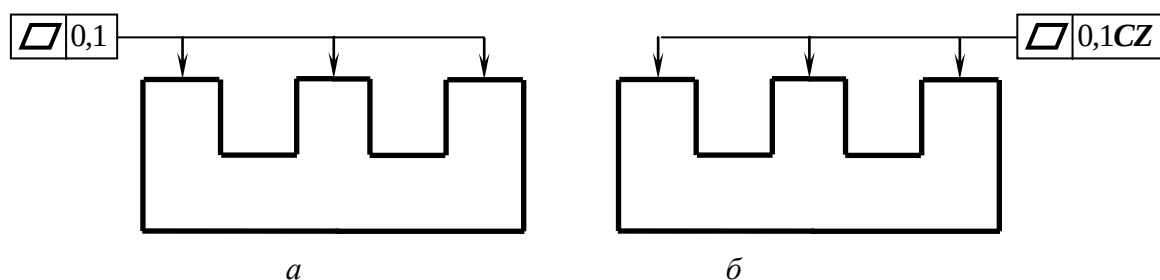


Рис. 2.11. Указание на чертежах одинаковых (а) и общего (б) геометрических допусков

Базу, относительно которой установлен допуск элемента, следует указывать буквенным обозначением. Рамка базы, в которой размещается буквенное обозначение – прописная буква, соединяется с базой сплошной тонкой линией, заканчивающейся зачерненным или светлым треугольником (рис. 2.12, а).

Треугольник, обозначающий базу и соединенный с рамкой, в которую включено ее буквенное обозначение, должен быть:

- расположен на контуре элемента или на продолжении контура (соединительная линия при этом не должна являться продолжением размерной линии), если базой является линия или поверхность (рис. 2.12, б).

Если для указания поверхности используют выноску, то допускается треугольник располагать на последней

- продолжением размерной линии, если базой является ось, плоскость симметрии или точка, определяемая элементом, к которому относится размер (рис. 2.12, в – е), в случае недостатка места стрелку размерной линии допускается заменять треугольником, обозначающим базу (см. рис. 2.12, д, е).

Если базой является определенная часть элемента, то ее обозначают толстой штрихпунктирной линией с длинными штрихами и ограничивают размерами (рис. 2.12, ж).

Базу, образованную одним элементом, обозначают прописной буквой в рамке допуска (рис. 2.12, з).

Если два элемента образуют общую базу, то каждый элемент обозначают самостоятельно и прописные буквы в рамке допуска разделяют дефисом (рис. 2.12, и).

^{*} Здесь и далее табл. П.1.2, П.1.3, ..., П.2.1 и др. размещены соответственно в приложениях 1, 2 и др.

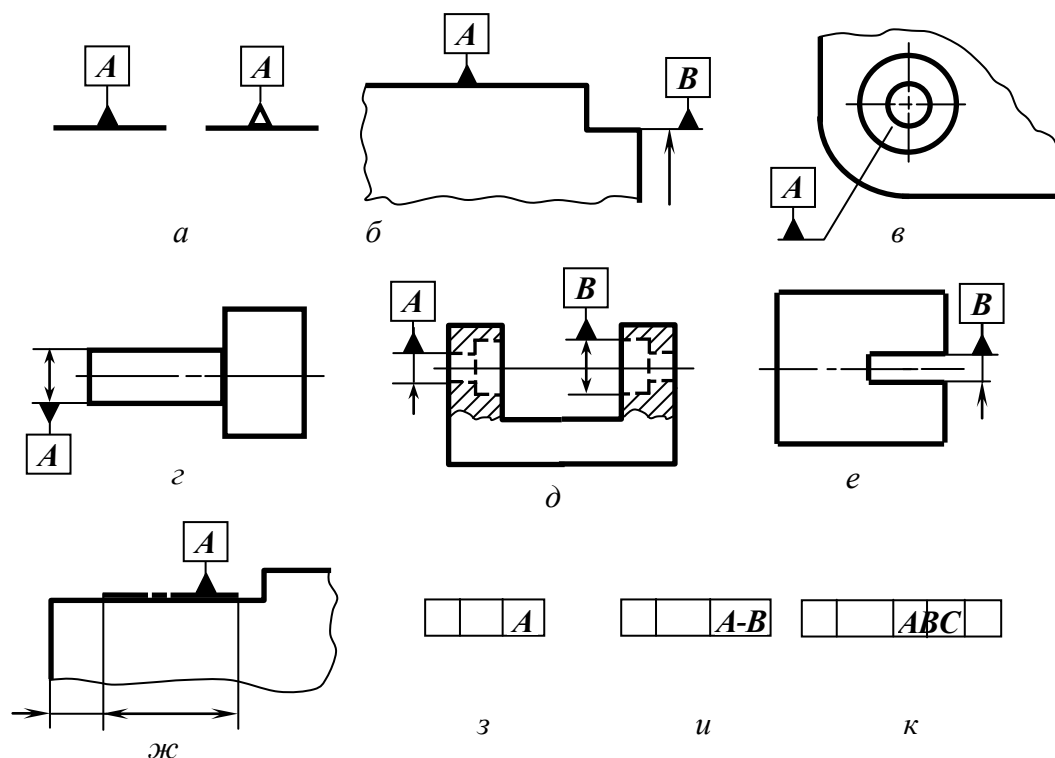


Рис.2.12. Указание баз на чертежах деталей

Если необходимо установить допуск относительно комплекта баз, образованным двумя или тремя элементами, то буквенные обозначения баз указывают в самостоятельных частях (третьей и далее) рамки допуска в порядке приоритета (рис. 2.12, к).

Допуски и базы, устанавливаемые для зубчатых колес и деталей шлицевых соединений, следует указывать с дополнительными знаками «PD», «MD» или «LD» согласно рис. 2.13. Если под рамкой указан знак «PD», «MD» или «LD», то допуски и базы относятся к оси цилиндра, диаметр которого равен делительному диаметру, наружному или внутреннему диаметру соответственно.

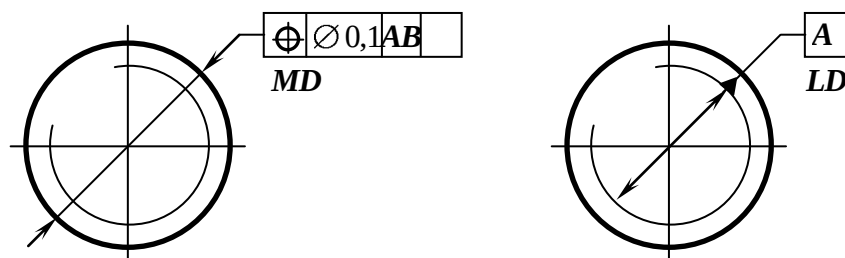


Рис. 2.13. Указание на чертежах геометрических допусков или базовых элементов

Если для элемента (или группы элементов) устанавливаются допуски месторасположения, ориентации и формы заданного профиля или формы заданной поверхности, то размеры, определяющие теоретически точное (номинальное) месторасположение, ориентацию, форму заданного профиля или форму заданной поверхности соответственно, называют теоретически точными размерами.

Теоретически точные размеры указывают на чертежах без предельных отклонений и заключают в прямоугольные рамки (рис. 2.14).

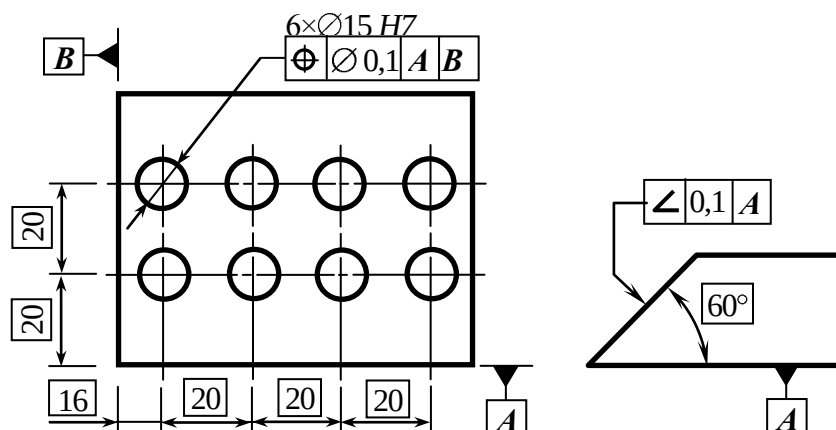


Рис. 2.14. Указание на чертежах теоретически точных размеров

Если геометрический допуск относится к любому участку заданной длины, лежащему в пределах нормируемого элемента, то заданную длину указывают рядом с числовым значением допуска и отделяют от нее наклонной линией (рис. 2.15, а).

Если геометрический допуск необходимо установить на всей длине и на заданной длине, то они могут быть объединены так, как показано на рис. 2.15, б.



Рис. 2.15. Указание на чертежах ограниченных характеристик

Примеры указания геометрических допусков и пояснения к ним приведены в табл. П.1.2.

В соответствии с ГОСТ Р 53442 при необходимости для обеспечения выполнения функциональных требований для одного элемента могут быть установлены допуски, нормирующие одну или несколько геометрических характеристик элемента и определяющие границы его геометрических отклонений.

Определенные виды допусков, ограничивающие соответствующие геометрические отклонения элемента, могут также накладывать ограничения и на отклонения, контролируемые непосредственно другими видами допусков.

Установленные для элемента допуски месторасположения помимо ограничения отклонений месторасположения также накладывают ограничения на отклонения ориентации и отклонения формы этого элемента.

Установленные для элемента допуски ориентации помимо ограничения отклонений ориентации также накладывают ограничения на отклонения формы этого элемента.

Допуски формы элемента ограничивают только отклонения формы этого элемента.

*Нормирование точности формы, ориентации и месторасположения
поверхностей деталей*

Отклонения формы и расположения* поверхностей нормируют в соответствии со стандартами:ГОСТ 24643 «ОНВ. Допуски формы и расположения поверхностей. Числовые значения»;ГОСТ Р 50056 «ОНВ. Зависимые допуски формы, расположения и координирующих размеров. Основные положения по применению»;ГОСТ 31254 (ИСО 14660-1:1999, ИСО 14660-2:1999) «ОНВ. Геометрические элементы. Общие термины и определения»;ГОСТ Р 53090 (ИСО 2692:2006) «ОНВ. Характеристики изделий геометрические. Требования максимума материала, минимума материала и взаимодействия»;ГОСТ Р 53442 (ИСО 1101:2004) «ОНВ. Характеристики изделий геометрические. Допуски формы, ориентации, месторасположения и биения»;ГОСТ 30987 (ИСО 10579:1993) «ОНВ. Назначение размеров и допусков для нежестких деталей»** ;ГОСТ 30893.2 «Общие допуски».

Значения допусков формы, ориентации, месторасположения и биения поверхностей представлены в табл. П.1.4, П.1.5 в зависимости от установленных степеней точности (табл. П.1.6 – П.1.10) и номинальных размеров.

При назначении допусков параллельности, перпендикулярности, наклона под *номинальным размером* понимают длину нормируемого участка или номинальную длину всей рассматриваемой поверхности (для допуска параллельности – номинальную длину бóльшей стороны), если нормированный участок не задан. Допуски торцового биения назначают на заданном номинальном диаметре или номинальном наибольшем диаметре торцовой поверхности, если диаметр не задан. Допуски полного торцового биения назначают на номинальном наибольшем диаметре торцовой поверхности.

При назначении допусков концентричности, соосности, симметричности и пересечения осей*** под номинальным размером понимают номинальный размер рассматриваемой поверхности вращения или номинальный размер расстояния между поверхностями, образующими рассматриваемый симметричный элемент. Если база не указывается, то допуск определяют по элементу с большим размером. Допуски радиального биения и

*По ГОСТ Р 53442 допуски расположения поверхностей разделены на допуски ориентации (допуски параллельности, перпендикулярности, наклона и др.) и допуски месторасположения (допуски концентричности, соосности, симметричности и др.).

**Основные положения стандарта приведены в табл. П.1.3.

***По ГОСТ 53442, введенному в действие с 01.01.2012 г., в классификации допусков формы, ориентации и месторасположения допуски профиля продольного сечения и пересечения осей отсутствуют.

полного радиального биения назначают исходя из номинального диаметра рассматриваемой поверхности.

При выборе допуска формы необходимо связать его с допуском размера, координирующего данную поверхность (при назначении допусков формы плоских поверхностей), или с допуском диаметра (для цилиндрических поверхностей). Допуски формы должны быть меньше допуска размера IT :

$$TF \leq IT,$$

где TF – допуск формы в диаметральном выражении.

Если для плоского элемента назначают наряду с допусками формы допуски ориентации (параллельности, перпендикулярности, наклона и др.) и месторасположения (соосности, симметричности и др.) TP , то при назначении допуска формы рекомендуется соблюдать условие $TF \leq TP$.

Для облегчения нормирования отклонений формы установлены 3 уровня относительной геометрической точности (ГОСТ 24643):

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

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

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

Допуски формы цилиндрических поверхностей назначают в два раза меньшими, чем допуски формы плоских поверхностей, так как допуски формы плоских поверхностей ограничивают отклонения размеров, а цилиндрических – радиуса детали.

Уровень *A* относительной геометрической точности назначают для деталей подвижных соединений при небольших нагрузках и скоростях относительных перемещений, когда не предъявляются особые требования к плавности хода и минимальному трению; для деталей соединений с натягом и переходных, подвергаемых разборке и повторной сборке при повышенных требованиях к точности центрирования и стабильности натяга в соединении [20].

Уровень *B* выбирают для деталей подвижных соединений при средних по величине нагрузках и средних скоростях относительных перемещений, для деталей соединений с натягом или переходными посадками – при высоких требованиях к точности и прочности.

Уровень *C* выбирают для деталей подвижных соединений при высоких скоростях и нагрузках, в случае высоких требований к плавности хода и герметичности соединения (уплотнения), для деталей соединений с натягом или переходными посадками, работаю-

щих в условиях воздействия высоких скоростей, и нагрузок, в том числе ударов и вибраций.

Для высокоточных деталей можно применять допуски формы, составляющие менее 25 % от IT для плоских и 12 % от IT для цилиндрических поверхностей.

Рекомендации по выбору степени точности формы цилиндрических поверхностей приведены в табл. 2.7 и П.1.6, плоских – в табл. П.1.7.

2.7. Степень точности формы цилиндрических поверхностей в зависимости от допуска размера (ГОСТ 24643)

Допуск размера	Относительная геометри- ческая точность			Допуск размера	Относительная геометри- ческая точность		
	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>		<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>
	степень точности формы				степень точности формы		
<i>IT4</i>	3	2	1	<i>IT9</i>	8	7	6
<i>IT5</i>	4	3	2	<i>IT10</i>	9	8	7
<i>IT6</i>	5	4	3	<i>IT11</i>	10	9	8
<i>IT7</i>	6	5	4	<i>IT12</i>	11	10	9
<i>IT8</i>	7	6	5				

Численные значения допусков формы назначают по степеням точности в соответствии с табл. П.1.4 и П.1.5. Для тех допусков, на которые не распространяются стандартные степени точности (например, позиционный допуск), значения берут из *базового ряда* (табл. 2.8), при этом расчетные значения допуска округляют до ближайшего меньшего значения. Базовый ряд используют также, когда необходимо назначить допуск, занимающий промежуточное положение между соседними степенями точности.

2.8. Базовый ряд числовых значений допусков формы и расположения, мкм (ГОСТ 24643)

0,1	0,12	0,16	0,2	0,25	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8
1	1,2	1,6	2	2,5	3	4	5	6	8
10	12	16	20	25	30	40	50	60	80
100	120	160	200	250	300	400	500	600	800
1000	1200	1600	2000	2500	3000	4000	5000	6000	8000

При выборе допусков цилиндричности или профиля продольного сечения следует учитывать длину нормируемого участка, а если допуск относится ко всей поверхности, то ее полную длину L [15]. При отношении $L/d = 2...5$ допуск формы рекомендуется принимать на одну степень точности грубее, а при $L/d > 5$ – на две степени точности грубее, чем в обычных случаях, когда $L/d \leq 2$. Однако во всех случаях удвоенный допуск формы в радиусном выражении не должен превышать допуска диаметра нормируемой поверхности.

Точность формы конических поверхностей характеризуют в основном отклонениями и допусками прямолинейности образующей конуса и круглости в поперечном сечении. Как правило, допуски формы назначают только для высокоточных конусов (например, инструментальные или шпиндельные конусы, конусные калибры и др.), когда точность конуса нормируется отдельно допуском диаметра в заданном поперечном сечении T_{DS} (обычно диаметр в основной плоскости конуса) и допуском угла конуса AT_D или AT_h . При этом рекомендуется соблюдать следующие условия [15]:

$$TFL \leq 0,5 AT_D (AT_h); \quad (2.8)$$

$$TFR \leq 0,5 T_{DS}, \quad (2.9)$$

где TFL и TFR – соответственно допуск прямолинейности образующей и круглости, мкм; AT_D (AT_h) – допуск угла конуса, мкм, назначенный по ГОСТ 8908 «Допуски углов»; T_{DS} – допуск диаметра конуса в заданном сечении, мкм, определяемый по ГОСТ 25347 «ЕСДП. Поля допусков и рекомендуемые посадки гладких цилиндрических соединений».

Допуски ориентации, месторасположения и биения назначают, как правило, на основании расчета размерных цепей, исходя из эксплуатационных требований, предъявляемых к изделию и детали, а также их конструктивных особенностей. Примеры выбора степеней точности и способы обработки, обеспечивающие соблюдение соответствующих допусков, приведены в табл. П.1.8–П.1.10.

Допуски параллельности TPA назначают только в тех случаях, когда необходимо, чтобы они были меньше допуска размера IT между рассматриваемыми элементами:

$$TPA < IT.$$

Допуски параллельности можно назначать по аналогии с допусками плоскостности и прямолинейности по нормальной, повышенной и высокой относительной геометрической точности в зависимости от соотношения $TPA < IT$.

Допуски расположения, полученные расчетным путем, следует округлять до стандартных значений по табл. П.1.4, П.1.5, либо из базового ряда (см. табл. 2.8) путем выбора ближайшего с расчетным меньшего значения.

Ранее действовавший ГОСТ 24642 устанавливал два способа нормирования допусков соосности, симметричности, пересечения осей и позиционного допуска – в радиальном выражении (как наибольшее допускаемое значение отклонения) или в диаметральной выражении (как диаметр или ширина поля допуска). Соответственно на чертеже в условном обозначении допусков расположения в первом случае проставляли символы $\varnothing$ (для допуска соосности и позиционного допуска) и T (для допусков симметричности и пересечения осей), а во втором $-R$ или $T/2$. Соотношение между эквивалентными допусками в диаметральной и радиальном выражении – 2 : 1.

По ГОСТ Р 53442 поля допусков параллельности линии (оси) относительно линии (оси), перпендикулярности и наклона линии (оси) относительно базовой поверхности, позиционного допуска могут быть ограничены цилиндром или окружностью, диаметр которых равен числовому значению допуска, если перед числовым значением допуска стоит знак $\varnothing$, или двумя параллельными плоскостями, расстояние между которыми равно числовому значению допуска, если знак $\varnothing$ отсутствует (плоскости ориентированы в указанном на чертеже направлении).

Поля допусков концентричности и соосности всегда ограничены цилиндром или окружностью, диаметр которых равен числовому значению допуска (с указанием знака $\varnothing$ в условном обозначении); поле допуска симметричности всегда ограничено двумя плоскостями, расстояние между которыми равно числовому значению допуска, а плоскость симметрии поля допуска совпадает с базовой плоскостью симметрии.

При расшифровке чертежей, разработанных до 01.01.1980 г., следует учитывать, что, согласно ГОСТ 2.308–68, допуски соосности, симметричности и смещения осей нормировали только в радиусном выражении.

Неуказанные непосредственно на чертеже или в технических требованиях допуски формы и расположения (ориентации и месторасположения) регламентированы ГОСТ 30893.2. Для допусков прямолинейности, плоскостности, перпендикулярности, симметричности, пересечения осей и биений (радиального, торцового, в заданном направлении) установлены три класса точности – *H*, *K* и *L*. В машиностроении, как правило, используют средний класс точности – *K*.

В качестве базы при нормировании отклонений от перпендикулярности принимают элемент с большей длиной (рис. 2.16, *a*). Если на чертеже не указаны допуски круглости и параллельности, то, согласно ГОСТ 30893.2, допускаются любые отклонения в пределах поля допуска рассматриваемого размера или размера расстояния между рассматриваемой поверхностью и базой. Это связано с тем, что указанные погрешности формы и расположения входят составной частью в погрешность размера и выявляются при контроле детали. Например, для детали, изображенной на рис. 2.16, *б*, неуказанные допуски параллельности и плоскостности находятся в пределах поля допуска T_h . Допуск круглости равен допуску диаметра, но не более общего допуска радиального биения. Для частных видов отклонений формы, таких как овальность, огранка четным числом граней, конусообразность, бочкообразность и седлообразность, следует принимать наибольшее возможное отклонение формы, равное $0,5Td$ или $0,5TD$ (Td и TD – соответственно допуск вала и отверстия).

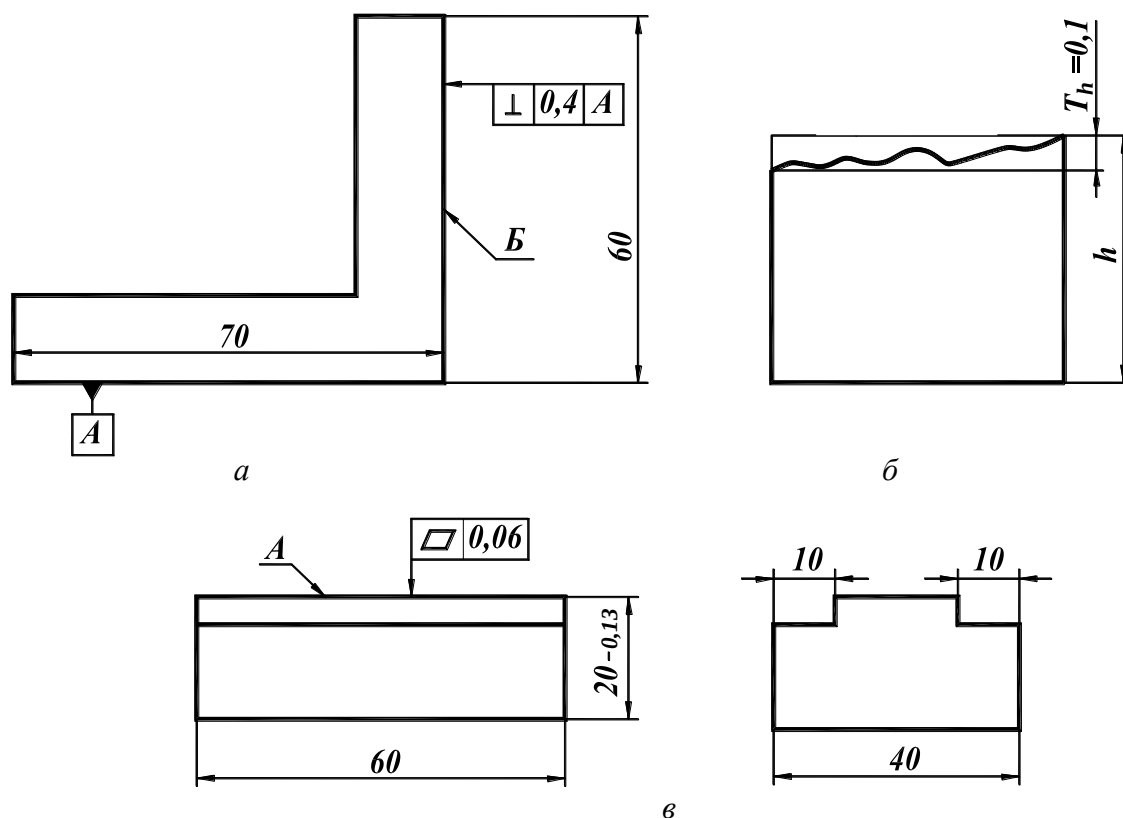


Рис. 2.16. Эскизы деталей, иллюстрирующие правила нормирования неуказанных на чертеже допусков: *а* – перпендикулярности; *б* – параллельности; *в* – плоскостности

Общие допуски цилиндричности, профиля продольного сечения, наклона, перекоса осей, позиционные, полного радиального и полного торцового биения, формы заданного профиля и формы заданной поверхности не устанавливаются. Отклонения этих видов косвенно ограничиваются допусками на линейные и угловые размеры или другими видами допусков формы и расположения, в том числе и общими. Если такого ограничения недостаточно, то перечисленные виды допусков следует указывать на чертеже непосредственно для соответствующих элементов. Общие допуски соосности применяют в случаях, когда измерение радиального биения невозможно или нецелесообразно. Общий допуск соосности устанавливают равным общему допуску радиального биения.

Пример 2.1

Назначить допуск плоскостности поверхности *A* призматической детали (рис. 2.16, *в*), исходя из условия обеспечения нормальной относительной геометрической точности при допуске размера, координирующего данную поверхность, $IT = 0,13$ мм. Длина поверхности 60 мм.

Для нормальной относительной геометрической точности находим расчетный допуск плоскостности $TF = 0,6IT = 0,6 \cdot 0,13 = 0,078$ мм. По табл. П.1.4 для длины 60 мм получен-

ное значение округляем до ближайшего меньшего, т.е. до 0,06 мм. Таким образом, допуск плоскостности, указываемый на чертеже, будет равен 0,06 мм, что соответствует 11-й степени точности.

2.6.2. Зависимые допуски формы, расположения координирующих размеров.

Требования максимума, минимума материала и взаимодействия

Зависимый допуск по ГОСТ Р 50056 – переменный допуск формы, расположения или координирующего размера, минимальное значение которого указывают на чертеже или в технических требованиях и который допускается превышать на величину, соответствующую отклонению действительного размера рассматриваемого и (или) базового элемента детали от *предела максимума* материала. Согласно ГОСТ 25346 предел максимума материала – термин, относящийся к тому из предельных размеров, которому соответствует наибольший объем материала, т.е. наибольшему предельному размеру вала d_{max} или наименьшему предельному размеру отверстия D_{min} .

Зависимыми могут назначаться следующие допуски:

– допуски формы:

допуск прямолинейности оси цилиндрической поверхности;

допуск плоскостности поверхности симметрии плоских элементов;

– допуски расположения (ориентации и месторасположения):

допуск перпендикулярности оси или плоскости симметрии относительно плоскости или оси;

допуск наклона оси или плоскости симметрии относительно плоскости или оси;

допуск соосности;

допуск симметричности;

допуск пересечения осей;

позиционный допуск оси или плоскости симметрии;

– допуски координирующих размеров:

допуск расстояния между плоскостью и осью или плоскостью симметрии элемента;

допуск расстояния между осями или плоскостями симметрии двух элементов.

Полное значение зависимого допуска

$$T_M = T_{min} + T_{доп}, \quad (2.10)$$

где T_{min} – минимальное значение зависимого допуска, указанное на чертеже, мм; $T_{доп}$ – допускаемое превышение минимального значения зависимого допуска, мм.

Зависимые допуски рекомендуется назначать, как правило, для тех элементов деталей, к которым предъявляются требования *собираемости в соединениях с гарантированным зазором*. Допуск T_{min} рассчитывают, исходя из наименьшего зазора соединения, а допускаемое превышение минимального значения зависимого допуска определяют следующим образом:

$$\text{для вала } T_{доп} = d_{max} - d_d; \text{ для отверстия } T_{доп} = D_d - D_{min}, \quad (2.11)$$

где d_d и D_d – действительные размеры соответственно вала и отверстия, мм.

Величина $T_{доп}$ может изменяться от нуля до максимального значения. Если вал имеет действительный размер d_{max} , а отверстие D_{min} , то

$$T_{доп} = 0; \quad T_M = T_{min}. \quad (2.12)$$

Если вал имеет действительный размер d_{min} , а отверстие D_{max} , то

$$\text{для вала } T_{доп} = d_{max} - d_d = Td; \text{ для отверстия } T_{доп} = D_{max} - D_{min} = TD, \quad (2.13)$$

где Td и TD – допуск размера соответственно вала и отверстия, мм.

В этом случае зависимый допуск имеет максимальное значение:

$$\text{для вала } T_M = T_{min} + Td; \text{ для отверстия } T_M = T_{min} + TD. \quad (2.14)$$

Если зависимый допуск связан с действительными размерами рассматриваемого и базового элементов, то

$$T_{доп} = T_{доп.р} + T_{доп.б}, \quad (2.15)$$

где $T_{доп.р}$ и $T_{доп.б}$ – допускаемые превышения минимального значения зависимого допуска, зависящие от действительных размеров соответственно рассматриваемого и базового элементов детали.

Примерами применения зависимых допусков могут служить: позиционный допуск расположения сквозных отверстий под крепеж (рис. 2.17, а); допуски соосности ступенчатых втулок и валов (рис. 2.17, б, в), собираемых с зазором; допуск симметричности расположения пазов, например, шпоночных (рис. 2.17, г); допуск перпендикулярности осей отверстий и торцовых поверхностей корпусных деталей под стаканы, заглушки, крышки.

Зависимые допуски расположения более экономичны и выгодны для производства, чем независимые, так как они расширяют величину допуска и позволяют использовать менее точные и трудоемкие технологии изготовления деталей, а также снизить потери от брака. Контроль деталей с зависимыми допусками расположения осуществляют, как правило, с помощью комплексных проходных калибров.

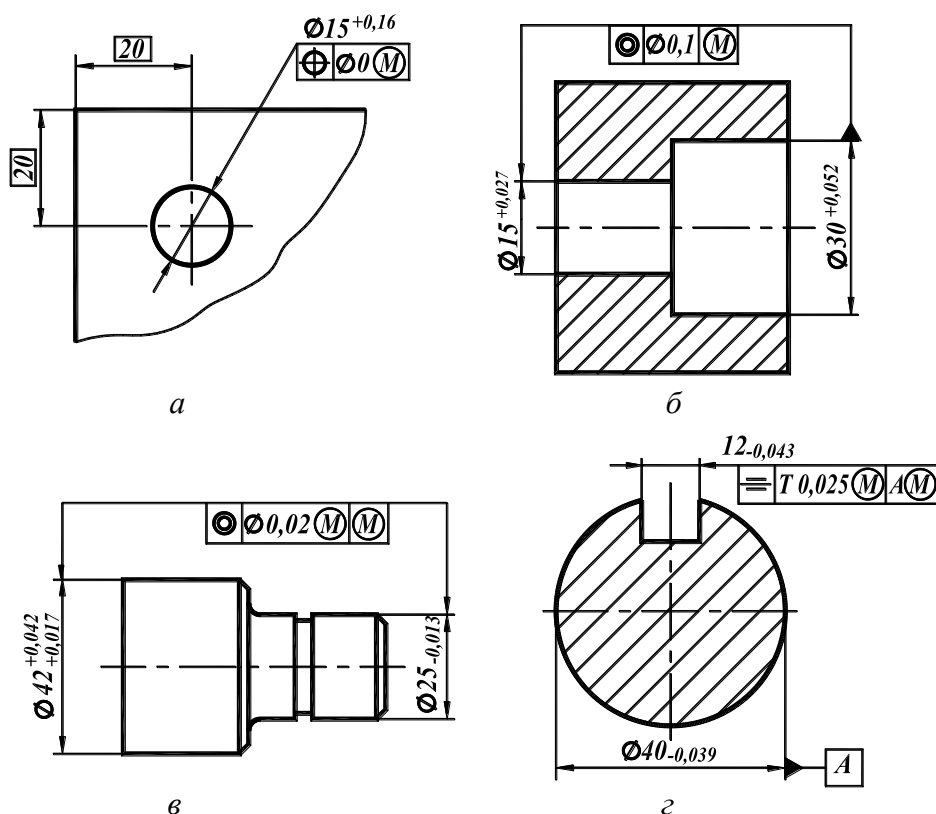


Рис. 2.17. Примеры назначения зависимых допусков расположения:

а– позиционного допуски отверстий под крепеж; *б, в*– соосности поверхностей ступенчатых втулки и вала; *г*– симметричности шпоночного паза относительно оси вала

Зависимый допуск формы или расположения обозначают на чертеже знаком $\textcircled{M}$, который размещают согласно ГОСТ 2.308:

- после числового значения допуска (см. рис. 2.17, *а*), если зависимый допуск связан с действительными размерами рассматриваемого элемента;
- после буквенного обозначения базы или без буквенного обозначения в третьем поле рамки (см. рис. 2.17, *б*), если зависимый допуск связан с действительными размерами базового элемента;
- после числового значения допуска и буквенного обозначения базы (см.рис. 2.17, *г*) или без буквенного обозначения (см. рис. 2.17, *в*), если зависимый допуск связан с действительными размерами рассматриваемого и базового элементов.

С 01.01.2011 г. введен в действие ГОСТ Р 53090-2008 (ИСО 2692:2006) «ОНВ. Характеристики изделий геометрические. Требования максимума материала, минимума материала и взаимодействия». Этот ГОСТ частично дублирует действующий с 01.01.1994 г. ГОСТ Р 50056 «ОНВ. Зависимые допуски формы, расположения и координирующих размеров. Основные положения по применению» в части нормирования и указания на чертежах требований максимума материала (MMR–maximum material requirement) в случаях необходимости обеспечения собираемости деталей в соединениях с гарантированным за-

зором. Требования минимума материала (LMR –least material requirement), обусловленные необходимостью ограничения минимальной толщины стенки деталей, ранее не предъявлялись.

Требования MMR и LMR позволяют объединить ограничения, накладываемые допуском размера и геометрическим допуском в одно комплексное требование, более точно соответствующее предполагаемому назначению деталей. Это комплексное требование позволяет без ущерба для выполнения деталью своих функций увеличить геометрический допуск нормируемого (рассматриваемого) элемента детали, если действительный размер элемента не достигает предельного значения, определяемого установленным допуском размера.

Требование максимума материала (как и зависимый допуск по ГОСТ Р 50056) указывают на чертежах знаком $\textcircled{M}$ требование минимума материала – знаком $\textcircled{L}$, помещаемыми в рамку для указания геометрического допуска нормируемого элемента после численного значения этого допуска или (и) условного обозначения базы.

Расчет значений геометрических допусков T_M , обеспечивающих требование максимума материала, можно выполнить аналогично расчету зависимых допусков (см. с. 82 - 83).

Обозначив аналогично зависимым допускам T_M , геометрические допуски, к которым предъявлены требования минимума материала – T_L , можно записать

$$T_L = T_{min} + T_{доп}, \quad (2.16)$$

где T_{min} – минимальное значение геометрического допуска, указанное на чертеже, мм; $T_{доп}$ – допускаемое превышение минимального значения геометрического допуска, мм.

Значения $T_{доп}$ определяют следующим образом:

$$\text{для вала } T_{доп} = d_d - d_{min}; \text{ для отверстия } T_{доп} = D_{max} - D_d. \quad (2.17)$$

Величина $T_{доп}$ может изменяться от нуля до максимального значения. Если вал имеет действительный размер d_{min} , а отверстие D_{max} , то

$$T_{доп} = 0; T_L = T_{min}. \quad (2.18)$$

Если вал имеет действительный размер d_{max} , а отверстие D_{min} , то

$$\text{для вала } T_{доп} = Td; \text{ для отверстия } T_{доп} = TD. \quad (2.19)$$

В этом случае геометрический допуск имеет максимальное значение:

$$\text{для вала } T_L = T_{min} + Td; \text{ для отверстия } T_L = T_{min} + TD. \quad (2.20)$$

Если геометрический допуск связан с действительными размерами нормируемого и базового элементов, то значение $T_{доп}$ находят по зависимости (2.15).

Примерами применения требований максимума материала являются примеры значения зависимых допусков по ГОСТ Р 50056 на рис. 2.17. Пример применения требования минимума материала приведен на рис. 2.18, а.

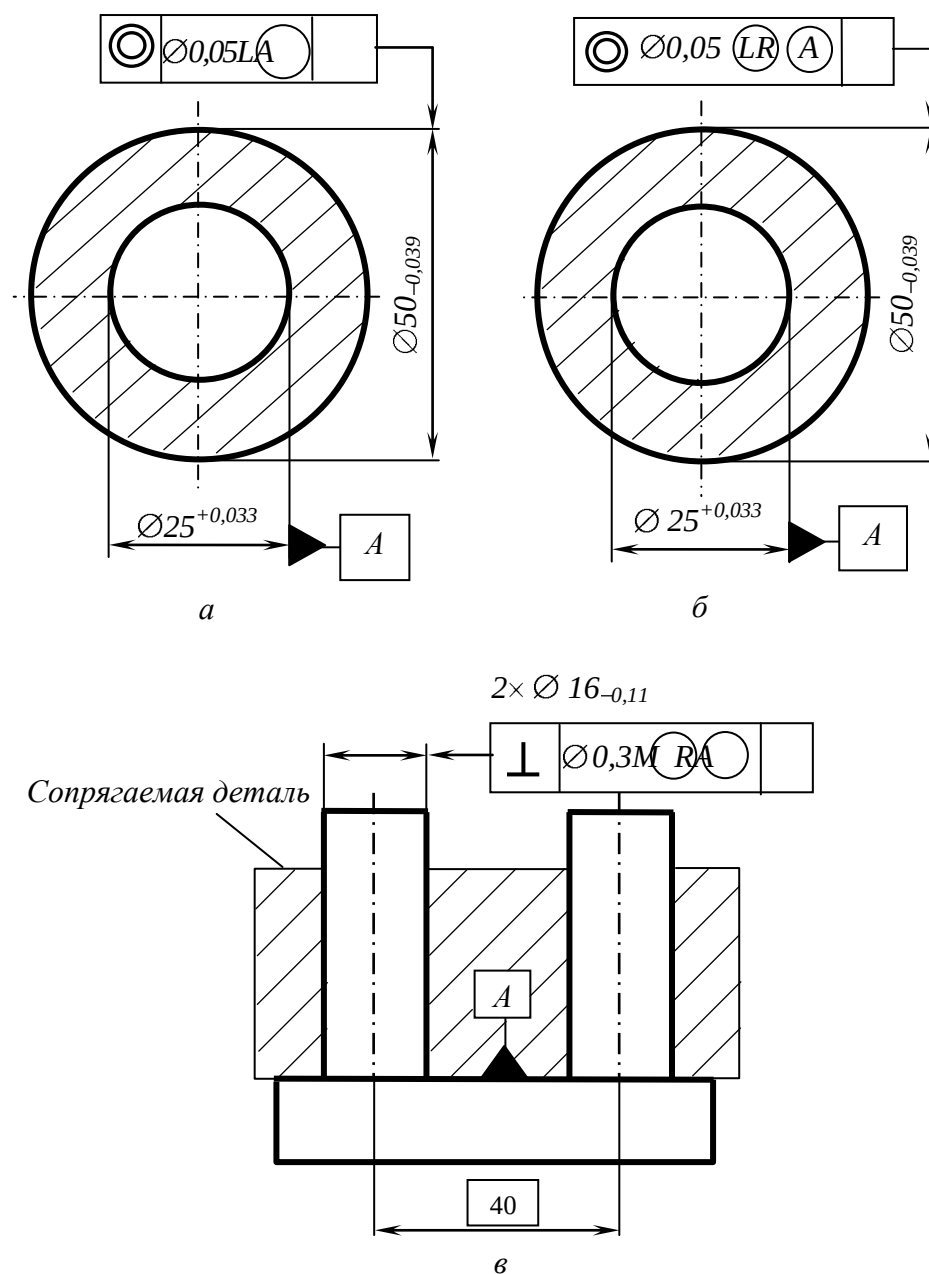


Рис. 2.18. Примеры установления требований: *а* – минимума материала; *б* – минимума материала и взаимодействия; *в* – максимума материала и взаимодействия

Как требования максимума материала, так и требования минимума материала могут быть дополнены требованием взаимодействия (RPR—reciprocity requirement), позволяющим увеличить допуск размера элемента детали, если действительное геометрическое отклонение (отклонение формы, ориентации или месторасположения) нормируемого элемента не использует полностью ограничений, накладываемых требованиями MMR или LMR. Пример применения требований минимума материала и взаимодействия допуска размера $\varnothing 50_{-0,039}$ и допуска концентричности приведен на рис. 2.18, б, а пример применения требования максимума материала и взаимодействия размера $16_{-0,11}$ и допуска перпендикулярности – на рис. 2.18, в.

Пример 2.2

Задан зависимый допуск соосности отверстия $\varnothing 16^{+0,18}$ относительно наружной поверхности $\varnothing 40_{-0,25}$ втулки, показанной на рис. 2.19.

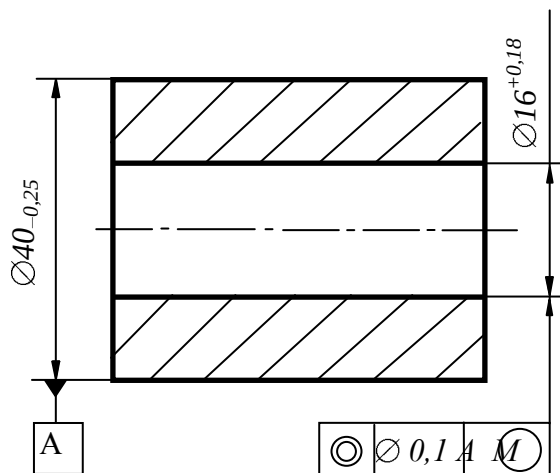


Рис. 2.19. Обозначение зависимого допуска соосности на чертеже

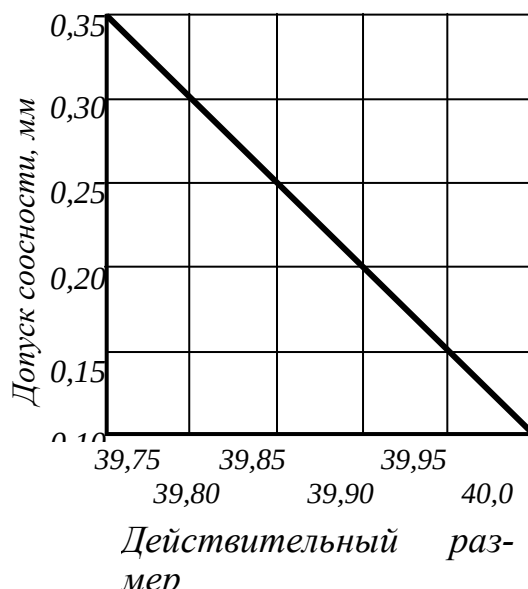


Рис. 2.20. График зависимости допуска соосности от действительного размера поверхности $\varnothing 40$

Из условного обозначения видно, что допуск соосности зависит от действительного размера элемента, ось которого является базовой осью, т. е. поверхности $\varnothing 40_{-0,25}$.

Минимальное значение допуска соосности, указанное на чертеже ($T_{min} = 0,1$ мм), соответствует пределу максимума материала наружной поверхности, в данном случае размеру $d_d = d_{max} = 40$ мм. Т.е. при $d_d = d_{max} = 40$ мм

$$T_M = T_{min} = 0,1 \text{ мм.}$$

Если наружная поверхность будет иметь действительный размер $d_d = d_{min}$, допуск соосности можно увеличить:

$$T_M = T_{min} + T_{доп} = 0,1 + 0,25 = 0,35 \text{ мм,}$$

где $T_{доп} = d_{max} - d_{min} = 40,0 - 39,75 = 0,25$ мм.

Промежуточные значения размера d_d и соответствующие им значения допуска T_M приведены в табл. 2.9, а на рис. 2.20 показан график зависимости допуска соосности от действительного размера наружной поверхности втулки.

2.9. Значения зависимого допуска соосности, мм (см. рис. 2.20)

Параметр	Расчетная точка					
	1	2	3	4	5	6
Действительный размер наружной поверхности d_d	39,75	39,80	39,85	39,90	39,95	40,0
Допускаемое превышение зависимого Допуска $T_{доп}$	0,25	0,20	0,15	0,10	0,05	0
Допуск соосности T_M	0,35	0,30	0,25	0,20	0,15	0,10

2.6.3. Шероховатость поверхностей

Шероховатостью поверхности по ГОСТ 25142 «ОНВ. Шероховатость поверхности. Термины и определения» называют совокупность неровностей поверхности с относительно малыми шагами, выделенную с помощью базовой длины.

По ГОСТ 2789 «Шероховатость поверхности. Параметры и характеристики» шероховатость поверхности количественно оценивается независимо от материала детали и способа ее изготовления следующими параметрами: средним арифметическим отклонением профиля Ra , высотой неровностей профиля по десяти точкам Rz , наибольшей высотой неровностей профиля $Rmax$, средним шагом неровностей профиля Sm , средним шагом местных выступов профиля S , относительной опорной длиной профиля tr и другими параметрами. Определение этих параметров осуществляют на участке поверхности, равном или кратном базовой длине ℓ , которая зависит от предполагаемой шероховатости поверхности (табл. 2.10).

2.10. Значения параметров шероховатости Ra и Rz и базовой длины (ГОСТ 2789)

Ra , мкм		Rz , мкм	Рекомендуемая базовая длина, мм
предпочтительные значения	значения		
50	80; 63; 40	360; 250; 200; 160	8
25	40; 32; 20	160; 125; 100; 80	8
12,5	20; 16; 10	80; 63; 50; 40	8
6,3	10; 8; 5	40; 32; 25; 20	2,5
3,2	5; 4; 2,5	20; 16; 12,5; 10	2,5
1,6	2,5; 1,2; 1,25	10; 8; 6,3	0,8
0,8	1,25; 1; 0,63	6,3; 5; 4; 3,2	0,8
0,4	0,63; 0,5; 0,32	3,2; 2,5; 2; 1,6	0,8
0,2	0,32; 0,25; 0,16	1,6; 1,25; 1; 0,8	0,25
0,1	0,16; 0,125; 0,08	0,8; 0,63; 0,5; 0,4	0,25
0,05	0,08; 0,063; 0,04	0,4; 0,32; 0,25; 0,2	0,25
0,025	0,04; 0,032; 0,02	0,2; 0,16; 0,125; 0,1	0,25
—	0,01; 0,008	0,5; 0,04; 0,032	0,08

Базовой длиной ℓ называется длина базовой линии, используемая для выделения неровностей, характеризующих шероховатость поверхности.

Базовой линией называется линия (поверхность) заданной геометрической формы, определенным образом проведенная относительно профиля (поверхности) и служащая для оценки геометрических параметров поверхности.

По ГОСТ 2789 определение числовых значений параметров шероховатости поверхностей производят от единой базы, за которую принята средняя линия профиля (такая система определения параметров шероховатости называется системой средней линии).

Средней линией профиля m называется базовая линия, имеющая форму номинального профиля и проведенная так, чтобы в пределах базовой длины среднее квадратическое отклонение профиля до этой линии было минимальным

Параметры шероховатости определяют по схеме, показанной на рис. 2.21.

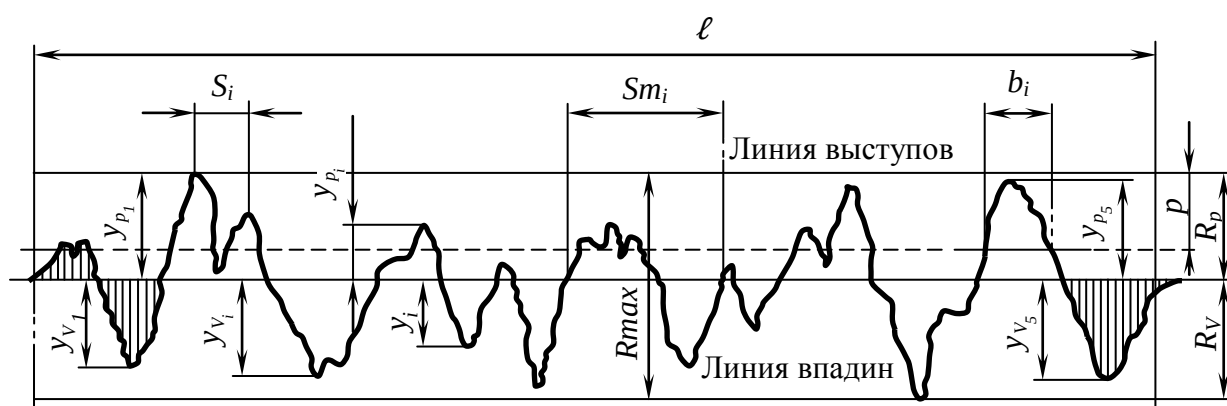


Рис. 2.21. Профилограмма поверхности

Среднее арифметическое отклонение профиля Ra —среднее арифметическое абсолютных значений отклонений профиля в пределах базовой длины

$$Ra = \frac{1}{\ell} \int_0^{\ell} |y(x)| \cdot dx \approx \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i, \quad (2.21)$$

где y_i — расстояние между любой точкой профиля и средней линией (отклонения профиля); n —число выбранных точек профиля на базовой длине.

Высота неровностей профиля по десяти точкам Rz — сумма средних абсолютных значений высот пяти наибольших выступов профиля y_{pi} и глубин пяти наибольших впадин профиля y_{vi} в пределах базовой длины

$$Rz = \frac{1}{5} \left(\sum_{i=1}^5 |Y_{pi}| + \sum_{i=1}^5 |y_{vi}| \right). \quad (2.22)$$

Наибольшая высота профиля $Rmax$ — расстояние между линией выступов профиля и линией впадин профиля (см. рис. 2.21) в пределах базовой длины.

Средний шаг неровностей профиля S_m – среднее значение шага неровностей профиля в пределах базовой длины

$$S_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_{m_i}, \quad (2.23)$$

где S_{m_i} – шаг неровностей профиля, измеренный по средней линии; n – число шагов по средней линии.

Средний шаг местных выступов профиля S – среднее значение шага местных выступов профиля в пределах базовой длины

$$S = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_i, \quad (2.24)$$

где S_i – шаг неровностей профиля, измеренный по вершинам; n – число шагов по вершинам.

Относительная опорная длина профиля tp – отношение опорной длины профиля к базовой длине:

$$tp = \frac{\eta p}{\ell}, \quad (2.25)$$

где ηp – опорная длина профиля, $\eta p = \sum b_i$ – сумма отрезков в пределах базовой длины, отсекаемых на заданном уровне p в материале профиля линией, эквидистантной средней линии; p – уровень сечения профиля (расстояние между линией выступов профиля и линией, пересекающей профиль эквидистантно линии выступов профиля).

Уровень сечения профиля выбирают из ряда 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 % от R_{max} .

Единица измерения параметров R_a , R_z , R_{max} – микрометр, S_m , S – миллиметр, tp – процент.

Шероховатость поверхности оказывает существенное влияние на эксплуатационные свойства деталей и их соединений, а следовательно, изделия в целом. От шероховатости зависят: износостойкость, контактная жесткость, коррозионная стойкость, усталостная прочность деталей, плотность и прочность соединений и др.

Указание шероховатости поверхностей на чертежах

При указании шероховатости поверхностей деталей на чертежах используют условные знаки, приведенные в табл. 2.11 и записи, структура которых должна соответствовать рис. 2.22.

2.11. Условные знаки для обозначения шероховатости поверхностей (ГОСТ 2.309)

Условные знаки	Область применения условного знака
	Вид обработки конструктором не установлен
	Поверхность обрабатывается удалением слоя материала (например, точением, фрезерованием, сверлением)
	Поверхность обрабатывается без удаления слоя материала (например, литьем, штамповкой)
	Поверхность не обрабатывается по данному чертежу

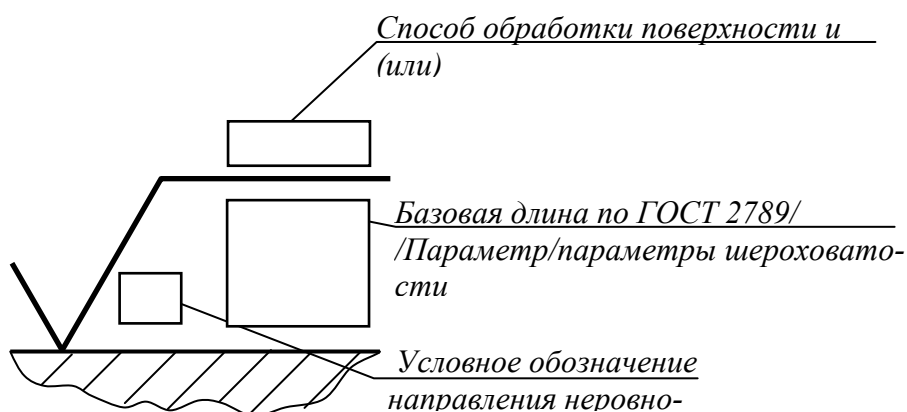


Рис. 2.22. Структура условного обозначения шероховатости поверхностей на чертежах

В примере на рис. 2.23 значения параметров шероховатости нормируемой поверхности должны находиться в пределах: $Ra \leq 0,1$ мкм; $0,04 \leq Sm \leq 0,063$ мм; $50 \leq t_{50} \leq 70$ %. Значение параметра Ra определяется на базовой длине, соответствующей табл. 2.10, параметра Sm – на базовой длине 0,8 мм, параметра tp – на базовой длине 0,25 мм.

Допускается указание шероховатости поверхностей в технических требованиях (рис. 2.24).

В условном обозначении шероховатости поверхности ГОСТ 2789 предусматривает возможность указания направления шероховатостей знаками, соответствующими табл. 2.12.

Размещение условного обозначения шероховатости поверхностей должно соответствовать ГОСТ 2.307.

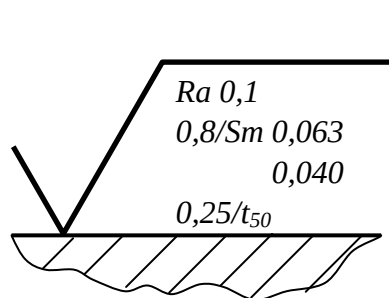
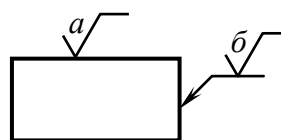


Рис. 2.23. Пример условного обозначения шероховатости поверхности



$$a = \sqrt{\frac{\text{Полировать}}{M 0,8/Ra 0,4}}$$

$$b = \sqrt{\frac{Ra 0,8}{2,5/t_{50} 70 \pm 10}}$$

Рис. 2.24. Пример условного обозначения шероховатости поверхности в технических требованиях

2.12. Условные обозначения направления неровностей

Изображение	Вид направления неровностей	Условное обозначение	Изображение	Вид направления неровностей	Условное обозначение
	Параллельное	$\sqrt{=}$		Кругообразное	$\sqrt{C}$
	Перпендикулярное	$\sqrt{\perp}$		Радиальное	$\sqrt{R}$
	Перекрещивающееся	$\sqrt{X}$		Точечное	$\sqrt{P}$
	Произвольное	$\sqrt{M}$			

Нормирование шероховатости поверхностей

Шероховатость поверхностей нормируют, соблюдая требования ГОСТ 25142 и ГОСТ 2789.

Числовые значения параметров шероховатости назначают исходя из функционального назначения и конструктивных особенностей каждой отдельной поверхности и детали в целом. Шероховатость поверхностей в процессе сборки изделия и его эксплуатации может привести к дополнительным отклонениям размеров и формы поверхностей детали, соответствующему изменению расчетных значений натягов и зазоров, коэффициента трения и др. Поэтому определенные ограничения шероховатости связаны с допусками на линейные размеры и форму нормируемых поверхностей. Требования к шероховатости одной поверхности могут быть установлены одним параметром или несколькими, если это необходимо для обеспечения функционального назначения поверхности. Предпочтительным параметром шероховатости при ее нормировании и указании на чертежах является сред-

нее арифметическое отклонение профиля Ra . При назначении Ra следует учитывать приведенную ниже связь этого параметра шероховатости с допусками на линейный размер и отклонением формы нормируемой поверхности (табл. П.1.11).

При допуске формы TF , находящемся в пределах поля допуска на линейный размер IT [20],

$$Ra \leq 0,1 IT; \quad (2.26)$$

$$\text{при } TF = 0,6 IT \quad Ra \leq 0,05 IT; \quad (2.27)$$

$$\text{при } TF = 0,4 IT \quad Ra \leq 0,025 IT; \quad (2.28)$$

$$\text{при } TF = 0,25 IT \quad Ra \leq 0,012 IT. \quad (2.29)$$

В тех случаях, когда необходимо нормировать высоту неровностей по десяти точкам Rz , можно воспользоваться зависимостью

$$Rz = k \cdot Ra, \quad (2.30)$$

где $k = 4$ при $Ra = 80 \dots 2,5$ мкм, $k = 5$ при $Ra = 16 \dots 0,02$ мкм.

Полученные значения параметров шероховатости следует округлить до ближайших меньших предпочтительных значений (см. табл. 2.10). Пользоваться предпочтительными значениями при назначении требований шероховатости целесообразнее, так как это соответствует международной практике, а также обеспечивает наиболее эффективное применение образцов сравнения.

Для облегчения назначения числовых значений параметров шероховатости можно воспользоваться табл. П.1.11.

Пример 2.3

Назначить числовое значение среднего арифметического отклонения профиля Ra для вала $\varnothing 40h6(-0,025)$, исходя из условия обеспечения нормальной относительной геометрической точности поверхности детали.

Для нормальной относительной геометрической точности (допуск формы составляет 60 % от допуска на размер) $Ra \leq 0,05 IT$. Следовательно, допустимое значение среднего арифметического отклонения профиля $Ra = 0,05 \cdot 0,025 = 0,00125$ мм или 1,25 мкм. По табл. 2.10 принимаем ближайшее меньшее значение из предпочтительного ряда $Ra = 0,8$ мкм, которое и следует проставить на чертеже детали.

Пример 2.4

Необходимо выполнить чертеж стакана и назначить требования по точности линейных размеров, расположения, формы и шероховатости его поверхностей.

Стакан (рис. 2.25) является типовой деталью и служит для размещения двух подшипников качения нулевого класса точности № 304.

– Назначаем требования к точности линейных размеров стакана.

Так как в отверстие стакана устанавливают подшипник качения, то поле допуска отверстия выбирают в соответствии с посадками подшипников. Наружные кольца подшипников установлены по посадке $\varnothing 52H7/\ell 0$, следовательно, размер отверстия по ГОСТ 25347– $\varnothing 52H7^{(+0,03)}$.

При установке в корпус регулируемого в осевом направлении стакана рекомендуется использовать посадку $H7/js6$. Следовательно, размер наружной посадочной поверхности стакана – $\varnothing 67js6(\pm 0,0095)$.

Предельные отклонения диаметров сквозных отверстий под крепеж рекомендуется назначать по $H12 - H14$. В случае обработки отверстий по кондукторам рекомендуется использовать поле допуска $H12$. Следовательно, поле допуска $\varnothing 6,4-H12^{(+0,15)}$.

– Назначаем требования к точности взаимного расположения поверхностей стакана.

Отношение длины наружной цилиндрической поверхности стакана к ее диаметру больше 0,8. Поэтому основной двойной направляющей базой, определяющей радиальное и угловое положение стакана в корпусе, является наружная цилиндрическая поверхность $\varnothing 67\pm 0,0095$. Торце фланца «И» является основной опорной базой и определяет лишь осевое положение стакана.

Отклонения от соосности наружной и внутренней поверхностей стакана и от перпендикулярности торца «Ж» относительно оси отверстия являются причиной смещения и перекоса колец подшипника и соответствующего перекоса вала. Следовательно, эти отклонения должны быть ограничены. Отклонение от соосности цилиндрических поверхностей в диаметральном выражении рекомендуется принимать в пределах $TPC \approx 0,6 TD$ [9], а отклонение от перпендикулярности торца «Ж» относительно оси отверстия $\varnothing 52^{+0,03}$ косвенно устанавливает ГОСТ 3325.

Таким образом, допуск соосности в диаметральном выражении отверстия стакана относительно оси поверхности «Б» $TPC = 0,6 \cdot 0,019 \approx 0,011$ мм. Округляем полученное значение до 0,01 мм (см. табл. П.1.5). Допуск торцового биения поверхности «Ж» относительно оси отверстия, являющийся суммарным допуском плоскостности поверхности «Ж» и ее перпендикулярности относительно оси отверстия, $TCA = 0,046$ мм (табл. П.1.13).

При средне- и крупносерийном производстве крепежные отверстия, как в стакане, так и в корпусе, сверлят независимо друг от друга в приспособлениях или на станках с числовым программным управлением. В этом случае для обеспечения условия «собираемости» на чертежах стакана и корпуса задают позиционный допуск расположения

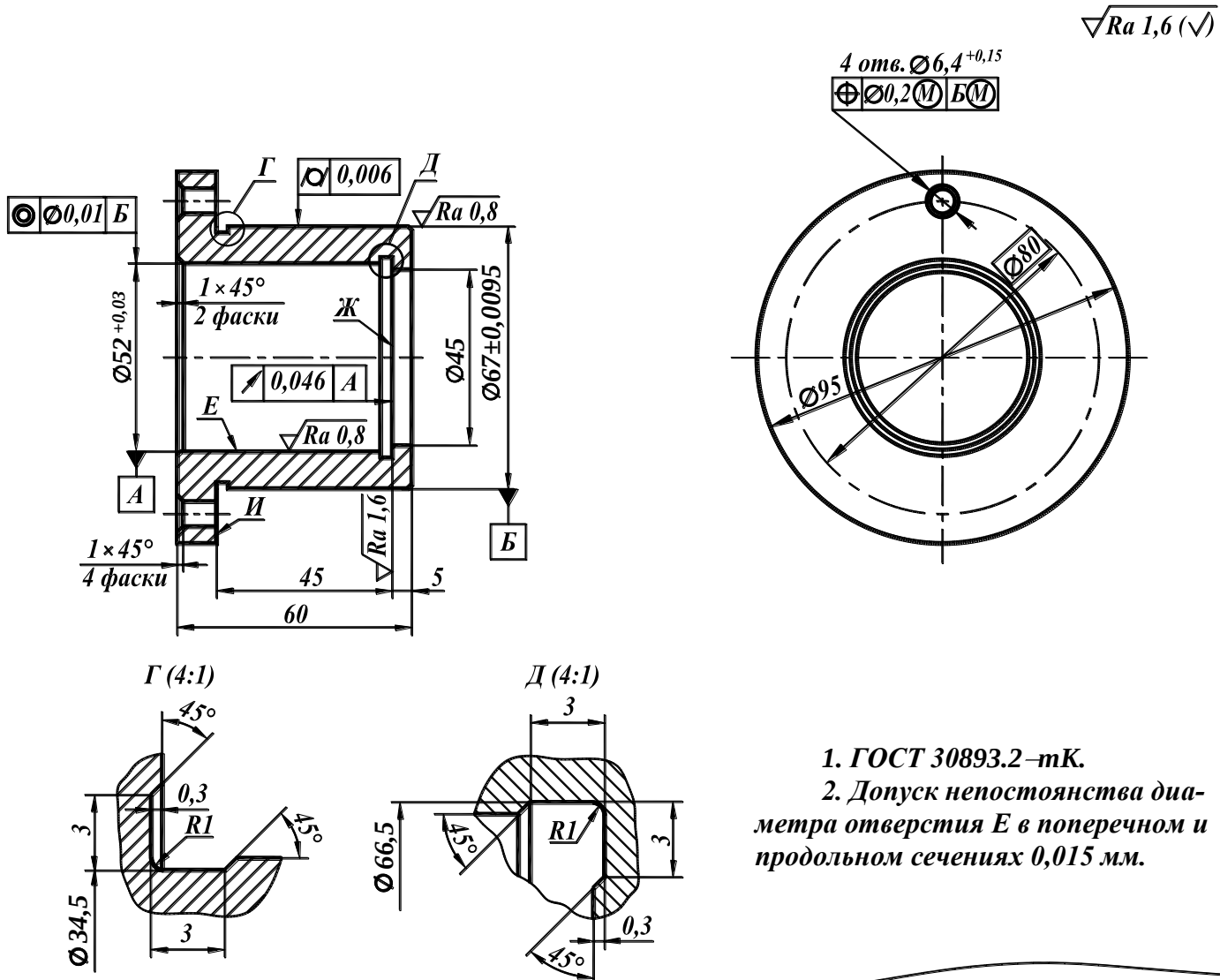


Рис. 2.25. Чертеж стакана

крепежных отверстий. Числовое значение допуска в диаметральном выражении равно 0,2 мм[5]. Допуск зависит от действительных размеров отверстий под крепеж $\varnothing 6,4^{+0,15}$ мм и наружной посадочной поверхности $\varnothing 67 \pm 0,0095$ мм.

– Назначаем требования к точности формы поверхностей стакана.

Отверстие стакана является посадочной поверхностью для подшипников качения, следовательно, оно должно иметь правильную геометрическую форму. По табл. П.1.15, в соответствии с ГОСТ 3325, для подшипников нулевого класса точности отклонения формы посадочного отверстия $\varnothing 52$ мм ограничены допусками непостоянства диаметра в поперечном и продольном сечениях в пределах 0,015 мм.

Стаканы – детали нежесткие. Отклонения геометрической формы наружной поверхности стакана в совокупности с отклонениями формы отверстий корпусных деталей могут вызвать искажения геометрической формы посадочных отверстий стакана, поэтому на наружную поверхность стакана рекомендуется назначить допуск цилиндричности $TF \approx 0,3Td$, что соответствует нормальной относительной геометрической точности этой поверхности. Таким образом, допуск цилиндричности наружной поверхности стакана $TF = 0,3 \cdot 0,019 = 0,0057$ мм. Округляем полученное значение согласно базовому ряду отклонений формы и расположения (см. табл. П.1.5) до 0,006 мм.

Неуказанные на чертеже предельные отклонения линейных и угловых размеров, а также допуски формы и расположения назначаем по средним классам точности «*m*» и «*K*» в соответствии с ГОСТ 30893.1 и ГОСТ 30893.2 и указываем на чертеже общей записью в технических требованиях «Общие допуски по ГОСТ 30893.2–*mK*».

– Назначаем требования к шероховатости поверхностей стакана.

Шероховатость посадочных поверхностей под подшипники ограничиваем $Ra = 0,8 \dots 1,6$ мкм (табл. П.1.16), наружной посадочной поверхности стакана – $Ra = 0,8 \dots 1,6$ мкм (см. табл. П.1.11), остальных поверхностей – не более $Ra = 6,3$ мкм.

– Установленные требования к точности стакана проставляем на его чертеже (см. рис. 2.25).

2.7. Нормирование точности угловых размеров, конусов и конических соединений

Угловые размеры широко используют при конструктивном оформлении деталей и получении конических соединений.

Угловые размеры могут быть независимыми или зависимыми от других принятых линейных и угловых размеров. Для независимых угловых размеров ГОСТ 8908 «ОНВ. Нормальные углы и допуски углов» устанавливает три ряда нормальных углов:

Ряд 1: 0, 5 15, 20, 30, 45, 60, 90, 120°;

Ряд 2: 0°30', 1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 10, 40, 75°;

Ряд 3: $0^{\circ}15'$, $0^{\circ}45'$, $1^{\circ}30'$, $2^{\circ}30'$, 9, 12, 18, 22, 25, 35, 50, 55, 65, 70, 80, 85, 100, 110, 135, 150, 165, 180, 270, 360° .

При выборе угловых размеров предпочтение нужно отдавать ряду 1, затем – ряду 2.

Международная система единиц СИ, которая применяется в нашей стране как предпочтительная, предусматривает в качестве угловых единиц радиан и стерadian. Однако, в практике для измерения углов используют, как правило, внесистемные единицы, допущенные к применению наравне с единицами системы СИ: градус ($^{\circ}$), минута ($'$) и секунда ($''$) ($1 \text{ рад} = 360/2\pi \approx 57^{\circ}17'44''$; $1^{\circ} \approx 0,017453 \text{ рад}$).

Конус – обобщенный термин, под которым, в зависимости от конкретных условий понимают коническую поверхность, коническую деталь или конический элемент детали. В промышленности используют круговые конусы, т.е. детали или элементы деталей, представляющие собой поверхность вращения, образованную прямой, вращающейся относительно оси и пересекающей ее. Используют, как правило, усеченные конусы, т.е. конусы, пересеченные плоскостью, параллельной основанию.

Конусы имеют следующие основные параметры (рис. 2.26, а): диаметры большого D и малого d оснований конуса, длина конуса L , угол конуса α , угол уклона $\alpha/2$.

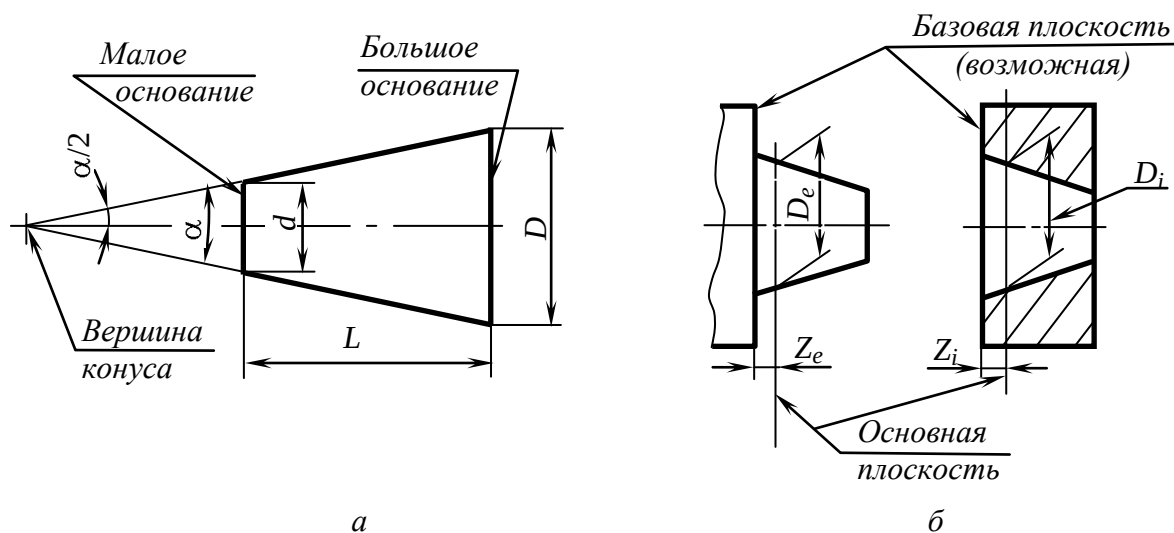


Рис. 2.26. Основные параметры конусов

Основная плоскость – плоскость поперечного сечения конуса, в которой задается номинальный диаметр конуса D_e , D_i (рис. 2.26, б).

Базовая плоскость – плоскость, перпендикулярная оси конуса и служащая для определения осевого положения основной плоскости или осевого положения данного конуса относительно сопрягаемого с ним конуса (см. рис. 2.26, б). За базовые плоскости принимают торцовые поверхности, буртики, уступы и др., исходя в основном из возможности измерения.

Базорасстояние конуса (Z_e – для наружного конуса и Z_i – для внутреннего) – расстояние между основной и базовой плоскостью конуса (см. рис. 2.26, б). При совпадении основной и базовой плоскостей $Z = 0$.

Конусность

$$C = (D-d) / L = 2 \operatorname{tg} \alpha / 2. \quad (2.31)$$

На чертежах конусность указывают в виде отношения $1 : x$, где x – расстояние между поперечными сечениями конуса (мм), разность диаметров которых равна 1 мм, например $C = 1 : 10$.

В ГОСТ Р 53440 «ОНВ. Характеристики изделий геометрические. Нормальные конусности и углы конусов» приведены ряды нормальных конусностей и углов конусов общего назначения. Этот ГОСТ распространяется также на углы некоторых конусов специального назначения (например, инструментальные конусы).

Для призматических деталей (рис. 2.27) уклон определяется по формуле

$$S = (H-h) / L = \operatorname{tg} \beta. \quad (2.32)$$

Для нормирования точности угловых размеров установлено (ГОСТ 8908) 17 степеней точности: 1, 2, ..., 17. Значения допусков по степеням точности образуют геометрическую прогрессию со знаменателем $\phi = 1,6$.

Реально высшей степенью точности, достигаемой в настоящее время в производственных условиях, является 4 – для наружных конусов (конусные пробки) и 5 – для внутренних конусов (конусные калибры – втулки). Степени 6 ... 8 используют для изделий высокой точности, например, инструментальных конусов; степени 9 ... 12 – для изделий нормальной точности, например, центров и центровых отверстий, и степени 16, 17 – для свободных размеров [18].

Допуск углового размера обозначают $AT1, AT2, \dots, AT17$ (angletolerance – угловой допуск).

Для каждой степени точности установлены: допуск угла AT_α (рис. 2.28), выраженный в микрорадианах; округленное значение допуска угла AT_α' в градусах, минутах и секундах; допуск угла AT_h (мкм), выраженный отрезком на перпендикуляре к меньшей стороне угла α на расстоянии L от вершины этого угла; допуск угла AT_D (мкм), выраженный допуском на разность диаметров в двух перпендикулярных к оси сечениях конуса на заданном расстоянии L между ними. Допуски AT_h назначают на конусы, имеющие конусность *более* $1 : 3$ (см. рис. 2.28, б). Для конусов с конусностью *не более* $1 : 3$ принимают $L_1 = L$ и назначают допуски AT_D , при этом $AT_D \approx AT_h$ (см. рис. 2.28, в).

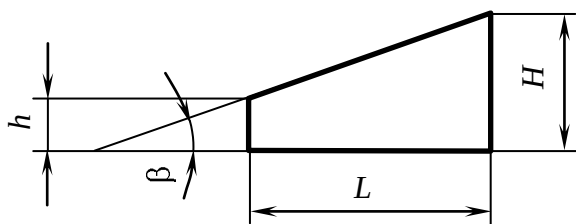
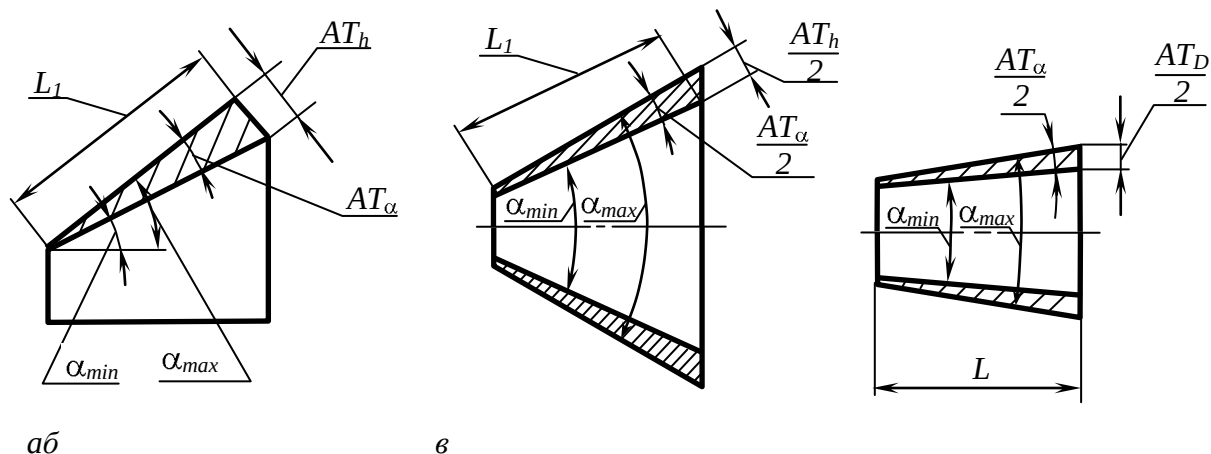


Рис. 2.27. Параметры призматической детали



а б

в

Рис. 2.28. Допуски углов: а – призматической детали; б – конуса при конусности $C > 1 : 3$; в – конуса при конусности $C \leq 1 : 3$

При нормировании требований к точности угла значение допуска задают в зависимости от значения длины меньшей стороны, образующей угол. У конусов допуск задают либо в зависимости от длины образующей (конусность более $1 : 3$), либо в зависимости от длины конуса (при конусности не более $1 : 3$).

При нормировании точности угловых размеров не используют понятие «основное отклонение»; ГОСТ 8908 предусмотрено, что допуски углов могут быть расположены «в плюс» ($+AT$), «в минус» ($-AT$) или симметрично ($\pm AT/2$) относительно номинального угла.

Установлено два способа нормирования точности конусов (ГОСТ 25307 «ОНВ. Система допусков и посадок для конических соединений»):

- задают единый допуск T_D на диаметр конуса в любом сечении в пределах длины конуса, который одновременно ограничивает допуски угла и формы конуса (рис. 2.29);

- задают отдельно: допуск диаметра в заданном сечении T_{DS} , допуск угла конуса AT_α , допуск круглости T_{FR} и допуск прямолинейности образующей T_{FL} .

Назначение допуска T_D диаметра в любом сечении рекомендуется для конусов, образующих посадки с фиксацией по конструктивным элементам или по заданному осевому расстоянию между базовыми плоскостями сопрягаемых конусов (см. ниже).

Раздельное нормирование параметров рекомендуется для конусов, образую-

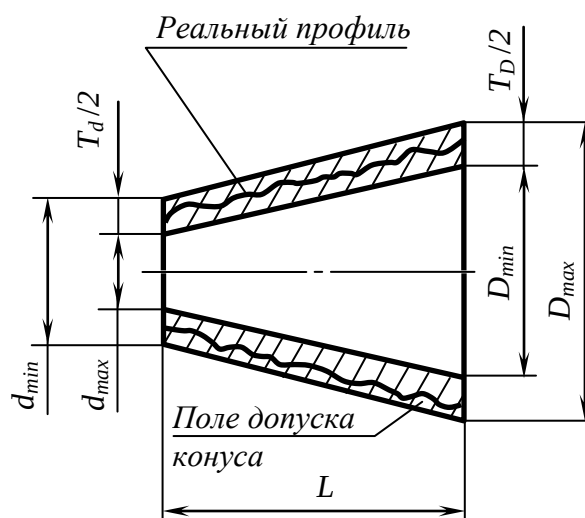


Рис. 2.29. Нормирование точности конуса допуском T_D в любом сечении конуса

щих посадки с фиксацией по заданному осевому смещению или усилию запрессовки (см. ниже), а также для несопрягаемых конусов высокой точности.

Этот способ нормирования точности конусов применяется в основном для конусов высокой точности.

Коническое соединение – это соединение наружного и внутреннего конусов, имеющих одинаковые номинальные углы конуса или одинаковые номинальные конусности. Такие соединения могут быть подвижными, неподвижными и плотными.

Подвижные конические соединения применяют для обеспечения возможности регулирования зазора между сопрягаемыми деталями. Неподвижные конические соединения позволяют регулировать силу трения, возникающую на контактирующих поверхностях сопрягаемых деталей за счет осевого смещения внутреннего или наружного конуса. Плотные конические соединения предназначены для обеспечения герметичности и разделения одного пространства от другого, например, в арматурных кранах.

Для получения различных посадок используют основные отклонения по ГОСТ 25347: $d, e, f, g, h, js, k, m, n, p, r, s, t, u, x, z$ – для наружных конусов и H, JS и N – для внутренних конусов. В сочетании с квалитетами 4 – 12 эти основные отклонения образуют поля допусков, применяемые для нормирования точности конических соединений.

Характер конических соединений обеспечивается фиксацией осевого положения сопрягаемых деталей при сборке, которая осуществляется четырьмя способами:

- совмещением конструктивных элементов соединяемых конусов (при сборке наружный и внутренний конус получают относительное перемещение до соприкосновения соответствующих базовых плоскостей) (рис. 2.30, *а*);
- установлением между базовыми плоскостями соединяемых конусов предписанного расстояния Z_{pf} (рис. 2.30, *б*);

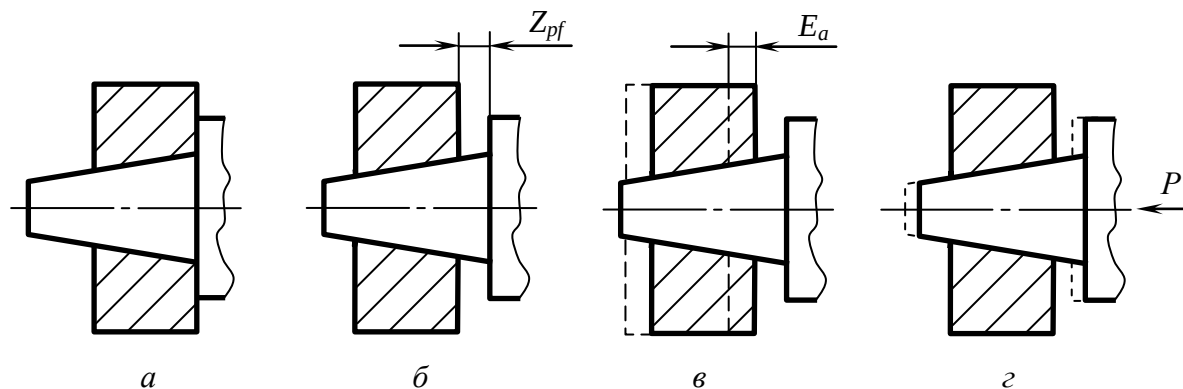


Рис. 2.30. Способы фиксации осевого положения соединяемых конусов:
а – совмещением конструктивных элементов; *б* – установлением предписанного базорасстояния Z_{pf} ; *в* – относительным смещением на величину E_a ;
г – приложением заданного усилия запрессовки

– осевым смещением сопрягаемых конусов на заданную величину E_a от их начального положения, за которое принимают положение в момент фактического соприкосновения наружного и внутреннего конусов (рис. 2.30, в);

– приложением заданного усилия запрессовки наружного конуса во внутренний (рис. 2.30, з).

Первые два способа обеспечивают получение посадок с зазором, натягом и переходных, третий – посадок с зазором и натягом, четвертый – только с натягом.

Контрольные вопросы

1. Что понимают под взаимозаменяемостью изделий?
2. Как осуществляют сборку изделий при полной, неполной и групповой взаимозаменяемости его частей?
3. Что такое точность изготовления изделия?
4. Какие размеры элемента называют номинальным, предельными, действительным?
5. Что такое допуск размера? Может ли он иметь отрицательное значение?
6. Какая система стандартов регламентирует точность гладких соединений и их деталей? На каких международных стандартах она базируется?
7. Как изменяется допуск размера при переходе от седьмого качества к восьмому?
8. Сколько основных отклонений валов и отверстий установлено в ЕСДП?
9. Какое отклонение называют основным? Для чего нужны основные отклонения?
10. Какие системы образования посадок предусматривает ЕСДП?
11. Как образуются посадки в системе отверстия и в системе вала?
12. Какая система образования посадок предпочтительна и почему?
13. Что понимают под термином «общий допуск»?
14. Какие классы точности установлены для нормирования общих допусков линейных и угловых размеров, формы и расположения поверхностей?
15. Назовите области существования номинальных, реальных, выявленных и присоединенных элементов деталей.
16. Какие геометрические элементы называют производными?
17. Какие условия должны выполняться «по умолчанию» для присоединенной плоскости и присоединенной окружности?
18. Чем отличаются понятия «база» и «базовый элемент»?
19. Какие группы геометрических допусков Вы знаете?

20. Какие уровни относительной геометрической точности Вы знаете, в каких случаях их используют?

21. В каких случаях устанавливают требования максимума и минимума материала и взаимодействия размерного и геометрического допусков? Как обозначают на чертеже эти требования?

22. Какие неровности поверхностей деталей называют шероховатостью?

23. Какие стандартные параметры шероховатости Вы знаете?

24. Сколько степеней точности предусматривает стандарт для нормирования точности углов? Как обозначается допуск угла?

25. Какие способы нормирования точности конусов Вы знаете? В каких случаях они применяются?

26. Какие способы фиксации используют для образования необходимых посадок в конических соединениях?

Глава 3. СТАНДАРТИЗАЦИЯ И НОРМИРОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ТИПОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ

3.1. Выбор и расчет посадок гладких соединений

3.1.1. Общие положения

Методы назначения посадок

Известны и используются при конструировании три метода назначения посадок [15, 22 и др.].

Метод аналогов заключается в том, что конструктор назначает посадку на основании опыта эксплуатации подобной по конструкции машины, где имеется аналогичное соединение. Метод приемлем только в случае полной тождественности условий работы соединения. Если это условие не соблюдается, то нельзя гарантировать, что назначенные посадки будут рациональными.

Метод подобия является развитием метода аналогов. Он возник в результате классификации деталей по конструктивным и эксплуатационным признакам и выпуска справочников с примерами практического использования посадок. Для использования этого метода нужно выявить аналогию конструктивных признаков и условий эксплуатации проектируемой сборочной единицы с признаками, указанными в справочниках.

Недостатком методов аналогов и подобия является сложность определения признаков однотипности и подобия.

Расчетный метод – это метод, при котором в соединениях деталей назначают посадки, обеспечивающие получение зазоров или натягов, определенных расчетным путем. Этот метод является наиболее объективным и точным методом назначения посадок, но и наиболее трудоемким. Последнее обстоятельство ограничивает область его применения наиболее ответственными, определяющими эксплуатационные характеристики изделия соединениями.

Для большинства соединений деталей, посадки назначают методами аналогов и подобия [13, 15 и др.].

В ряде случаев использовать для назначения посадок методы аналогов и подобия в «чистом» виде не удастся из-за отсутствия полной тождественности условий работы соединений проектируемого изделия аналогу. В этом случае для назначения посадок можно воспользоваться рекомендациями [15] (табл. 3.1).

3.1. Рекомендации по выбору посадок [15]

Отличие проектируемого изделия от аналога	Рекомендуемые изменения	
	зазоров	натягов
Меньшее допустимое напряжение материала	Уменьшены	Уменьшены
Частый демонтаж	–	Уменьшены
Ударная нагрузка	Уменьшены	Увеличены
При эксплуатации температура отверстия выше, чем температура вала (материалы деталей одинаковы)	Уменьшены	Увеличены
Температура вала выше, чем температура отверстия при тех же условиях	Увеличены	Уменьшены
Большая длина соединения	Увеличены	Уменьшены
Большие отклонения формы и расположения сопрягаемых поверхностей	Увеличены	Уменьшены
Возможны перекосы при сборке и деформации деталей	Увеличены	Уменьшены
Большие частоты вращения	Увеличены	Увеличены
Осевое перемещение	Увеличены	–
Большая вязкость смазочного масла	Увеличены	–
Более шероховатая поверхность	Уменьшены	Увеличены
Повышенная точность монтажа	Уменьшены	Уменьшены
Пониженная точность монтажа	Увеличены	Увеличены

Выбор системы посадок

ЕСДП предусматривает образование посадок в системе отверстия и в системе вала (см. п. 2.3.2). Выбор системы для той или иной посадки определяется конструктивными, технологическими и экономическими соображениями.

Точные отверстия часто обрабатывают дорогостоящими мерными режущими инструментами (зенкерами, развертками, протяжками и т.п.). Каждый из них применим для обработки отверстий только одного размера с определенным полем допуска. Валы, независимо от размера, обрабатывают в основном одними и теми же инструментами (резцами, шлифовальными кругами).

При использовании системы отверстия различных по предельным размерам отверстий будет меньше, чем при системе вала, и, следовательно, будет меньше номенклатура режущего инструмента, необходимого для обработки отверстий. Уменьшение номенклатуры дорогостоящего инструмента означает уменьшение стоимости обработки отверстий. В связи с этим система отверстия имеет предпочтительное применение.

Применение системы вала ограничено и может быть вызвано рядом обстоятельств.

– Изготовление вала из пруткового калиброванного материала без дополнительной механической обработки наружной цилиндрической поверхности. Примерами таких соединений являются соединения с призматическими шпонками, в некоторых случаях – штифтовые соединения.

– Применение системы отверстия усложняет технологию обработки вала. Например, (рис. 3.1, а) если для сопряжения деталей использовать систему отверстия, то вал при одном и том же номинальном размере 20 мм должен быть изготовлен ступенчатым, чтобы обеспечить требуемый характер сопряжений. При этом разница диаметров ступеней вала будет измеряться сотыми долями миллиметра (рис. 3.1, в). Технология изготовления такого вала является значительно более сложной, чем технология изготовления гладкого вала, что приводит к дополнительным материальным затратам в производстве изделия. Кроме того, использование в конструкциях изделий ступенчатых валов приводит к снижению прочностных характеристик изделий из-за концентрации напряжений в местах перехода с одного диаметра на другой, а также к снижению точностных характеристик изделий из-за неизбежного биения ступеней вала. В подобных случаях, когда один вал соединяется с несколькими деталями (отверстиями) по разным посадкам, более целесообразно

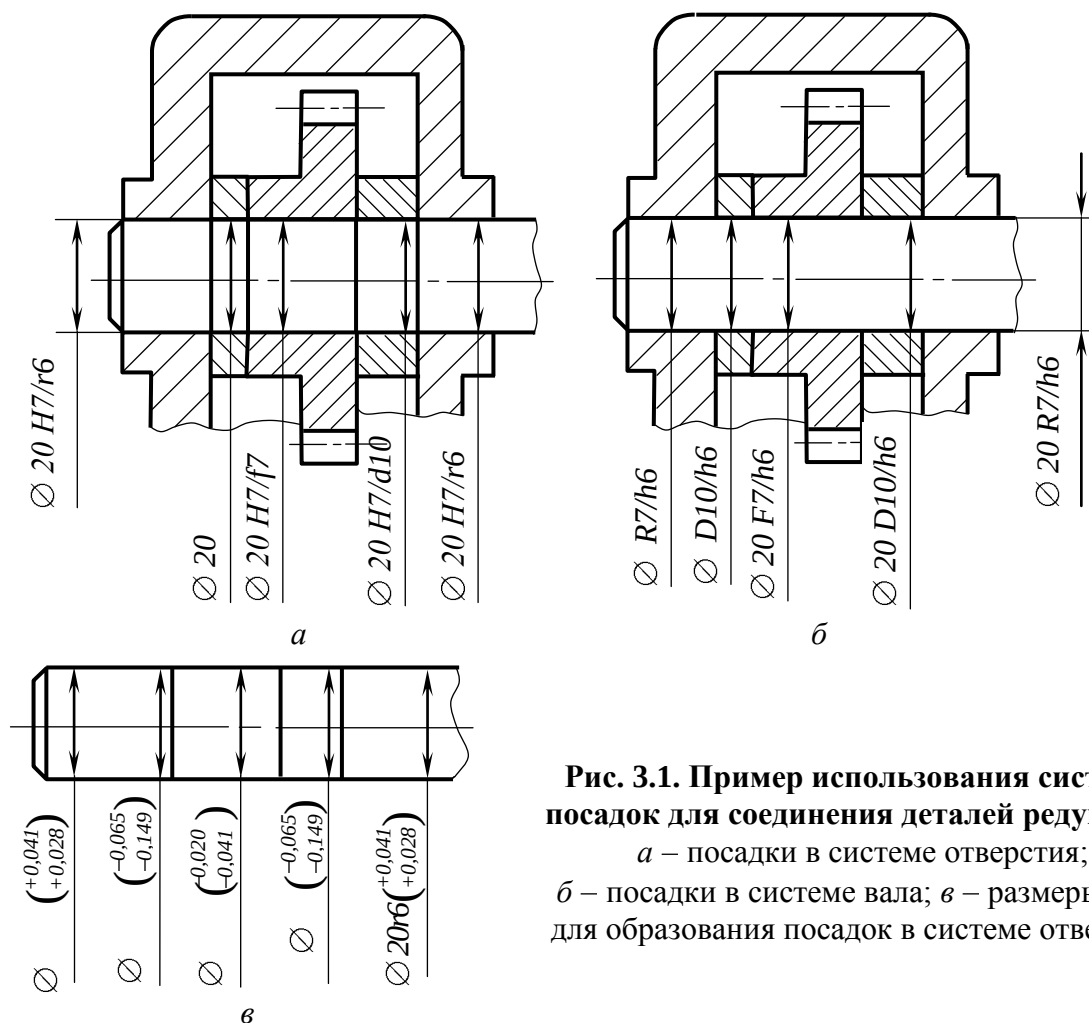


Рис. 3.1. Пример использования системы посадок для соединения деталей редуктора:

а – посадки в системе отверстия;

б – посадки в системе вала; *в* – размеры вала для образования посадок в системе отверстия

использовать систему вала (рис 3.1, б). В этом случае вал изготавливают гладким с диаметром $20h6$, а требуемые посадки обеспечивают за счет выполнения отверстий различных диаметров.

– Использование стандартных деталей и узлов, выполненных с определенными размерами. Например, наружное кольцо подшипника качения устанавливается в корпус (или другую сопрягаемую с ним деталь) в системе вала. Это обусловлено тем, что подшипники изготавливают на специализированных предприятиях с размерами, независимыми от посадок, по которым они устанавливаются в изделия, что значительно сокращает номенклатуру подшипников.

– Использование ранее изготовленных и находившихся в эксплуатации валов при выполнении ремонтных работ. В этом случае необходимые в соединении зазоры или натяги получают за счет выбора соответствующего размера отверстия сопрягаемой с валом детали.

Рекомендуемые ЕСДП к применению посадки в системе отверстия и в системе вала для размеров от 1 до 500 мм приведены соответственно в табл. 2.2 и 2.3. Среди них особо выделены (рамкой) предпочтительные посадки, рекомендуемые к применению в первую очередь. Использование предпочтительных посадок создает благоприятные условия для организации централизованного производства режущего и измерительного инструмента на специализированных предприятиях. Продукция этих предприятий в несколько раз дешевле продукции инструментальных цехов машиностроительных заводов.

При необходимости можно использовать посадки, не являющиеся предпочтительными, а относящиеся к группе рекомендуемых, например, посадку с зазором $H9/f8$ в подшипнике скольжения многоопорной конструкции коробки передач; посадку с натягом $H8/u8$ для запрессовки короткой втулки в ступицу свободно вращающегося зубчатого колеса.

В исключительных случаях для образования посадок используют дополнительные поля допусков, предусмотренные ГОСТ 25347. Чаще всего такая необходимость возникает при назначении посадок в соединениях со стандартными деталями, например, дополнительное поле допуска $R8$ используют в посадке $R8/h8$, применяемой для установки стандартного штифта с полем допуска $h8$; дополнительное поле допуска $N9$ используют в посадке $N9/h9$, применяемой для установки стандартной шпонки с полем допуска $h9$ в паз вала.

Кроме того, можно назначать комбинированные посадки, в которых поля допусков отверстия и вала выполнены в разных системах или (и) отличаются более чем на два ква-

литета, например, посадку $D9/k6$ для установки на вал распорной втулки между двумя подшипниками качения.

Выбор качества

Выбор качества размеров деталей, образующих гладкие соединения, зависит от точности изделия, определяемой его служебным назначением, и характера соединения (посадки), обеспечивающего надежную работу изделия в заданных условиях эксплуатации.

Размеры сопрягаемых элементов деталей общемашиностроительного применения, как правило, выполняют по качествам 4 – 11, выбрать которые можно используя рекомендации, приведенные ниже [3, 15, 18 и др.].

Качества 4 и 5 применяют сравнительно редко, в особо точных соединениях деталей, требующих высокой однородности зазоров или натягов (примеры: посадки шпиндельных и приборных подшипников в корпус или на вал, высокоточных зубчатых колес на валы, «плавающего» поршневого пальца в бобышки поршня и в шатунную головку).

Качества 6 и 7 используют для ответственных соединений деталей по посадкам с достаточно однородными зазорами или натягами, обеспечивающими механическую прочность деталей, точные перемещения, плавность хода, герметичность соединений и другие эксплуатационные требования (посадки подшипников нормальной точности в корпус и на вал, зубчатых колес высокой и нормальной точности на валы, подшипников скольжения, деталей гидравлической и пневматической аппаратуры, посадки в подвижных соединениях кривошипно-шатунных механизмов ответственных двигателей внутреннего сгорания и др.).

Качества 8 и 9 применяют для соединений деталей при сравнительно невысоких требованиях к однородности зазоров или натягов (посадки с зазорами, достаточными для компенсации погрешностей формы и расположения поверхностей деталей, переходные посадки пониженной точности, посадки с большими натягами).

Качество 10 применяют в посадках с зазором в тех же случаях, что и качество 9, если условия эксплуатации допускают некоторое увеличение колебания зазоров в соединениях.

Качества 11 и 12 используют для неответственных соединений деталей по посадкам, обеспечивающим большие зазоры и допускающим большие колебания этих зазоров (посадки крышек и фланцев в корпуса различных механизмов, в соединениях штампованных деталей и деталей из пластмасс и др.).

3.1.2. Выбор посадок методами аналогов и подоби

На первом этапе решения задачи выбора посадок в гладких соединениях деталей можно воспользоваться схемой, приведенной на рис. 3.2, позволяющей дать качественную оценку требуемых зазоров или натягов (например, соединение с большим зазором). Далее выбирают посадки, соответствующие этой оценке, используя приведенные ниже рекомендации.

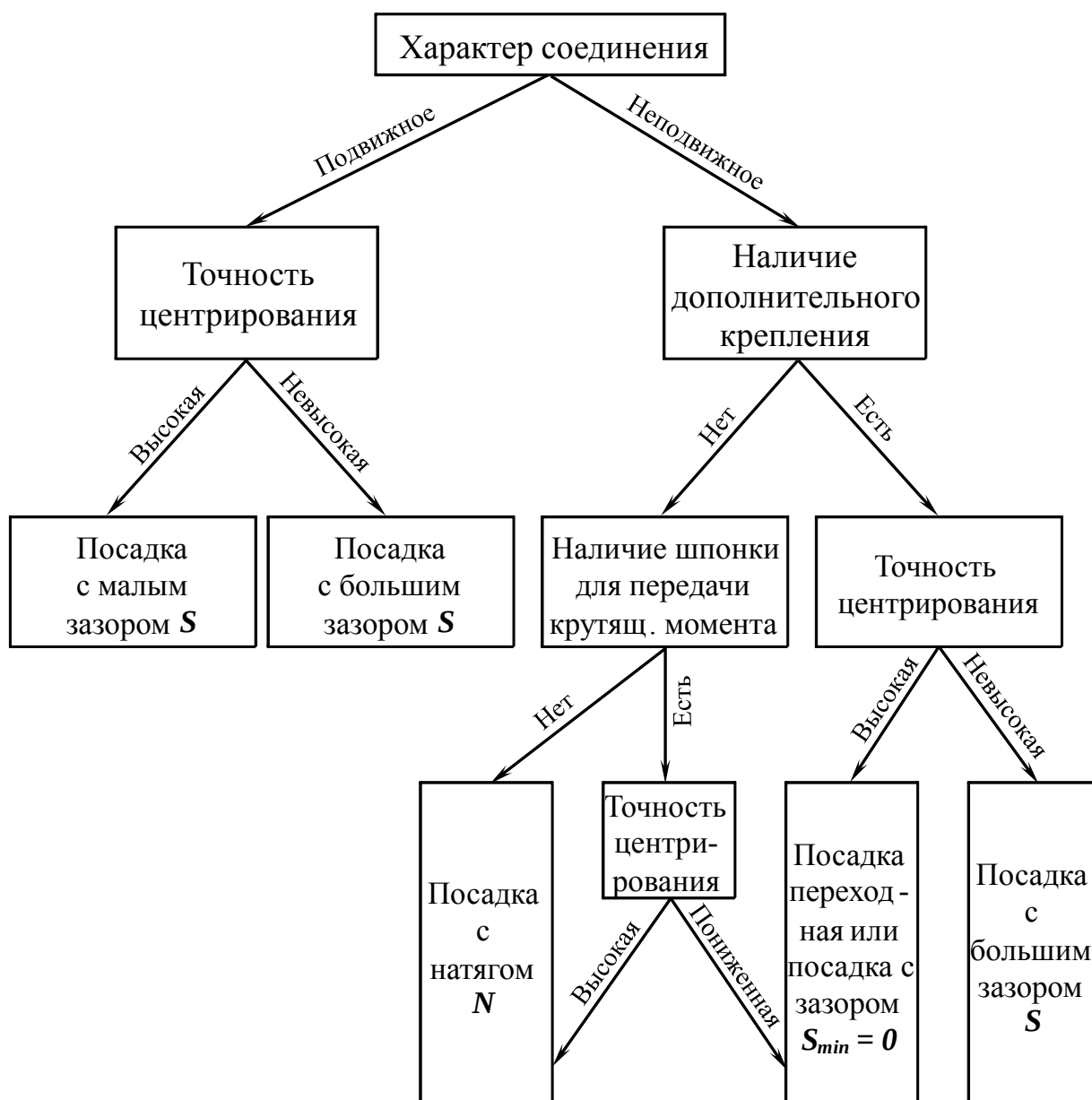


Рис. 3.2. Схема к выбору посадок методами аналогов и подоби

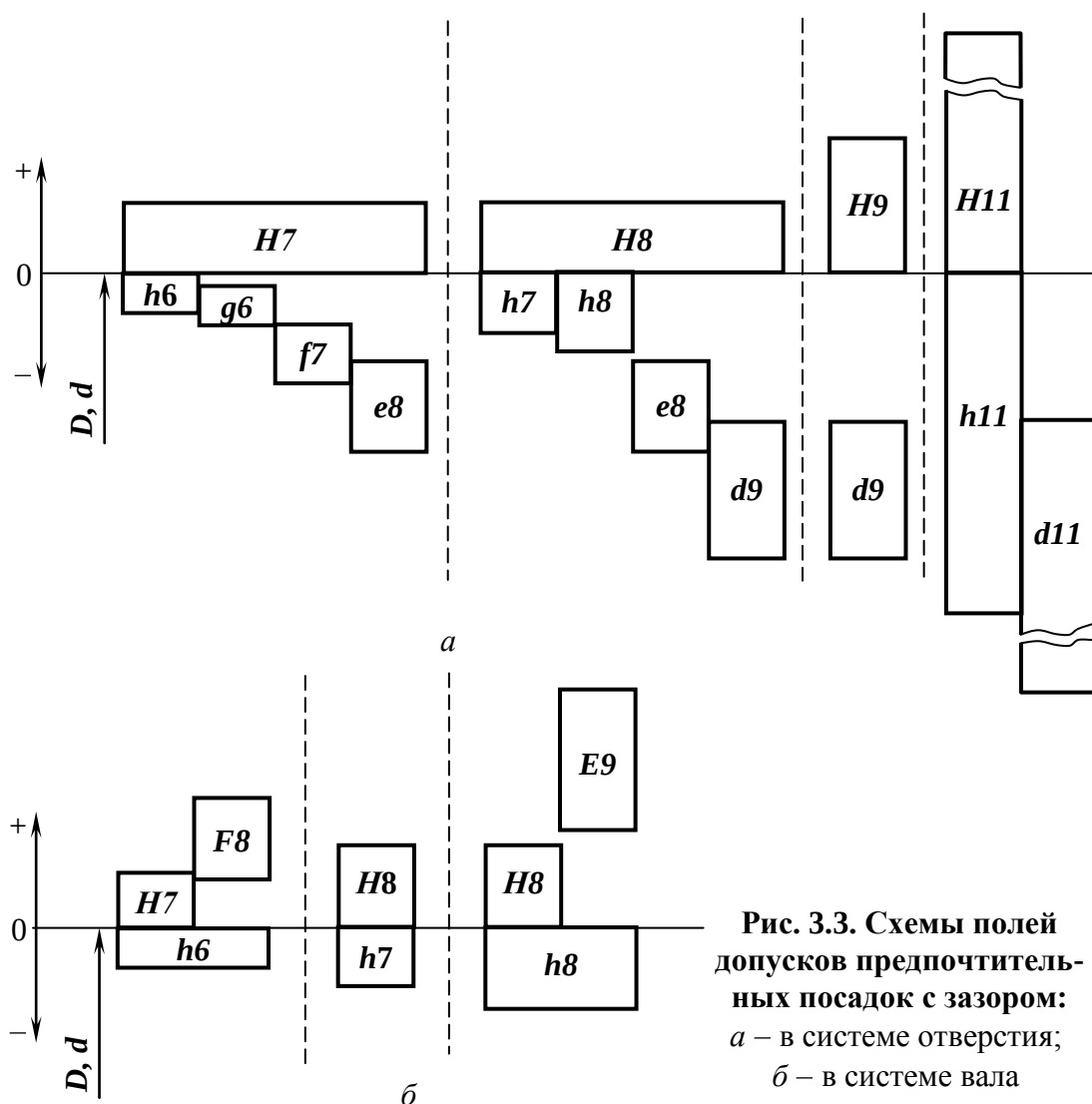
Посадки с зазором

Посадки с зазором применяют в двух случаях:

- в подвижных соединениях, в которых детали в процессе работы перемещаются в осевом направлении или вращаются относительно друг друга;
- в неподвижных легкоразъемных соединениях при низких требованиях к точности центрирования соединяемых деталей; неподвижность таких соединений достигается креплением деталей винтами, болтами и т.п.

В подвижных соединениях зазор S должен быть достаточным для свободного и легкого относительного поступательного перемещения или вращения деталей, размещения слоя смазки между деталями, компенсации температурных и силовых деформаций, отклонений формы и расположения поверхностей, погрешностей сборки соединяемых деталей.

При назначении посадок с зазором методами аналогов и подобия используют нижеприведенные рекомендации [3, 15, 18 и др.], выбирая к применению в первую очередь предпочтительные посадки (рис. 3.3).



Посадки H/h

Посадки H/h установлены во всех квалитетах (4 – 12), используемых для нормирования точности размеров сопрягаемых элементов деталей, и характеризуются гарантированным зазором, равным нулю ($S_{min} = 0$). Их применяют:

- для подвижных соединений деталей, требующих точного направления при медленном возвратно-поступательном движении, реже – для точного центрирования при медленном вращательном движении; для подвижных соединений, детали которых должны легко перемещаться или проворачиваться относительно друг друга при настройке, регулировке, затяжке в рабочее положение и т.п.;
- для неподвижных разборных соединений, в которых относительная неподвижность деталей обеспечивается креплением винтами, болтами и др.

Посадки H5/h4, H6/h5 используют для точного центрирования соединяемых деталей, например, для соединения пиноли с корпусом задней бабки токарного станка, установки измерительных зубчатых колес на шпинделях зубоизмерительных приборов.

Посадки H7/h6 используют при высоких требованиях к точности центрирования и направления. Их иногда применяют для подвижных соединений с короткими рабочими ходами с целью повышения точности направления вместо посадок с гарантированным зазором. Эти посадки используют, например, для установки сменных шестерен на валах металлорежущих станков, корпусов подшипников качения, стаканов, поршней в цилиндрах пневматических инструментов, регулируемых установочных элементов приспособлений.

Посадки H8/h7 используют при несколько сниженных, по сравнению с предыдущими посадками, требованиях к точности центрирования и направления и при большой длине соединения, например, для соединения сменных измерительных наконечников со стержнем прибора. Эти посадки обеспечивают большую легкость сборки и регулирования узла.

Посадки H8/h8, H8/h9, H9/h8, H9/h9 применяют в случае невысоких требований к соосности при небольших и «спокойных» нагрузках для облегчения сборки и разборки, для легкорегулируемых деталей. Эти посадки широко применяют для соединения неподвижно закрепляемых деталей, например: центрирующих частей машин, используемых в качестве корпусов подшипников, шкивов, муфт, зубчатых колес и других деталей с валами при передаче крутящего момента шпонкой; осей в корпусах, кронштейнах, вилках; фланцевых соединений; поршней на штоках пневмо- и гидроцилиндров, а также в подвижных соединениях – при медленных или редких вращательных и поступательных перемещениях.

Посадки $H10/h9$, $H10/h10$ используют вместо посадки $H9/h9$, если условия работы позволяют снизить точность соединения.

Посадки $H11/h11$, $H12/h12$ применяют для неподвижных соединений низкой точности, например, для соединений деталей, подлежащих клепке, сварке и пайке и др. В подвижных соединениях эти посадки применяют, например, для неответственных шарниров и роликов, вращающихся на осях, а также для соединений, в которых одна деталь перемещается относительно другой при регулировке или затяжке.

Посадки H/g (G/h)

Посадки H/g (G/h) установлены в точных квалитетах 4–7 (точность изготовления валов – 4–6 квалитеты, отверстий – 5–7 квалитеты) и характеризуются минимальными гарантированными зазорами. Их используют в точных подвижных соединениях при высоких требованиях к плавности работы и (или) герметичности соединений, работающих при небольшой скорости движения и малых нагрузках; при реверсивных движениях во избежание ударов; для точного направления при коротких рабочих ходах; для легкой установки и точного центрирования сменных деталей.

Посадки $H5/g4$ ($G5/h4$) и $H6/g5$ ($G6/h5$), как дорогостоящие, применяют достаточно редко в особо точных механизмах, например, в плунжерных и золотниковых парах, подшипниках скольжения делительных приспособлений (головок, столов и др.), подшипниках точных шатунных механизмов.

Посадки $H7/g6$ ($G7/h6$) используют вместо посадок $H5/g4$ и $H6/g5$ в случаях, допускающих снижение требований к точности центрирования деталей подвижных соединений. Эти посадки применяют в соединениях подвижных (передвижных) зубчатых колес и валов коробок скоростей, шатунной головки и шейки коленчатого вала, шпинделей точных станков, делительных головок и их опор; для установки сменных кондукторных втулок в кондукторные плиты и заготовок на установочные пальцы приспособлений, а также для установки других подвижных элементов приспособлений с высокой точностью центрирования.

Посадки H/f (F/h)

Посадки H/f (F/h) установлены в квалитетах 6–9 и характеризуются умеренными гарантированными зазорами, достаточными для обеспечения свободного вращения в подшипниках скольжения, работающих при умеренных скоростях и нагрузках.

Посадки $H6/f6$ ($F6/h6$, $F7/h5$) используют при повышенных требованиях к точности центрирования сопрягаемых деталей, например, в золотниковых парах гидropередач легковых автомобилей и точных подвижных элементах приспособлений.

Посадки $H7/f7$ ($F7/h6$) $H8/f7$ ($F8/h6$, $F8/h7$), $H8/f8$ ($F8/h8$) используют в подшипниках скольжения при умеренных частотах вращения и нагрузках, например, в подшипниках коробок передач, подшипниках зубчатых колес и шкивов, свободно вращающихся на валах, подшипниках центробежных и шестеренных насосов, коренных подшипниках двигателей внутреннего сгорания и поршневых компрессоров. Эти посадки применяют для установки подвижных шестерен, включаемых муфтами, поршней в цилиндрах компрессоров и тормозных цилиндрах автомобилей, гильз в блоках цилиндров двигателей внутреннего сгорания, штоков поршней в направляющих втулках станочных приспособлений и других изделий, подвижных элементов приспособлений, поршней в пневмоцилиндрах при наличии уплотнительных колец и др.

Посадки $H8/f9$ ($F9/h8$), $H9/f8$ ($F9/h8$), $H9/f9$ ($F9/h9$) применяют для крупных подшипников в тяжелом машиностроении, для многоопорных валов, валов с далеко расставленными опорами, для установки свободно вращающихся деталей при невысокой точности центрирования, для удобства сборки неподвижных соединений. Примерами использования таких посадок являются посадки в соединениях поршней с цилиндрами паровых машин, крышек с цилиндрами, зубчатых колес и других деталей, свободно вращающихся на валах и включаемых муфтами сцепления, штоков поршней с направляющими втулками пневмоцилиндров и др.

Посадки H/e (E/h)

Посадки H/e (E/h) установлены в квалитетах 6–9 (по 6 квалитету изготавливают только вал для образования посадки $E8/h6$). Эти посадки характеризуются значительными гарантированными зазорами, обеспечивающими свободное вращение при повышенных режимах работы. Их применяют также при осложненных условиях монтажа деталей, например, при установке валов в далеко разнесенные опоры или в несколько (больше двух) опор, при увеличенной длине соединений. В неподвижных соединениях такие посадки применяют для обеспечения значительных зазоров, требуемых для установки и (или) регулировки деталей.

Посадки $H7/e7$ ($E8/h6$) предназначены главным образом для подшипников жидкостного трения в машинах повышенной точности и долговечности и применяются, например, в коренных подшипниках коленчатых валов и распределительных валов ответственных двигателей внутреннего сгорания.

Посадки $H7/e8$ ($E8/h7$), $H8/e8$ ($E8/h8$) являются посадками средней точности. Их применяют в подшипниках жидкостного трения для валов турбогенераторов, больших электромашин, центробежных насосов, коленчатых и распределительных валов двигателей внутреннего сгорания, для установки блоков зубчатых колес заднего хода на осях в коробках перемены передач грузовых автомобилей, подвижных элементов приспособлений к металлорежущим станкам, не требующих высокой точности центрирования, для поршней пневмо- и гидроцилиндров и в других случаях.

Посадки $H8/e9$, $H9/e8$, ($E9/h8$), $H9/e9$, ($E9/h9$) являются посадками пониженной точности и используются примерно там же, где и посадки $H9/f9$ ($F9/h9$). Применяются в менее ответственных подшипниках скольжения для вращательного или поступательного перемещения. В неподвижных соединениях их используют при относительно невысоких требованиях к точности центрирования в случаях, требующих увеличенных гарантированных зазоров для компенсации отклонений расположения поверхностей сопрягаемых деталей, температурных деформаций и др.

Посадки H/d (D/h)

Посадки H/d (D/h) характеризуются большими гарантированными зазорами, позволяющими компенсировать значительные отклонения расположения сопрягаемых поверхностей и температурные деформации, обеспечить свободное перемещение деталей при сборке, регулировке и эксплуатации машин.

Посадки $H7/d8$ ($D8/h6$, $D8/h7$), $H8/d8$ ($D8/h8$) предназначены в основном для точных подвижных соединений при тяжелых режимах работы и больших температурных деформациях. Их применяют в подшипниках скольжения турбин, валков прокатных станов, быстроходных трансмиссий, для установки впускных и выпускных клапанов в направляющих втулках двигателей внутреннего сгорания, быстроходных холостых шкивов и зубчатых колес на оси различных механизмов.

Посадки $H8/d9$ ($D9/h8$), $H9/d9$ ($D9/h9$), $H10/d10$ ($D10/h9$, $D10/h10$) предназначены для соединений при невысоких требованиях к точности центрирования, например, для установки трансмиссионных валов в подшипники скольжения, поршней в цилиндры компрессоров, клапанных коробок в корпуса компрессоров и др.

Посадки $H11/d11$ ($D11/h11$) используют в соединениях, не требующих перемещения в подвижных и точности центрирования в неподвижных соединениях. Большой гарантированный зазор позволяет компенсировать значительные отклонения расположения сопрягаемых поверхностей и температурные деформации, наносить защитные покрытия, обеспечить подвижность соединений, работающих в условиях запыления или загрязнения.

Эти посадки применяют, например, в шарнирных соединениях тяг, для установки распорных втулок на валах, роликов на осях.

Посадки H/c (C/h), H/b (B/h), H/a (A/h)

Посадки H/c (C/h) установлены в квалитетах 7–11 (по 7 квалитету выполняют отверстие только в посадке H7/c8), а посадки H/b (B/h), H/a (A/h) – только в грубых квалитетах 11, 12. Посадки в грубых квалитетах применяют для соединений малой точности, где большие зазоры необходимы для компенсации погрешностей расположения поверхностей сопрягаемых деталей (отклонений от симметричности, соосности, параллельности, перпендикулярности и др.), температурных деформаций, водо- и маслопоглощения в соединениях деталей из пластмасс, для обеспечения свободного движения в условиях загрязнения и запыления.

Посадки в более точных квалитетах (H7/c8 и H8/c8) применяют в отдельных случаях, обоснованных расчетом, в достаточно точных подвижных соединениях, работающих при особо тяжелых нагрузках и (или) высоких температурах, способствующих уменьшению рабочего зазора из-за температурных деформаций деталей. Примеры применения таких посадок: поршни в цилиндрах и выпускные клапаны в направляющих втулках в двигателях внутреннего сгорания, тяжелонагруженные валы в подшипниках скольжения в прокатных станах, крупных турбинах, насосах, компрессорах и т.п.

Посадки H11/c11 (C11/h11), H11/b11 (B11/h11) применяют для установки крышек подшипников, валов в подшипниках в сельскохозяйственных машинах, валов тормозных тяг и других деталей на осях, в соединениях деталей под припой.

Посадки H12/b12 (B12/h12) используют для установки сменных рычагов и рукояток, грубообработанных или необработанных валов в подшипниках скольжения сельскохозяйственных машин, в неответственных шарнирных соединениях (например, откидных болтов) и др.

Посадки H11/a11 (A11/h11) применяют, например, в соединениях рессорных и тормозных валов.

Посадки переходные

Переходные посадки предназначены для неподвижных соединений деталей при легкой сборке и разборке и высокой точности центрирования. Относительная неподвижность деталей в таких соединениях и передача сил и моментов обеспечивается шпонками, штифтами, стопорными винтами и другими крепежными средствами. В переходных посадках можно получить как зазоры, так и натяги, причем величина их достаточно мала.

Это и позволяет сочетать высокую точность центрирования и относительно легкие сборку и разборку соединения.

Системой допусков и посадок предусмотрены несколько групп переходных посадок, различающихся вероятностью получения зазоров или натягов (табл. 3.2) [15]. Чем больше вероятность получения натяга, тем более прочной является посадка. Более прочные посадки назначают для более точного центрирования деталей, при ударных и вибрационных нагрузках, иногда – при необходимости обеспечить неподвижное соединение деталей без дополнительного крепления. Однако сборка соединений с более прочными посадками усложняется и требует значительных усилий, поэтому, если ожидается частая разборка и повторная сборка, если соединение труднодоступно для монтажных работ или необходимо избежать повреждения сопрягаемых поверхностей, применяют менее прочные переходные посадки.

3.2. Процент натягов P_N для переходных посадок (для размеров от 3 до 500 мм) [15]

Группа посадок	Посадка в системе		Процент натягов P_N , %	Группа посадок	Посадка в системе		Процент натягов P_N , %
	отверстия	вала			отверстия	вала	
1	$H5/js4$	–	0,5 – 1	3	$H5/m4$	$M5/h4$	99,93–99,98
	–	$Js5/h4$	3 – 6		$H6/m5$	$M6/h5$	94–99
	$H6/js5$	–	0,5 – 0,8		$H7/m6$	$M7/h6$	80–85
	–	$Js6/h5$	4 – 5		$H8/m7$	$M8/h7$	60–71
	$H7/js6$	–	0,5 – 0,6	4	$H5/n4$	$N5/h4$	Посадки с гарантированным натягом
	–	$Js7/h6$	5 – 6		$H6/n5$	$N6/h5$	
	$H8/js7$	–	0,6 – 0,7		$H7/n6$	$N7/h6$	99,1 – 99,6
	–	$Js8/h7$	4 – 5		$H8/n7$	$N8/h7$	88 – 93
2	$H5/k4$	$K5/h4$	38 – 68				
	$H6/k5$	$K6/h5$	38 – 50				
	$H7/k6$	$K7/h6$	24 – 34				
	$H8/k7$	$K8/h7$	24 – 29				

Переходные посадки установлены только в точных квалитетах: отверстия для переходных посадок изготавливают по 5–8, а валы – по 4–7 квалитетам. При этом предпочтительные посадки предусмотрены только в квалитетах 7 (отверстия) и 6 (валы) (рис. 3.4). Рекомендации по применению переходных посадок [3, 15, 18 и др.] приведены ниже.

Посадки H/js (JS/h)

Для этих посадок наиболее вероятно получение зазора в соединении, но возможны и небольшие натяги, поэтому для сборки и разборки соединений необходимо предусматривать применение небольшого усилия: обычно достаточно использования деревянного молотка. Эти посадки применяют при необходимости частой сборки и разборки

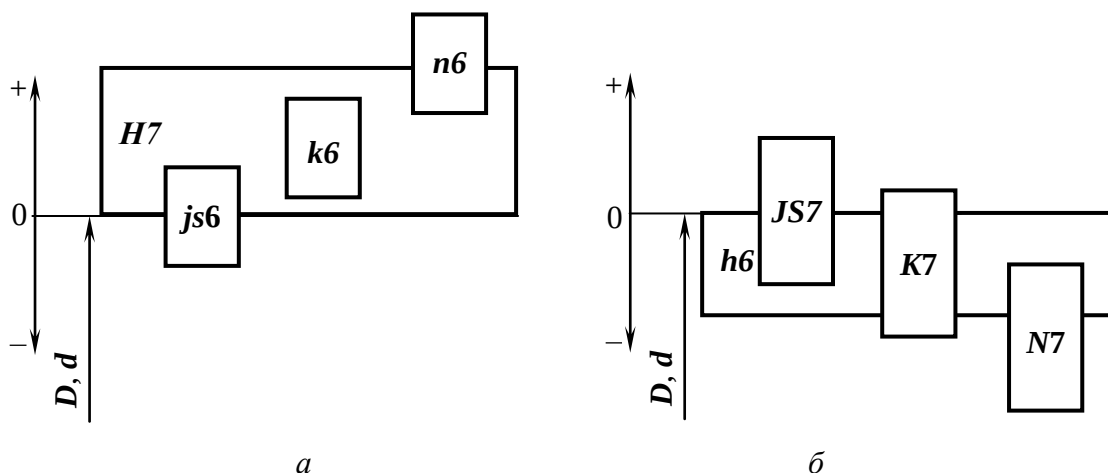


Рис. 3.4. Схемы полей допусков предпочтительных переходных посадок:

a – в системе отверстия; *б* – в системе вала

соединений, если точность центрирования деталей соединения допускает небольшие зазоры. Посадки H/js (JS/h) применяют также при относительно большой длине соединений (свыше трех – четырех диаметров) или когда сборка и разборка затруднены компоновкой узла, массой и размерами деталей.

Посадки $H5/js4$ ($JS5/h4$) требуют больших затрат для изготовления точных деталей и применяются достаточно редко для обеспечения высокой точности центрирования в ответственных соединениях машин и приборов.

Посадки $H6/js5$ ($JS6/h5$) являются посадками повышенной точности и используются, например, для соединений деталей машин высокой точности: металлорежущих станков, электрических машин.

Посадки $H7/js6$ ($JS7/h6$) являются предпочтительными (см. рис. 3.4); их достаточно часто применяют, например, при установке гильзы в корпус шпиндельной головки расточных станков, зубчатых колес на валах шлифовальных и шевинговальных станков, съемных муфт на валах малых электромашин, стаканов под подшипники качения в редукторах и узлах металлорежущих станков.

Посадки $H8/js7$ ($JS8/h7$) применяют для обеспечения достаточно точного центрирования передней крышки электродвигателя при установке ее в корпус, в соединениях центрирующих элементов полумуфт.

Посадки H/k (K/h)

Посадки H/k (K/h) являются наиболее часто применяемыми переходными посадками. Вероятности получения натягов и зазоров в таких соединениях примерно одинаковы (см. табл. 3.2). Сборка и разборка соединений производится без значительных усилий, например, при помощи ручных молотков.

Посадки $H5/k4$ ($K5/h4$), $H6/k5$ ($K6/h5$) имеют ограниченное применение в ответственных соединениях высокоточных приборов и приспособлений.

Посадки $H7/k6$ ($K7/h6$) предпочтительны и широко распространены. Их применяют чаще других посадок в соединениях шкивов, муфт, маховиков, зубчатых колес с валами, при передаче крутящего момента шпонками и штифтами, для установки рычагов, эксцентриков на валах, подшипниковых втулок в корпусах и в других изделиях.

Посадки $H8/k7$ ($K8/h7$) используют при пониженных требованиях к точности центрирования, например, в соединениях деталей сельскохозяйственных машин.

Посадки H/m (M/h)

Эти посадки характеризуются большой вероятностью получения в соединениях натягов (см. табл. 3.2). Так как величина натяга, обеспечиваемого этими посадками, сравнительно мала, их применяют при статических или незначительных динамических нагрузках, когда сборка–разборка соединений производится редко. По этой же причине такие соединения нельзя применять для передачи значительных сил или крутящих моментов без дополнительного крепления. При длине сопряжения, превышающей 1,5 диаметра, посадки H/m могут заменять посадки H/n .

Посадки $H5/m4$ ($M5/h4$), $H6/m5$ ($M6/h5$) – это посадки повышенной точности, их практикуют в соединениях деталей приспособлений и приборов высокой точности, например, втулок фиксаторов станочных приспособлений.

Посадки $H7/m6$ ($M7/h6$) используют в соединениях зубчатых колес и валов редукторов, штифтов и фиксируемых ими деталей, тонкостенных длинных втулок с корпусами и плитами, втулок с корпусами из цветных металлов. Поля допусков $m6$ и $M7$ не являются предпочтительными и при возможности должны заменяться ближайшими предпочтительными полями допусков.

Посадки $H8/m7$ ($M8/h7$) – это посадки пониженной точности. Встречаются достаточно редко, например, в механизмах перемещения узлов некоторых оптико-механических приборов.

Посадки H/n (N/h)

Посадки H/n обеспечивают наиболее плотные соединения и характеризуются наибольшими средними натягами из всех переходных посадок. Натяг, вероятный у большинства таких соединений (см. табл. 3.2), позволяет передавать силы и моменты средней величины без дополнительного крепления при спокойных условиях работы. Соединения с посадками H/n собирают под прессом. Разборка производится лишь при капитальном ремонте. Посадки H/n применяют, например, для установки зубчатых колес, кулачковых муфт, кривошипов, постоянных кондукторных втулок и установочных пальцев в приспособ-

собраниях, тонкостенных втулок (подшипников скольжения) в корпусах, направляющих втулок штоков пневмо- и гидроцилиндров.

Посадки с натягом

Посадки с натягом предназначены для получения неподвижных неразъемных соединений. Относительная неподвижность деталей в этом случае обеспечивается за счет сил трения, возникающих на контактирующих поверхностях вследствие их деформации, создаваемой натягом при сборке соединения.

Посадки с натягом применяют для передачи крутящих моментов и для работы в условиях значительных динамических нагрузок. Выбор посадки производится из условия обеспечения прочности соединений при минимальном натяге и прочности деталей при максимальном натяге.

Как и переходные посадки, посадки с натягом установлены только в точных качествах: отверстия для посадок с натягом изготавливают по 6–8, а валы – по 5–8 качествам. Предпочтительных посадок – всего четыре (рис. 3.5) в качествах 7 (отверстие) и 6 (вал).

Выбрать посадку с натягом можно, используя рекомендации [3, 15, 18 и др.], приведенные ниже.

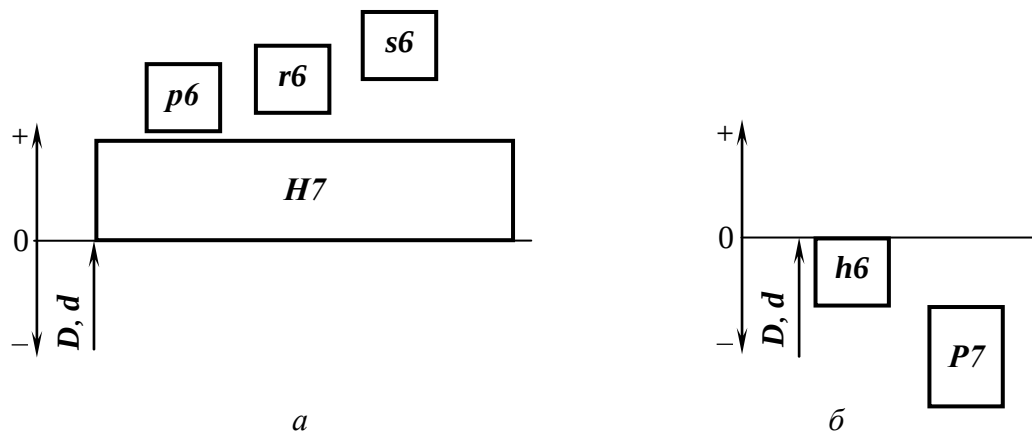


Рис. 3.5. Схемы полей допусков предпочтительных посадок с натягом:
а – в системе отверстия; б – в системе вала

Посадки H/p (P/h)

Такие посадки характеризуются минимальными гарантированными натягами и установлены в наиболее точных качествах: отверстия изготавливают по 6, 7, а валы – по 5, 6 качествам. Посадки H/p (P/h) применяют для передачи небольших крутящих моментов или осевых сил, а также в тех случаях, когда детали изготавливают из недостаточно прочных материалов или детали имеют слишком тонкие стенки. При наличии дополнительно-

го крепления эти посадки часто используют для установки на валах тяжело нагруженных или быстровращающихся деталей.

Посадки $H6/p5$ ($P6/h5$) применяют в соединениях высокой точности, когда недопустимы значительные колебания натягов, например, для установки тонкостенных легкоповреждаемых втулок при относительно больших длинах.

Посадки $H7/p6$ ($P7/h6$) являются предпочтительными для данного типа посадок (см. рис. 3.5); их достаточно часто используют для установки различных деталей; втулок и колец в корпусах, уплотнительных колец на валах и в корпусах, зубчатых колес на валах редукторов, шестеренных насосов при передаче крутящего момента шпонкой и др.

Посадки H/r (R/h), H/s (S/h), H/t (T/h)

Эти посадки обеспечивают получение натягов средней величины. Соединения с такими посадками могут передавать довольно значительные крутящие моменты и усилия без дополнительного крепления. В некоторых случаях, когда применение посадок с большими натягами недопустимо по условиям прочности деталей, посадки данной группы применяют и в соединениях, воспринимающих тяжелые нагрузки, но с дополнительным креплением. Сборку соединений осуществляют как под прессом, так и с термовоздействием (нагревом втулки или охлаждением вала).

Посадки $H6/r5$, $H6/s5$ применяют в точных соединениях, когда требования прочности соединения, с одной стороны, и прочности деталей соединения, с другой стороны, не допускают значительных колебаний натяга. Эти посадки применяют в неподвижных соединениях без дополнительного крепления, например, для установки втулок на валах электромашин, в отверстиях зубчатых колес, шкивов, шатунов и др.

Посадки $H7/r6$ ($R7/h6$), $H7/s6$ ($S7/h6$), $H7/s7$, $H8/s7$, $H7/t6$ ($T7/h6$) являются посадками средней точности в данной группе посадок. Две из них – $H7/r6$ и $H7/s7$ – предпочтительные (см. рис. 3.5). Эти посадки используют для установки втулок в зубчатые колеса и корпусы при тяжелых и ударных нагрузках, в головки шатунов компрессоров, зубчатых колес на валах коробок скоростей токарных станков, упоров и установочных пальцев станочных приспособлений. При передаче значительных нагрузок с ударами и вибрациями в соединениях с такими посадками необходимо дополнительное крепление, например, винтами зубчатого венца на ступице червячного колеса; шпонкой для передачи крутящего момента, при установке зубчатых колес на валы коробок передач грузовых автомобилей.

Посадки H/u (U/h), H/x, H/z

Посадки H/u (U/h), H/x, H/z характеризуются большими гарантированными натягами и предназначены для передачи больших сил и моментов при тяжелых условиях работы без дополнительного крепления. Для уменьшения колебания натяга в партии изделий практикуют сортировку деталей соединений и их селективную сборку.

Сборку соединений с такими посадками осуществляют обычно с термовоздействием (нагревом втулки или охлаждением вала), но в ряде случаев – и механической запрессовкой.

Посадки H7/u7 (U8/h7), H8/u8 получили наибольшее распространение из посадок рассматриваемой группы. Их используют в неподвижных соединениях несъемных полу-муфт с валами, зубчатых бронзовых венцов со стальными ступицами, коротких втулок со ступицами свободно вращающихся зубчатых колес и в других соединениях, требующих значительных натягов.

Посадки H8/x8 и H8/z8 применяют в соединениях, работающих при переменных, с ударами и вибрациями нагрузках. Детали соединений с такими посадками должны допускать большие напряжения в материале в процессе эксплуатации. Например, эти посадки используют для установки направляющих втулок клапанов двигателей внутреннего сгорания. В некоторых случаях такие посадки используют для соединений стальных деталей с деталями из легких сплавов или пластмасс.

Пример 3.1

Назначить посадки методом аналогии в соединениях деталей шестеренного насоса (рис. 3.6): втулки 1 с корпусом 2 – $\varnothing 22$ мм, вала 3 со втулкой 1 – $\varnothing 16$ мм и вала 3 с шестерней 5 – $\varnothing 16$ мм.

Втулка 1 является вкладышем подшипника скольжения и неподвижно без дополнительного крепления установлена в корпусе 2 шестеренного насоса. Втулка 1 является тонкостенной деталью, поэтому использовать посадку с гарантированным натягом нецелесообразно, так как возникшие при сборке соединения напряжения могут привести к деформации втулки и существенному уменьшению зазора в подшипнике скольжения. Сравнивая условия работы соединения с рекомендациями, назначаем предпочтительную переходную посадку с преимущественным натягом в системе отверстия $\varnothing 22$ H7/n6. Эта посадка характеризуется максимальным натягом $N_{max} = 0,028$ мм и максимальным зазором $S_{max} = 0,006$ мм (рис. 3.7, а). Вероятность образования натяга в этом соединении составляет более 99 % (см. табл. 3.2).

Вал 3 свободно вращается во втулке 1 предположительно при умеренных режимах работы (частоте вращения и нагрузках), образуя подшипник скольжения. Сравнивая условия работы соединения с рекомендациями, устанавливаем, что для этого соединения можно использовать предпочтительные посадки с зазором $H7/f7$ или $F8/h6$. Так как вал 3 соединен по гладкой поверхности $\varnothing 16$ мм со втулкой 1 и шестерней 5, при назначении посадок в соединениях вала с этими деталями необходимо использовать систему вала.

Исходя из изложенного, в соединении вала 3 со втулкой 1 назначаем посадку с зазором в системе вала $\varnothing 16 F8/h6$. Эта посадка характеризуется зазорами: минимальным $S_{min} = 0,016$ мм, максимальным $S_{max} = 0,054$ мм (рис. 3.7, б).

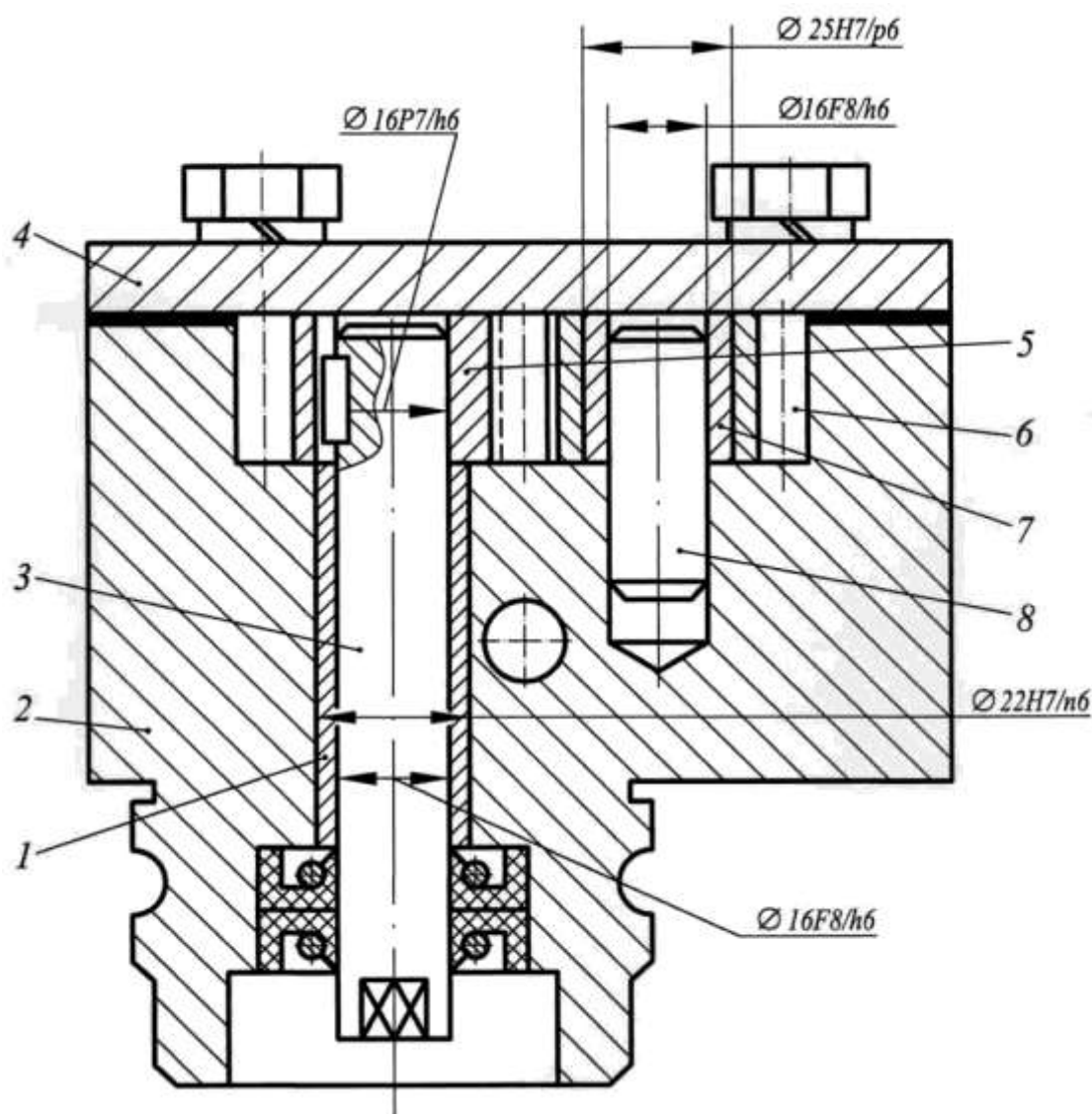


Рис. 3.6. Примеры посадок в соединениях деталей шестеренного насоса:
1, 7 – втулка; 2 – корпус; 3 – вал; 4 – крышка; 5, 6 – зубчатое колесо; 8 – ось

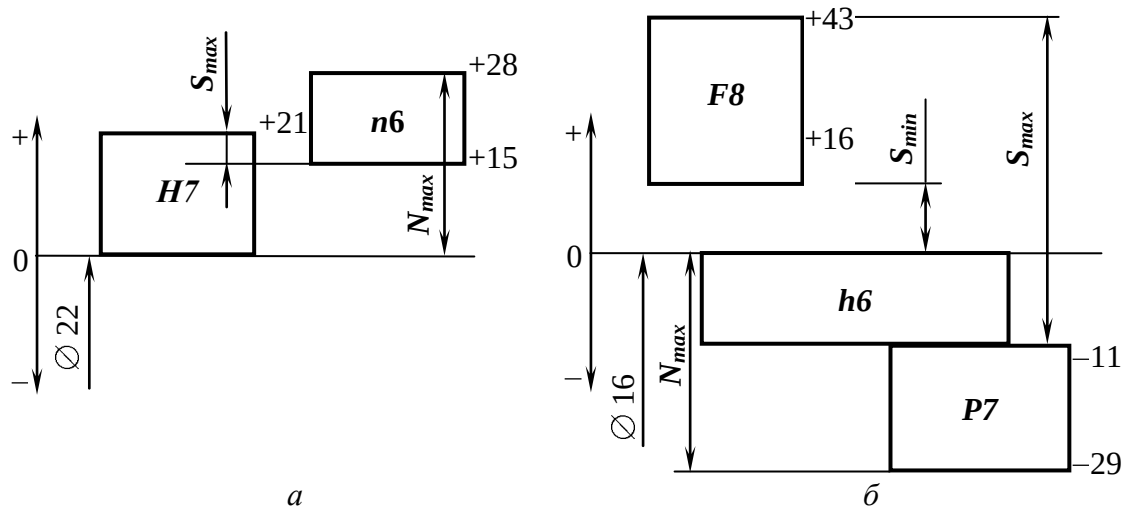


Рис. 3.7. Схемы полей допусков посадок в соединениях:

а – втулки с корпусом; *б* – вала со втулкой и шестерней

Шестерня 5 неподвижно установлена на валу 3. Для передачи крутящего момента использована шпонка. При передаче крутящего момента шпонкой в сопряжении цилиндрических поверхностей шестерни и вала целесообразно использовать посадку с натягом, способствующую обеспечению высокой точности центрирования сопрягаемых деталей и улучшению работы шпоночного соединения. Учитывая, что вал 3 соединен по гладкой поверхности $\varnothing 16$ мм со втулкой 1 и шестерней 5, в соединении вала 3 с шестерней 5 назначаем предпочтительную посадку с натягом в системе вала $\varnothing 16$ $P7/h6$. Эта посадка характеризуется натягами: минимальным $N_{min} = 0$ и максимальным $N_{max} = 0,029$ мм (рис. 3.7, б).

Аналогично назначаем посадки в соединениях других деталей шестеренного насоса.

3.1.3. Расчет и выбор посадок с зазором в подшипниках скольжения

Одним из наиболее распространенных типов ответственных соединений являются соединения с зазором в подшипниках скольжения. Эти подшипники широко используются в конструкциях машин и механизмов, так как они в ряде случаев обеспечивают большую точность, виброустойчивость и долговечность, чем подшипники качения.

Простейший подшипник скольжения местного нагружения представляет собой втулку (вкладыш) 1

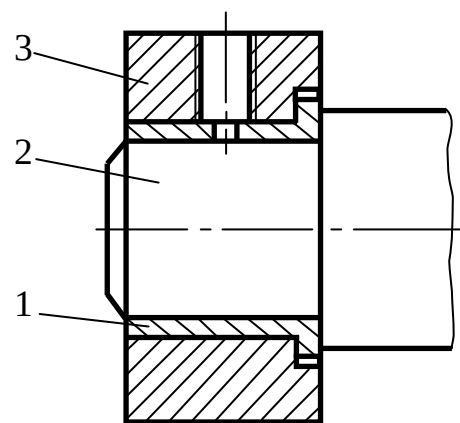


Рис. 3.8. Подшипник скольжения

риала, например, бронзы, в которую с зазором устанавливают цапфу вала 2. Втулку закрепляют в корпусе подшипника 3 или, чаще всего, непосредственно в корпусе, раме или станине изделия.

Различают гидродинамические, гидростатические, аэростатические подшипники скольжения. Методики расчета и назначения зазоров в таких подшипниках различны. Ниже рассмотрена методика расчета зазоров и выбора посадок для гидродинамических подшипников местного нагружения, наиболее широко используемых в машиностроении.

Расчет зазоров в гидродинамических подшипниках основан на использовании гидродинамической теории смазки [2]. В соответствии с этой теорией наличие в соединении цапфы вала и вкладыша определенного зазора приводит при вращении вала к образованию масляного клина, создающего давление, превышающее нагрузку, и обеспечению жидкостного трения (трения с наличием слоя жидкой смазки) между трущимися поверхностями цапфы и вкладыша.

В состоянии покоя цапфа вала под действием силы собственного веса и внешней нагрузки лежит на нижней образующей вкладыша (рис. 3.9, *а*), практически полностью вытесняя масло в зоне максимального сближения поверхностей. Соединение имеет максимальный эксцентриситет e_{max} и односторонне расположенный сверху диаметральный зазор S .

При вращении вала в подшипнике цапфа увлекает вязкое масло, нагнетает его в суживающуюся клиновую полость. Возникает гидродинамическое давление, под действием которого цапфа вала несколько приподнимается и смещается в сторону вращения, т. е. «всплывает». С увеличением частоты вращения вала расклинивающее действие масляного слоя увеличивается, создается гидродинамическое давление, превышающее действующую на подшипник внешнюю нагрузку и заставляющее цапфу вала принять положение, показанное на рис. 3.9, *б*. При установившемся режиме работы нагнетающее действие масляного клина продолжается и вал «плавает» в смазочном материале, практически не изнашиваясь.

Масляный клин в гидродинамическом подшипнике в каждом конкретном случае (размеры и материалы сопрягаемых деталей, величины внешней нагрузки и частоты вращения, вязкость масла, рабочая температура и др.) образуется в области определенных зазоров между цапфой вала и вкладышем.

Целью расчета является определение величины зазора и выбора посадки в соединении цапфы и вкладыша гидродинамического подшипника скольжения, обеспечивающих надежное жидкостное трение в заданных условиях работы.

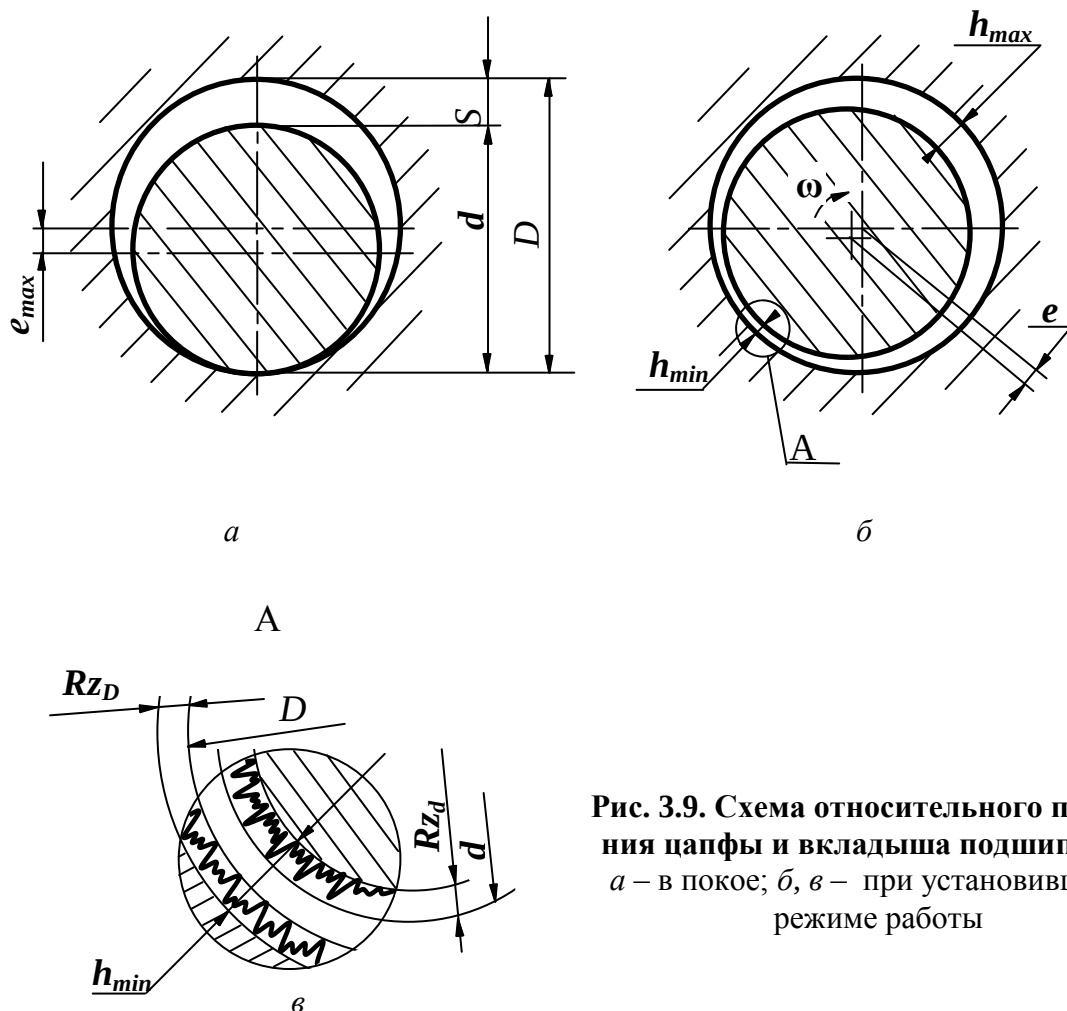


Рис. 3.9. Схема относительного положения цапфы и вкладыша подшипника:
а – в покое; *б, в* – при установившемся режиме работы

Методика расчета гидродинамического подшипника скольжения местного нагружения приведена ниже в соответствии с рекомендациями [15].

Положение цапфы во вкладыше подшипника определяется при установившемся режиме работы в состоянии равновесия абсолютным e и относительным $\chi = 2e/S$ эксцентриситетами (см. рис. 3.9, *б*). Цапфа и вкладыш разделены переменным зазором: в месте их наибольшего сближения зазор равен h_{min} , на диаметрально противоположной стороне зазор $h_{max} = S - h_{min}$ ($S = D - d$, где D и d соответственно диаметр отверстия вкладыша и цапфы вала).

Для гарантированного образования зазора h_{min} необходимо обеспечить требуемую несущую способность подшипника, т. е. его способность создать в заданных условиях гидродинамическое давление, препятствующее разрыву масляного слоя под действием внешней нагрузки.

Согласно гидродинамической теории смазки, несущая способность подшипника обеспечивается, если выполняется условие

$$R \approx 10^{-6} \cdot \frac{\eta \cdot \omega}{\psi^2} \cdot \ell \cdot d \cdot C_R, \quad (3.1)$$

где R – радиальная нагрузка, действующая на подшипник, Н; η – динамическая вязкость используемого для смазки масла, Па·с (рис. 3.10); $\omega = \pi \cdot n/30$, где n – частота вращения цапфы, мин⁻¹; ℓ – длина подшипника, мм; d – диаметр вала, мм; C_R – коэффициент нагруженности подшипника; ψ – относительный зазор $\psi = S/d$.

Из зависимости (3.1) следует, что для обеспечения жидкостного трения коэффициент нагруженности должен быть равен

$$C_R = \frac{10^6 \cdot R \cdot \psi}{\eta \cdot \omega \cdot \ell \cdot d} = p \cdot \frac{\psi^2}{\eta \cdot \omega}, \quad (3.2)$$

где p – среднее давление: $p = 10^6 \cdot R/(\ell \cdot d)$, Па.

При постоянном отношении ℓ/d коэффициент нагруженности C_R зависит от величины относительного эксцентриситета χ . Эта зависимость имеет вид [15]

$$C_R = \frac{m_1}{1-\chi} - m_2, \quad (3.3)$$

где m_1 и m_2 – коэффициенты, постоянные для данного отношения ℓ/d (табл. 3.3).

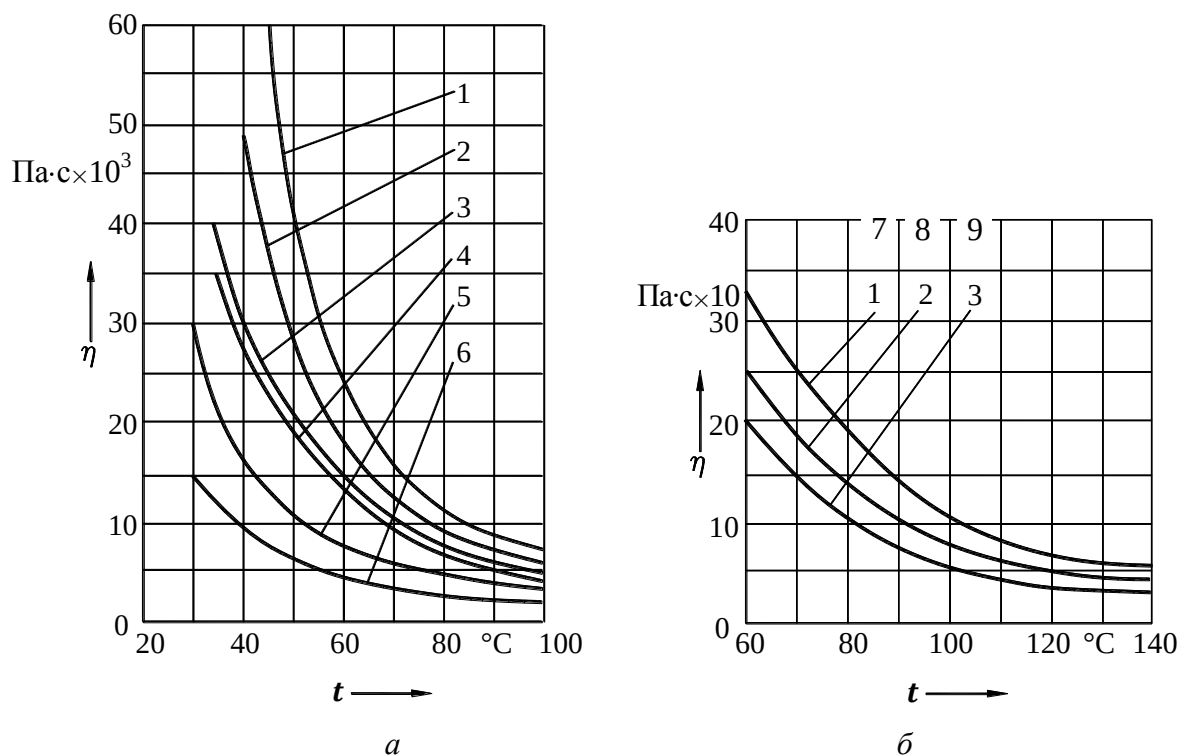


Рис. 3.10. Зависимость динамической вязкости η турбинных и промышленных (а) и моторных (б) масел от температуры t [1]: 1 – Т-46; 2 – Т-30; 3 – Т-22; 4 – И-20; 5 – И-12; 6 – И-8; 7 – М-12; 8 – М-8; 9 – М-6

3.3. Значение коэффициентов m_1 и m_2 [15]

ℓ/d	m_1	m_2	ℓ/d	m_1	m_2
0,4	0,255	0,356	0,9	0,690	0,705
0,5	0,355	0,472	1,0	0,760	0,760
0,6	0,452	0,568	1,1	0,823	0,823
0,7	0,539	0,634	1,2	0,880	0,880
0,8	0,623	0,698			

Зависимости (3.2), (3.3) позволяют найти величину относительного эксцентриситета χ , определяющего толщину масляного слоя h_{min} (мм) (см. рис. 3.9, б):

$$h_{min} = \frac{S}{2} - e = \frac{S}{2} \cdot (1 - \chi). \quad (3.4)$$

При $S = S_{onm}$ толщина масляного слоя h_{min} имеет наибольшее значение h_{onm} , обеспечивающее надежную работу подшипника (рис. 3.11).

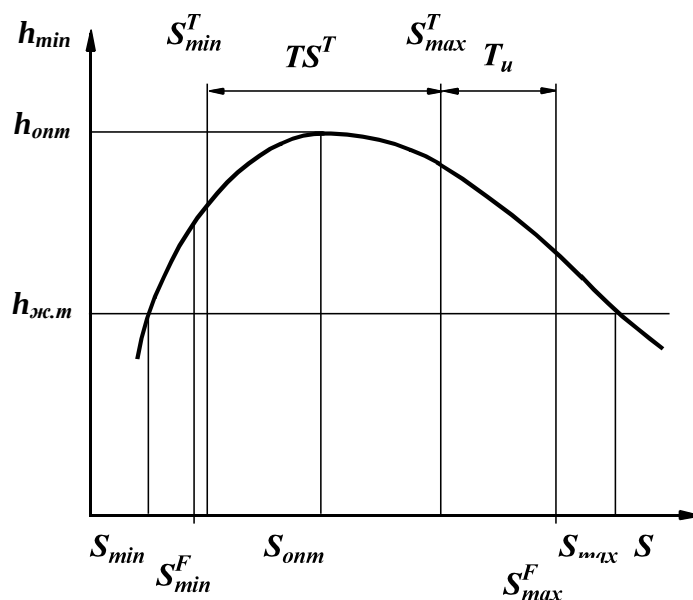


Рис. 3.11. Зависимость толщины масляного слоя h_{min} от диаметрального зазора S [22]

Оптимальное значение диаметрального зазора S_{opt} (мм) можно рассчитать по зависимости

$$S_{onm} \approx d \cdot \sqrt{\frac{\eta \cdot \omega}{p} \cdot m_2}, \quad (3.5)$$

полученной исследованием на экстремум зависимости (3.4), в которой величина χ найдена по зависимостям (3.2), (3.3).

Для обеспечения жидкостного трения в подшипнике масляный слой в самом узком месте не должен быть разорван неровностями цапфы и вкладыша (рис. 3.9, в), для чего необходимо выполнить условие

$$h_{min} \geq h_{ж.м} \geq (Rz_d + Rz_D + \Delta_\phi + \Delta_p + \Delta_{изг} + \Delta_\theta) \cdot 10^{-3}, \quad (3.6)$$

где $h_{ж.м}$ – толщина масляного слоя, при котором обеспечивается жидкостное трение, мм;
 Rz_d, Rz_D – высота неровностей по десяти точкам соответственно цапфы и вкладыша, мкм;
 Δ_ϕ, Δ_p – поправки, учитывающие соответственно влияние погрешности формы и расположения цапфы и вкладыша, мкм;
 $\Delta_{изг}$ – поправка, учитывающая влияние изгиба вала, мкм;
 Δ_θ – поправка, учитывающая отклонения действительных значений нагрузки, скорости, вязкости масла, рабочей температуры от расчетных значений, мкм.

Для упрощения расчета принимают

$$h_{ж.м} = k_{ж.м} \cdot (Rz_d + Rz_D + \Delta_\theta) \cdot 10^{-3}, \quad (3.7)$$

где $k_{ж.м}$ – коэффициент запаса надежности по толщине масляного слоя; $k_{ж.м} \geq 2$.

Толщине масляного слоя $h_{ж.м}$ соответствуют два значения диаметрального зазора S (см. рис. 3.11): минимально допускаемый зазор S_{min} и максимально допускаемый зазор S_{max} . При зазорах $S < S_{min}$ или $S > S_{max}$ условие жидкостного трения $h_{min} \geq h_{ж.м}$ не выполняется.

Значения S_{min} и S_{max} (мм) определяют из зависимости (3.4), приняв $h_{min} = h_{ж.м}$:

$$S_{min} = \frac{m_1 \cdot \eta_1 \cdot \omega_1 \cdot d^2 - \sqrt{(m_1 \cdot \eta_1 \cdot \omega_1 \cdot d^2)^2 - 16 p \cdot h_{ж.м}^2 \cdot m_2 \cdot \eta_1 \cdot \omega_1 \cdot d^2}}{4 p \cdot h_{ж.м}}, \quad (3.8)$$

$$S_{max} = \frac{m_2 \cdot \eta_1 \cdot \omega_1 \cdot d^2 + \sqrt{(m_1 \cdot \eta_2 \cdot \omega_1 \cdot d^2)^2 - 16 p \cdot h_{ж.м}^2 \cdot m_2 \cdot \eta_2 \cdot \omega_1 \cdot d^2}}{4 p \cdot h_{ж.м}}, \quad (3.9)$$

где η_1, η_2 – динамическая вязкость масла, соответствующая средним температурам смазочного слоя при $S = S_{min}$ и $S = S_{max}$.

Посадку в подшипнике скольжения выбирают с учетом условий его эксплуатации, для чего рассчитывают функциональные зазоры S_{min}^F, S_{max}^F (мм):

$$S_{min}^F = S_{min} - \Delta_t, \quad (3.10)$$

$$S_{max}^F = S_{max} - \Delta_t - \Delta_{изн}, \quad (3.11)$$

где Δ_t – поправка (мм), учитывающая изменение зазора в результате температурных деформаций цапфы и вкладыша:

$$\Delta_t = d \cdot (\alpha_D \cdot \Delta t_D - \alpha_d \cdot \Delta t_d), \quad (3.12)$$

где α_D, α_d – коэффициенты линейного расширения материалов вкладыша и цапфы $^{\circ}\text{C}^{-1}$ (табл. П.2.1); $\Delta t_D, \Delta t_d$ – разность между рабочей температурой t и температурой рабочего пространства при сборке $t_{сб}$ соответственно для вкладыша и цапфы подшипника, $^{\circ}\text{C}$; $\Delta_{изн}$ – поправка, учитывающая увеличение зазора при износе поверхностей вкладыша и цапфы:

$$\Delta_{изн} = 2 \cdot (Rz_d + Rz_D) \cdot 10^{-3}, \quad (3.13)$$

где Rz_d, Rz_D – значения параметра шероховатости поверхностей Rz соответственно для цапфы и вкладыша, мкм.

Кроме того, необходимо учитывать, что при малых зазорах ($\chi < 0,3$) могут возникнуть самовозбуждающиеся колебания вала в подшипниках.

Тогда, с учетом сказанного, условия подбора посадки в гидродинамическом подшипнике скольжения можно представить в следующем виде:

$$S_{min}^T \geq S_{min}^F; \quad \chi_{min} \geq 0,3; \quad S_{max}^T < S_{max}^F, \quad (3.14)$$

где S_{max}^T, S_{min}^T – предельные зазоры выбранной стандартной посадки.

Жидкостное трение обеспечивается при $S = S_{min}^T$, если $h_{min1} \geq h_{ж.м.}$, и при $S = S_{max}^T$, если $h_{min2} \geq h_{ж.м.}$

Значения h_{min1} и h_{min2} рассчитывают по зависимости

$$h_{min1} = \frac{(S_{min}^T + \Delta t) \cdot (1 - \chi_1)}{2}, \quad (3.15)$$

$$h_{min2} = \frac{(S_{max}^T + \Delta t + \Delta_{изн}) \cdot (1 - \chi_2)}{2}. \quad (3.16)$$

Значения относительного эксцентриситета χ_1 и χ_2 определяют из зависимости (3.3) или по табл. 3.4, для чего рассчитывают коэффициенты нагруженности C_{R1} и C_{R2} по зависимости (3.2), принимая соответственно $\psi_1 = S_{min}^T/d$ и $\psi_2 = S_{max}^T/d$.

Разность $S_{max}^F - S_{max}^T$ называют запасом на износ подшипника $T_{и}$ (см. рис. 3.11), определяющим его долговечность. Увеличение этого запаса приводит к соответствующему увеличению долговечности подшипника скольжения.

3.4. Коэффициент нагруженности C_R для половинных* подшипников [15]

Относительный эксцентриситет χ	Коэффициент нагруженности C_R при ℓ/d											
	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,5	2,0
0,3	0,089	0,133	0,182	0,234	0,287	0,339	0,391	0,440	0,487	0,529	0,610	0,763
0,4	0,141	0,209	0,283	0,361	0,439	0,515	0,589	0,658	0,723	0,784	0,891	1,091
0,5	0,216	0,317	0,427	0,538	0,647	0,754	0,853	0,947	1,033	1,111	1,248	1,483
0,6	0,339	0,493	0,655	0,816	0,972	1,118	1,253	1,377	1,489	1,590	1,763	2,070
0,65	0,431	0,622	0,819	1,014	1,199	1,371	1,528	1,669	1,796	1,912	2,099	2,446
0,7	0,573	0,819	1,070	1,312	1,538	1,745	1,929	2,097	2,247	2,379	2,600	2,981
0,75	0,776	1,098	1,418	1,720	1,965	2,248	2,469	2,664	2,838	2,990	3,242	3,671
0,8	1,079	1,572	2,001	2,399	2,754	3,067	3,372	3,580	3,787	3,968	4,266	4,778
0,85	1,775	2,428	3,036	3,580	4,053	4,459	4,808	5,106	5,364	5,586	5,947	6,545
0,9	3,195	4,261	5,214	6,029	6,721	7,294	7,772	8,186	8,533	8,831	9,304	10,091
0,925	5,055	6,615	7,956	9,072	9,992	10,753	11,380	11,910	12,350	12,730	13,340	14,340
0,95	8,393	10,706	12,640	14,140	15,370	16,370	17,180	17,860	18,430	18,910	19,680	20,970
0,975	21,00	25,62	29,17	31,88	33,99	35,66	37,00	38,12	39,04	39,81	41,07	43,11
0,99	65,26	75,86	83,21	88,90	92,89	96,35	98,95	101,20	102,90	104,40	106,80	110,80

Определение толщины масляного слоя h при заданном зазоре S : относительный зазор $\psi = S/d$; коэффициент нагруженности $C_R = \frac{p \cdot \psi^2}{\mu \cdot \omega}$;

из таблицы по C_R определяется χ ; толщина масляного слоя $h = S/2 \cdot (1 - \chi)$.

Примечание. Промежуточные значения следует получать интерполяцией табличных данных.

* – у половинных подшипников (с углом захвата 180°) масляный слой создается на половине длины окружности диаметра $d(D)$.

Пример 3.2

Подшипник скольжения с диаметром цапфы $d = 50$ мм и длиной $\ell = 50$ мм предназначен для работы с частотой вращения $n = 1200$ мин⁻¹ при радиальной нагрузке $R = 2$ кН. Материал цапфы – сталь 45, вкладыша – бронза оловянная Бр. О10Ф1. Высота неровностей профиля по десяти точкам цапфы и вкладыша соответственно равна $Rz_d = 1,6$ мкм и $Rz_D = 3,2$ мкм. Подшипник работает при температуре $t = 35 \dots 50$ °С, в качестве смазки используется масло индустриальное 12 (И-12). Температура рабочего пространства при сборке $t = 20$ °С.

Необходимо рассчитать допускаемые зазоры в соединении цапфы и вкладыша и выбрать соответствующую им стандартную посадку.

– Определяем величину среднего давления:

$$p = \frac{2 \cdot 10^3 \cdot 10^6}{50 \cdot 50} = 8 \cdot 10^5 \text{ Па.}$$

– Рассчитываем угловую скорость:

$$\omega = \frac{3,14 \cdot 1200}{30} = 125,6 \text{ рад/с.}$$

– По зависимости (3.5) рассчитываем оптимальные значения диаметального зазора $S_{\text{опт}}$. Для этого по табл. 3.3 определяем значение коэффициента $m_2 = 0,76$. По рис. 3.10, а для большей температуры работы соединения из указанного в исходных данных диапазона $t = 50$ °С находим динамическую вязкость масла И-12 $\eta_1 = 0,011$ Па·с.

$$S_{\text{опт}} = 50 \cdot \sqrt{\frac{0,011 \cdot 125,6}{8 \cdot 10^5} \cdot 0,76} = 0,057 \text{ мм.}$$

– По зависимости (3.7) определяем толщину масляного слоя, при которой обеспечивается жидкостное трение. Принимаем $k_{\text{ж.т}} = 2$, $\Delta_\partial = 2$ мкм.

$$h_{\text{ж.т}} = 2 \cdot (1,6 + 3,2 + 2) \cdot 10^{-3} = 0,014 \text{ мм.}$$

– Рассчитываем по зависимостям (3.8) и (3.9) предельные значения диаметальных зазоров. Для выполнения вычислений по табл. 3.3 определяем коэффициент $m_1 = 0,76$; по рис. 3.10, а для меньшей температуры работы соединения из указанного в исходных данных диапазона $t = 35$ °С находим динамическую вязкость масла И-12 $\eta_2 = 0,022$ Па·с.

$$S_{\text{min}} = \frac{0,76 \cdot 0,011 \cdot 125,6 \cdot 50^2}{4 \cdot 8 \cdot 10^5 \cdot 0,014} - \frac{\sqrt{(0,76 \cdot 0,011 \cdot 125,6 \cdot 50^2)^2 - 16 \cdot 8 \cdot 10^5 \cdot 0,014^2 \cdot 0,011 \cdot 0,76 \cdot 125,6 \cdot 50^2}}{4 \cdot 8 \cdot 10^5 \cdot 0,014} = 0,046 \text{ мм.}$$

$$S_{max} = \frac{0,76 \cdot 0,022 \cdot 125,6 \cdot 50^2}{4 \cdot 8 \cdot 10^5 \cdot 0,014} + \frac{\sqrt{(0,76 \cdot 0,022 \cdot 125,6 \cdot 50^2)^2 - 16 \cdot 8 \cdot 10^5 \cdot 0,014^2 \cdot 0,022 \cdot 0,76 \cdot 125,6 \cdot 50^2}}{4 \cdot 8 \cdot 10^5 \cdot 0,014} = 0,202 \text{ мм.}$$

– По зависимостям (3.10) и (3.11) определяем предельные значения функциональных диаметральных зазоров. Для этого по зависимостям (3.12) и (3.13) определяем поправки $\Delta_{изн}$ и Δ_t . Учитывая, что температура рабочего пространства при сборке $t_{сб} = 20$ °С, находим разность между наибольшей рабочей температурой соединения и температурой сборки $\Delta t_D = \Delta t_d = 50 - 20 = 30$ °С. По табл. П.2.1. для вкладыша из оловянной бронзы находим коэффициент линейного расширения $\alpha_D = 17,5 \cdot 10^{-6}$ °С⁻¹, для цапфы из углеродистой стали – $\alpha_d = 11,5 \cdot 10^{-6}$ °С⁻¹.

$$\text{Тогда} \quad \Delta_t = 50 \cdot (17,5 \cdot 10^{-6} \cdot 30 - 11,5 \cdot 10^{-6} \cdot 30) = 0,009 \text{ мм;}$$

$$\Delta_{изм} = 2 \cdot (3,2 + 1,6) \cdot 10^{-3} = 0,01 \text{ мм.}$$

Учитывая рассчитанные поправки, определяем предельные значения функциональных диаметральных зазоров:

$$S_{min}^F = 0,046 - 0,009 = 0,037 \text{ мм;} \quad S_{max}^F = 0,202 - 0,009 - 0,01 = 0,183 \text{ мм.}$$

– По ГОСТ 25347 выбираем стандартную посадку, у которой $S_{min}^T \geq S_{min}^F$, $S_{max}^T \leq S_{max}^F$, а средний зазор S_m^T близок к $S_{омт}$. Этим условиям удовлетворяет посадка $\varnothing 50H7/e8$, у которой $S_{min}^T = 0,05$ мм, $S_{max}^T = 0,114$ мм, $S_m^T = 0,082$ мм.

$$0,050 > 0,037 (S_{min}^T > S_{min}^F); \quad 0,114 < 0,183 (S_{max}^T < S_{max}^F).$$

Эта посадка обеспечивает достаточный запас на износ подшипника:

$$T_{и} = 0,183 - 0,114 = 0,069 \text{ мм.}$$

– Проверяем условие устойчивой работы подшипника. Для этого определяем относительный зазор ψ_1 и коэффициент нагруженности подшипника C_{R_1} для наименьшего зазора выбранной посадки:

$$\psi_1 = \frac{0,050}{50} = 0,001 \text{ мм;}$$

$$C_{R_1} = \frac{8 \cdot 10^5 \cdot 0,001^2}{0,011 \cdot 125,6} = 0,579.$$

По табл. 3.4 находим $\chi_1 \approx 0,4$. Следовательно, условие $\chi_1 = \chi_{min} \geq 0,3$ ($0,4 > 0,3$) выполняется.

– Проверяем выполнение условий жидкостного трения, для чего рассчитываем значения толщины масляного слоя h_{min_1} и h_{min_2} по зависимостям (3.15) и (3.16). Для этого определяем значения относительного эксцентриситета для наименьшего и наибольшего зазоров выбранной посадки.

$$\chi_1 = 0,4 \text{ (см. расчет выше);}$$

при
$$\psi_2 = \frac{0,114}{50} = 0,0023 \text{ мм,}$$

$$C_{R_2} = \frac{8 \cdot 10^5 \cdot 0,0023^2}{0,022 \cdot 125,6} = 1,53.$$

$$\chi_2 = 0,65 \text{ (см. табл. 3.4);}$$

$$h_{min_1} = \frac{(0,050 + 0,009) \cdot (1 - 0,4)}{2} = 0,018 \text{ мм;}$$

$$h_{min_2} = \frac{(0,114 + 0,009 + 0,010) \cdot (1 - 0,65)}{2} = 0,023 \text{ мм.}$$

Жидкостное трение обеспечивается, так как

$$0,018 > 0,014 \text{ (мм)} \quad (h_{min_1} > h_{ж.м}); \quad 0,023 > 0,014 \text{ (мм)} \quad (h_{min_2} > h_{ж.м}).$$

Следовательно, выбранная посадка $\varnothing 50H7/e8$ обеспечивает жидкостное трение в подшипнике скольжения при заданных условиях его эксплуатации.

– Строим схему полей допусков выбранной посадки (рис. 3.12). На схеме условно показываем оптимальный зазор S_{onm} и запас на износ цапфы T_{ud} и вкладыша T_{uD} (принимая $T_{ud} = T_{uD} = T_u/2$).

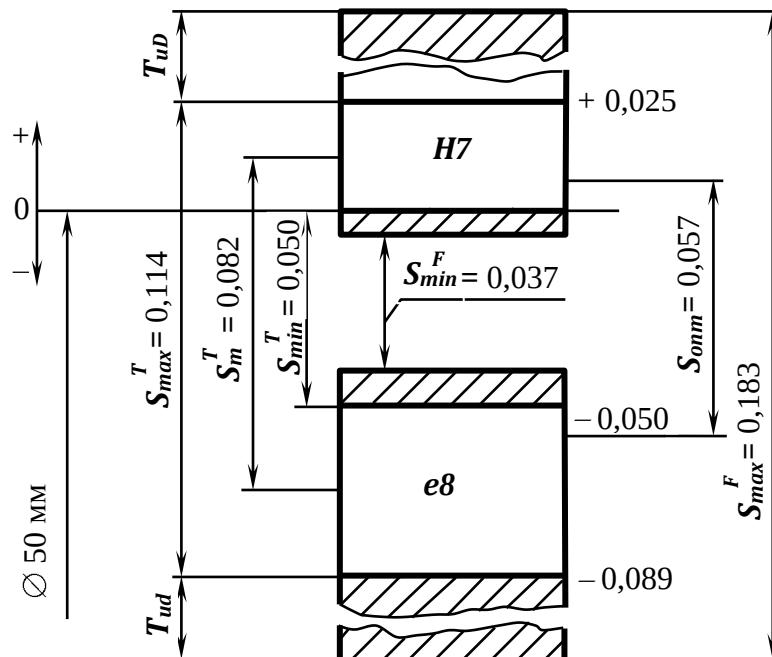


Рис. 3.12. Схема полей допусков к расчету посадки с зазором

3.1.4. Расчет и выбор посадок с натягом

Посадки с натягом предназначены в основном для получения неподвижных неразъемных соединений, как правило, без дополнительного крепления соединяемых деталей. Дополнительное крепление соединенных с натягом деталей используют в исключительных случаях для повышения надежности неподвижных соединений. Относительная неподвижность деталей в соединениях с гарантированным натягом обеспечивается силами трения, возникающими на контактирующих поверхностях соединяемых деталей вследствие их деформации при сборке соединения.

Соединения с натягом получаются при сборке деталей под прессом, с нагревом охватываемой детали (втулки) или с охлаждением охватываемой детали (вала).

Посадки с натягом назначают методами аналогии и подобия, в ответственных соединениях – рассчитывают [5, 13, 15, 18 и др.].

Расчет посадки с натягом сводится к определению:

- минимально допускаемого натяга, обеспечивающего прочность соединения, т. е. относительную неподвижность деталей соединения при действии внешней нагрузки – осевой силы P_o , крутящего момента M_k , или при их совместном действии;
- максимально допускаемого натяга, определяемого прочностью соединяемых деталей, т. е. создающего в материалах соединяемых деталей напряжения, не превышающие допускаемые.

Расчет выполняют в приведенной ниже последовательности.

- Определяют значение минимального расчетного натяга N_{min}^P , мм:

при действии осевой силы P_o

$$N_{min}^P = \frac{P_o}{\pi \cdot \ell \cdot f} \cdot \left(\frac{C_d}{E_d} + \frac{C_D}{E_D} \right); \quad (3.17)$$

при действии крутящего момента M_k

$$N_{min}^P = \frac{2 \cdot M_k}{\pi \cdot d \cdot \ell \cdot f} \cdot \left(\frac{C_d}{E_d} + \frac{C_D}{E_D} \right); \quad (3.18)$$

при одновременном действии P_o и M_k

$$N_{min}^P = \frac{\sqrt{\left(\frac{2 M_k}{d} \right)^2 + P_o^2}}{\pi \cdot \ell \cdot f} \cdot \left(\frac{C_d}{E_d} + \frac{C_D}{E_D} \right), \quad (3.19)$$

где P_o – осевая сила, Н; M_k – крутящий момент, Н·мм; d и D – номинальный диаметр сопрягаемых поверхностей соответственно вала и втулки, мм (рис. 3.13); ℓ – длина соедине-

ния, мм; f – коэффициент трения при распрессовке (табл. П.2.2); E_d и E_D – модули упругости материала соответственно вала и втулки, МПа (см. табл. П.2.1); C_d и C_D – коэффициенты Ляме:

$$C_d = \frac{1 + \left(\frac{D_1}{d}\right)^2}{1 - \left(\frac{D_1}{d}\right)^2} - \mu_d; \quad (3.20)$$

$$C_D = \frac{1 + \left(\frac{D}{d_2}\right)^2}{1 - \left(\frac{D}{d_2}\right)^2} + \mu_D, \quad (3.21)$$

где D_1 и d_2 – диаметр соответственно отверстия полого вала и наружной поверхности втулки (см. рис. 3.13), мм; μ_d и μ_D – коэффициенты Пуассона материалов соответственно вала и втулки (см. табл. П.2.1).

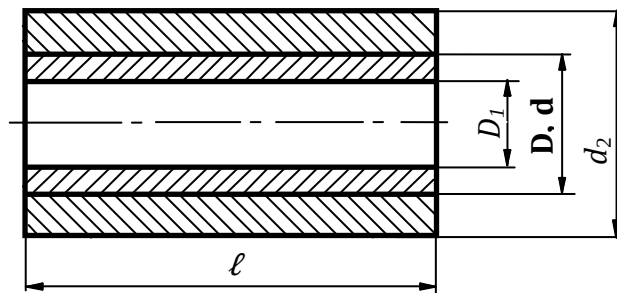


Рис. 3.13. Эскиз соединения

– Определяют значение максимального расчетного натяга N_{max}^P , мм:

$$N_{max}^P = p_{max} \cdot d \cdot \left(\frac{C_d}{E_d} + \frac{C_D}{E_D} \right). \quad (3.22)$$

В качестве $[p_{max}]$ принимают наименьшее из значений $[p_d]$ и $[p_D]$.

Допускаемое давление (МПа) на контактной поверхности вала

$$p_d = 0,58 \cdot \sigma_{Td} \cdot \left[1 - \left(\frac{D_1}{d} \right)^2 \right]. \quad (3.23)$$

Допускаемое давление (МПа) на контактной поверхности втулки

$$p_D = 0,58 \cdot \sigma_{TD} \cdot \left[1 - \left(\frac{D}{d_2} \right)^2 \right], \quad (3.24)$$

где σ_{Td} и σ_{TD} – предел текучести материала соответственно вала и втулки, МПа (табл. П.2.3).

– Определяют значения функциональных натягов N_{min}^F , N_{max}^F , принимают в качестве предельно допускаемых (мм):

$$N_{min}^F = N_{min}^P + U_1 + U_2; \quad (3.25)$$

$$N_{max}^F = N_{max}^P \cdot U_3 + U_1 + U_2; \quad (3.26)$$

где U_1 – поправка, учитывающая смятие неровностей контактных поверхностей деталей при образовании соединения:

$$U_1 = 1,2 \cdot (Rz_d + Rz_D) \cdot 10^{-3} \approx 4,8 \cdot (Ra_d + Ra_D) \cdot 10^{-3}, \quad (3.27)$$

где Rz_d (Ra_d), Rz_D (Ra_D) – параметры шероховатости: с индексом d – вала, с индексом D – втулки, мкм; U_2 – поправка, учитывающая различие рабочей температуры деталей t_d и t_D и температуры помещения при сборке $t_{сб}$, различие коэффициентов линейного расширения материалов соединяемых деталей, мм:

$$U_2 = d \cdot (\alpha_D \cdot \Delta t_D - \alpha_d \cdot \Delta t_d), \quad (3.28)$$

где α_d и α_D – коэффициенты линейного расширения материалов соответственно вала и втулки, $^{\circ}\text{C}^{-1}$ (см. табл. П.2.1); Δt_d и Δt_D – разность между рабочей температурой соответственно вала t_d и втулки t_D и температурой рабочего пространства при сборке $t_{сб}$, $^{\circ}\text{C}$:

$$\Delta t_d = t_d - t_{сб}; \quad \Delta t_D = t_D - t_{сб}; \quad (3.29)$$

положительную поправку U_2 учитывают при расчете N_{min}^F , а отрицательную – при расчете N_{max}^F ; U_3 – коэффициент увеличения давления у торцов втулки; величину U_3 можно определить по графику на рис. 3.14 (при $\ell/d > 1,1$ значение коэффициента U_3 принимают равным значению, соответствующему $\ell/d = 1,1$ или рассчитывают по методике [15]).

– Выбирают стандартную посадку, удовлетворяющую следующим условиям:

– прочности соединения, определяемой неравенством

$$N_{min}^T > N_{min}^F; \quad (3.30)$$

– прочности деталей соединения, определяемой неравенством

$$N_{max}^T < N_{max}^F; \quad (3.31)$$

– надежности соединения, определяемой необходимой величиной запаса прочности на эксплуатацию $N_{зэ}$, мм:

$$N_{зэ} = N_{min}^T - N_{min}^F \geq 0,2 T N^F; \quad (3.32)$$

$$T N^F = N_{max}^F - N_{min}^F;$$

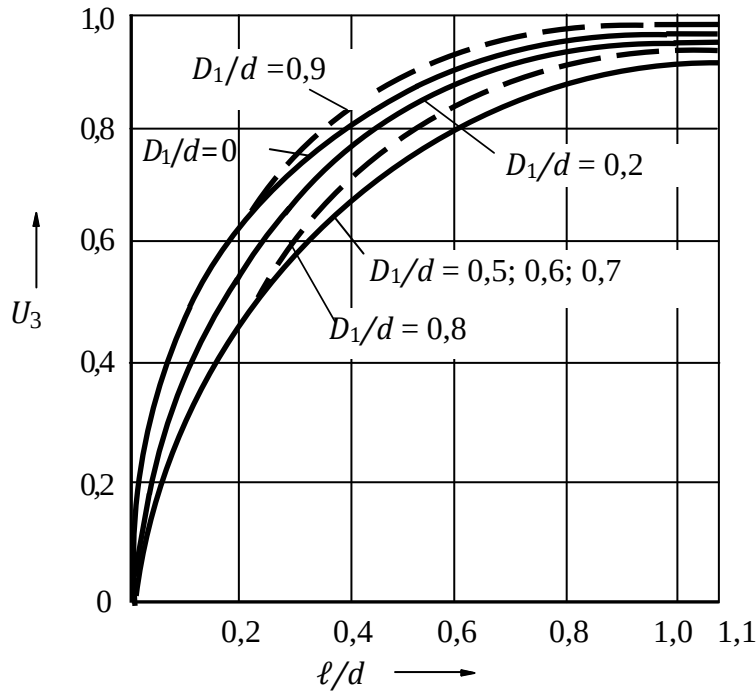


Рис. 3.14. График зависимости коэффициента U_3 от размеров соединения [15]

– наличия запаса прочности на сборку N_{3c} , мм

$$N_{3c} = N_{max}^F - N_{max}^T, \quad (3.33)$$

который может быть меньше запаса прочности на эксплуатацию N_{33} .

Расчет посадки с натягом включает в себя и расчет основного режимного параметра процесса сборки – усилия запрессовки $P_{зан}$ (Н) при механической запрессовке, температуры нагрева втулки t_n (°C) или температуры охлаждения вала $t_{охл}$ (°C) при сборке с термовоздействием [15].

$$P_{зан} = f' \cdot p_{max} \cdot \pi \cdot d \cdot \ell, \quad (3.34)$$

где f' коэффициент трения при запрессовке, $f' = (1,15 \dots 2) \cdot f$ [15]; p_{max} , МПа – давление при максимальном натяге N_{max}^T :

$$p_{max} = \frac{N_{max}^T - U_1}{d \cdot \left(\frac{C_d}{E_d} + \frac{C_D}{E_D} \right)}. \quad (3.35)$$

$$t_n \approx \frac{N_{max}^T \cdot S_{сб}}{\alpha_D \cdot d} \cdot t_{сб}, \quad (3.36)$$

где $S_{сб}$, мм – минимальный необходимый зазор при сборке (часто $S_{сб}$ принимают равным S_{min} в посадках H/g).

Температура нагрева втулки колеблется в диапазоне (75 ... 450) °C [15].

$$t_{охл} = t_{сб} \cdot \frac{N_{max}^T \cdot S_{сб}}{\alpha_d \cdot d}. \quad (3.37)$$

Величину зазора $S_{сб}$ назначают так же, как и в предыдущем случае.

Температуру охлаждения вала назначают $t_{охл} = -75^\circ\text{C}$ (охлаждение в спирте или ацетоне, предварительно остуженных твердой углекислотой), $t_{охл} = -120^\circ\text{C}$ (охлаждение в аммиачном рефрижераторе), $t_{охл} = -195^\circ\text{C}$ (охлаждение жидким азотом) [15].

Пример 3.3

Соединение с натягом (рис. 3.15) с размерами $d(D) = 120$ мм, $D_1 = 50$ мм, $d_2 = 200$ мм, $\ell = 160$ мм предназначено для передачи крутящего момента $M_k = 14$ кН·м.

Материал деталей соединения – сталь 35 ($E_d = E_D = 2,1 \cdot 10^5$ МПа; $\sigma_{Td} = \sigma_{TD} = 320$ МПа; $\mu_d = \mu_D = 0,3$). Шероховатость контактирующих поверхностей: $Rz_1 = 5$ мкм, $Rz_2 = 6,3$ мкм. Сборку осуществляют механической запрессовкой со смазкой; температура рабочего пространства при сборке $t_{сб} = 20^\circ\text{C}$; рабочая температура деталей $t_d = t_D = 20^\circ\text{C}$.

Необходимо рассчитать допускаемые натяги и выбрать соответствующую им стандартную посадку.

– Определяем минимальный расчетный натяг по зависимости (3.18). Для этого принимаем коэффициент трения $f = 0,08$ (см. табл. П.2.2) и рассчитываем коэффициенты C_d и C_D по зависимостям (3.20) и (3.21):

$$C_d = \frac{1 + \left(\frac{50}{120}\right)^2}{1 - \left(\frac{50}{120}\right)^2} - 0,3 = 1,12; \quad C_D = \frac{1 + \left(\frac{120}{200}\right)^2}{1 - \left(\frac{120}{200}\right)^2} + 0,3 = 2,42.$$

Тогда, по зависимости (3.18)

$$N_{min}^P = \frac{2 \cdot 14 \cdot 10^6}{3,14 \cdot 120 \cdot 160 \cdot 0,08} \cdot \left(\frac{1,12}{2,1 \cdot 10^5} + \frac{2,42}{2,1 \cdot 10^5} \right) = 0,098 \text{ мм.}$$

– Определяем максимальный расчетный натяг по зависимости (3.22). Для этого определяем значения $[p_d]$ и $[p_D]$ по зависимостям (3.23) и (3.24):

$$p_d = 0,58 \cdot 320 \cdot \left[1 - \left(\frac{50}{120} \right)^2 \right] = 152 \text{ МПа;}$$

$$p_D = 0,58 \cdot 320 \cdot \left[1 - \left(\frac{120}{200} \right)^2 \right] = 119 \text{ МПа.}$$

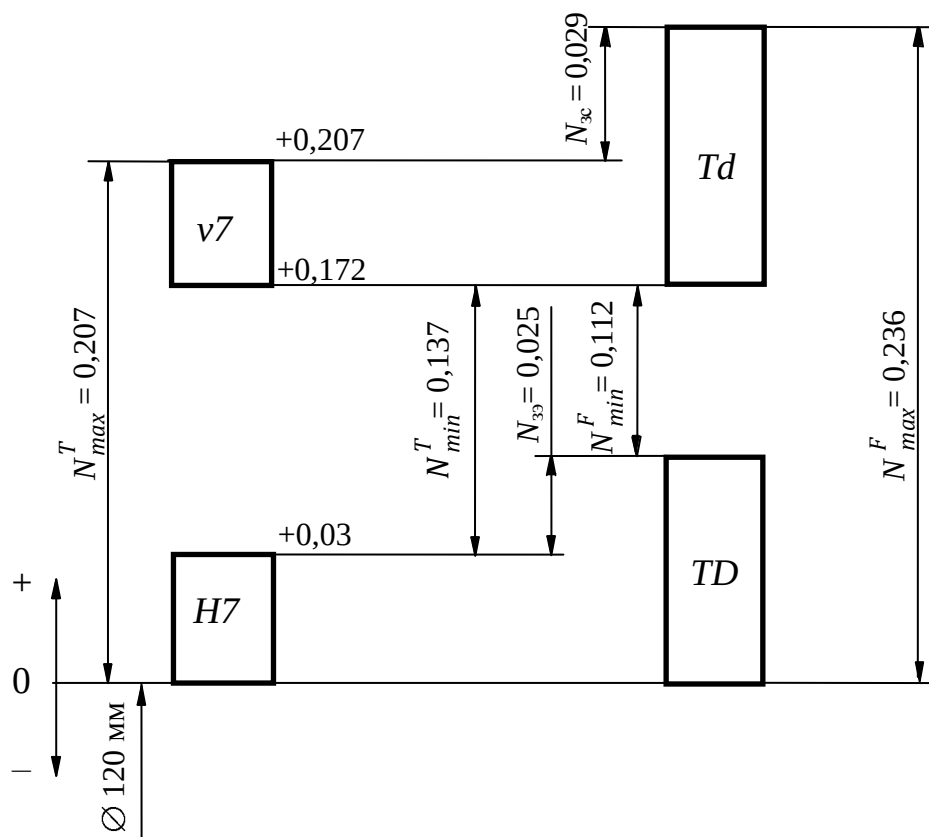


Рис. 3.15. Схема полей допусков посадок с натягом

Так как допускаемое давление на контактной поверхности втулки $[p_D]$ меньше допускаемого давления на контактной поверхности вала $[p_d]$, принимаем

$$[p_{max}] = [p_D] = 119 \text{ МПа.}$$

Тогда

$$N_{max}^p = 119 \cdot 120 \cdot \left(\frac{1,12}{2,1 \cdot 10^5} + \frac{2,42}{2,1 \cdot 10^5} \right) = 0,241 \text{ мм.}$$

– Определяем функциональные натяги по зависимостям (3.25), (3.26); для этого определяем поправки U_1 , U_2 , U_3 (см. зависимости (3.27), (3.28), рис. 3.14).

$$U_1 = 1,2 \cdot (5 + 6,3) \cdot 10^{-3} = 0,014 \text{ мм.}$$

Так как температура рабочего пространства при сборке $t_{сб}$ и рабочая температура деталей равны ($t_{сб} = t_D = t_d = 20 \text{ }^\circ\text{C}$), поправка $U_2 = 0$.

При $\ell/D = 160/120 \approx 1,33$ и $D/d = 50/120 \approx 0,4$ $U_3 = 0,92$.

Тогда

$$N_{min}^F = 0,098 + 0,014 + 0 = 0,112 \text{ мм;}$$

$$N_{max}^F = 0,241 \cdot 0,92 + 0,014 + 0 = 0,236 \text{ мм.}$$

– Определяем допуск натяга TN^F :

$$TN^F = 0,236 - 0,112 = 0,124 \text{ мм.}$$

Приняв $Td = TD$, получаем

$$Td = TD = \frac{TN^F}{2} = \frac{0,124}{2} \approx 0,062 \text{ мм.}$$

Стандартную посадку с натягом можно назначить, так как допуски Td и TD достаточно велики для выбора посадки из числа рекомендуемых в квалитетах 6 – 7.

– Выбираем по ГОСТ 25347 посадку, для которой выполняются условия (3.30), (3.31):

$$N_{min}^T > N_{min}^F; (N_{min}^F = 0,112 \text{ мм});$$

$$N_{max}^T < N_{max}^F; (N_{max}^F = 0,236 \text{ мм}).$$

Этим условиям удовлетворяет посадка $\varnothing 120H7/v7$ (см. рис. 3.15), у которой $N_{min}^T = 0,137 \text{ мм}$, $N_{max}^T = 0,207 \text{ мм}$.

– Проверяем надежность соединения, определяемую величиной $N_{зэ}$:

$$N_{зэ} = 0,137 - 0,112 = 0,025 \text{ мм.}$$

Соединение считаем надежным, так как

$$N_{зэ} = 0,025 = 0,2 \cdot TN^F = 0,2 \cdot (0,236 - 0,112) = 0,025 \text{ мм.}$$

– Определяем запас прочности на сборку

$$N_{зс} = 0,236 - 0,207 = 0,029 \text{ мм.}$$

3.1.5. Расчет и выбор посадок подшипников качения

Общие положения

Подшипники качения, изготавливаемые на специализированных предприятиях, являются одним из самых распространенных элементов различных машин и приборов, определяющим их эксплуатационные характеристики: точность, работоспособность, ремонтпригодность и др.

Самый простой по конструкции подшипник качения состоит из наружного кольца 1, внутреннего кольца 2, тел качения 3 (шариков, роликов, иголок), сепаратора 4 (рис. 3.16).

Основными присоединительными размерами, по которым осуществляется полная внешняя взаимозаменяемость подшипника, является наружный диаметр D наружного кольца и диаметр отверстия d внутреннего кольца.

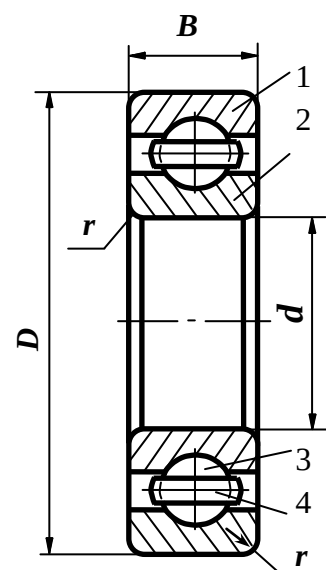


Рис. 3.16. Размеры подшипника качения

Точность подшипника качения определяется точностью его размеров D (D_m) d (d_m), B или T (B – ширина колец подшипника, T – монтажная высота упорных, роликовых конических и др. подшипников), точностью формы, расположения и шероховатостью поверхностей колец и тел качения, радиальным и осевым биениями подшипника.

Средние диаметры D_m и d_m определяют как среднее арифметическое значение наибольшего и наименьшего диаметров, измеренных в двух крайних сечениях колец ($D_m = (D_{max} + D_{min})/2$, $d_m = (d_{max} + d_{min})/2$).

Допуски диаметров D_m и d_m установлены меньшими, чем допуски диаметров D и d (рис. 3.17). Это сделано для того, чтобы компенсировать погрешности формы тонкостенных нежестких колец, дополнительно приобретаемые ими при установке с натягом на валы и в корпусах, имеющие свои погрешности формы.

Кольца подшипника до сборки считаются годными, если в заданных пределах находятся не только действительные диаметры D и d , но и диаметры D_m и d_m .

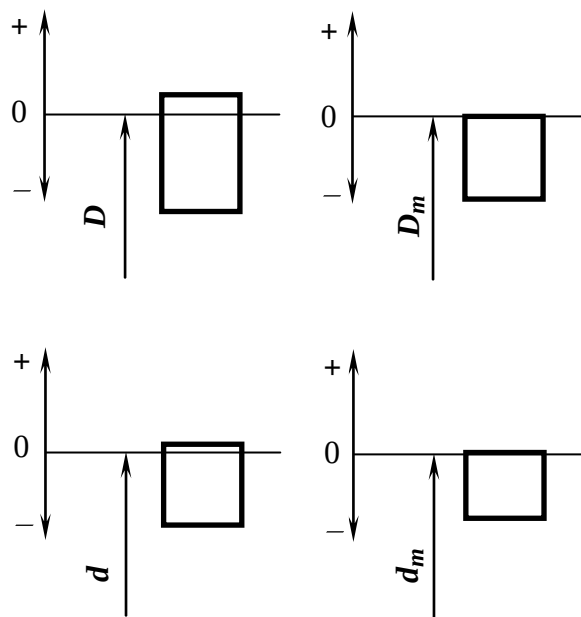


Рис. 3.17. Схемы полей допусков диаметров D и D_m наружного кольца и d и d_m внутреннего кольца подшипника качения

Расчет параметров посадок (зазоров и натягов) колец подшипников в корпус* и на вал производят с учетом предельных отклонений, установленных для диаметров D_m и d_m .

В зависимости от точности названных выше параметров для шариковых и роликовых подшипников установлены классы точности:

- 0, 6, 5, 4, 2, Т – для шариковых и роликовых радиальных и шариковых радиально-упорных подшипников;
- 0 6, 5 4, 2 – для упорных и упорно-радиальных подшипников;
- 0, 6X, 6, 5, 4, 2 – для роликовых конических подшипников.

Наиболее грубым классом является класс 0, наиболее точными – классы 2 и Т.

Кроме названных классов точности установлены более грубые классы 8 и 7; подшипники этих классов поставляются по заказам потребителей.

* Под корпусом условно понимают деталь, соединяемую с наружным кольцом подшипника.

Класс точности подшипника указывают через тире в его условном обозначении перед обозначением типоразмера (номера) подшипника (например, 5-206 – подшипник шариковый радиальный однорядный, диаметр отверстия внутреннего кольца $d = 30$ мм, 5-го класса точности). Класс точности 0 в условном обозначении подшипника не указывают (например, 206 – тот же подшипник 0-го класса точности).

Поля допусков колец подшипников

Основные отклонения диаметров D (D_m) и d (d_m) обозначают соответственно буквами латинского алфавита ℓ и L . Тогда поля допусков этих диаметров, образованные сочетанием основного отклонения и класса точности подшипника, могут быть записаны в виде: $\ell 0, \ell 6, \ell 5, \ell 4, \ell 2$ – для наружного кольца; $L 0, L 6, L 5, L 4, L 2$ – для внутреннего кольца.

Кольца подшипников изготавливают с диаметрами присоединительных поверхностей D и d , не зависящими от посадок, по которым они будут монтироваться в изделия. При этом поля допусков средних диаметров D_m и d_m располагаются «в минус» от нулевой линии (рис. 3.18). Это связано с технологией изготовления наружных колец и необходимостью получения небольших натягов при установке на вал внутренних колец.

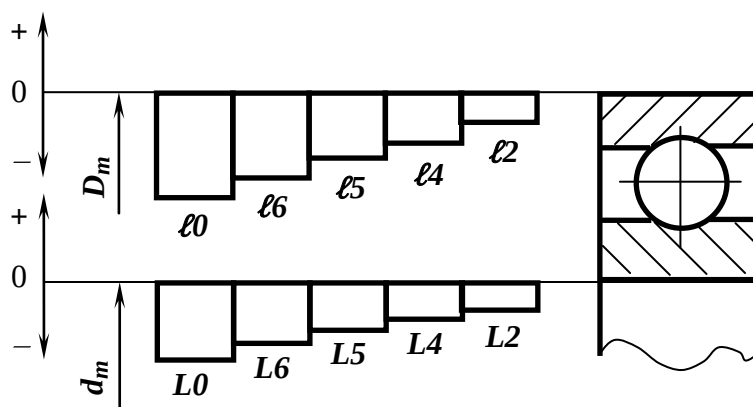


Рис. 3.18. Схема расположения полей допусков диаметров d_m и D_m колец подшипников качения разных классов точности

Выбор посадок подшипников в корпус и на вал осуществляют с учетом их конструктивных характеристик, требований к точности, условий эксплуатации (характера действующих нагрузок, вида нагружения колец подшипников), а иногда и некоторых других параметров. При этом основным критерием выбора посадок является вид нагружения колец подшипников качения.

Виды нагружения колец подшипников

Различают циркуляционное, местное и колебательное нагружения колец подшипников качения (табл. 3.5).

3.5. Виды нагружения колец подшипников качения (ГОСТ 3325)

Условия работы		Вид нагружения	
Характеристика	Вращающееся	внутреннего	наружного
радиальных нагрузок	кольцо	кольца	кольца
Постоянная по направлению (рис. 3.19, а, б)	Внутреннее	циркуляционное	местное
	Наружное	местное	циркуляционное
Постоянная по направлению и вращающаяся, меньшая постоянной по значению (рис. 3.19, в)	Внутреннее	циркуляционное	колебательное
	Наружное	колебательное	циркуляционное
Постоянная по направлению и вращающаяся, большая по значению	Внутреннее	местное	циркуляционное
	Наружное	циркуляционное	местное
Постоянная по направлению	Внутреннее и	циркуляционное	циркуляционное
Вращающаяся с внутренним кольцом	наружное кольца в одном или	местное	циркуляционное
Вращающаяся с наружным кольцом	противоположном направлении	циркуляционное	местное
Примечание. Под радиальной нагрузкой понимают равнодействующую всех радиальных сил, действующих на подшипник.			

При циркуляционном нагружении кольцо подшипника воспринимает радиальную нагрузку P_r последовательно всеми точками дорожки качения. Такое нагружение испытывает, например, кольцо, вращающееся относительно постоянной по величине и направлению радиальной нагрузки P_r : внутреннее – на рис. 3.19, а; наружное – на рис. 3.19, б.

Циркуляционно нагруженные кольца подшипников качения устанавливают в корпус или на вал по посадке с натягом (гарантированным или преимущественным), исключая проскальзывание кольца относительно посадочной поверхности сопрягаемой детали в процессе эксплуатации изделия.

При местном нагружении кольцо подшипника воспринимает радиальную нагрузку P_r одним и тем же ограниченным участком дорожки качения. Такое нагружение испытывает, например, кольцо, не вращающееся относительно постоянной по величине и направлению радиальной нагрузки P_r : наружное на рис. 3.19, а; внутреннее на рис. 3.19, б.

Местно нагруженные кольца подшипников качения устанавливают в корпус или на вал по посадке с зазором (гарантированным или преимущественным). Наличие зазора исключает заклинивание тел качения при монтаже подшипника и обеспечивает более

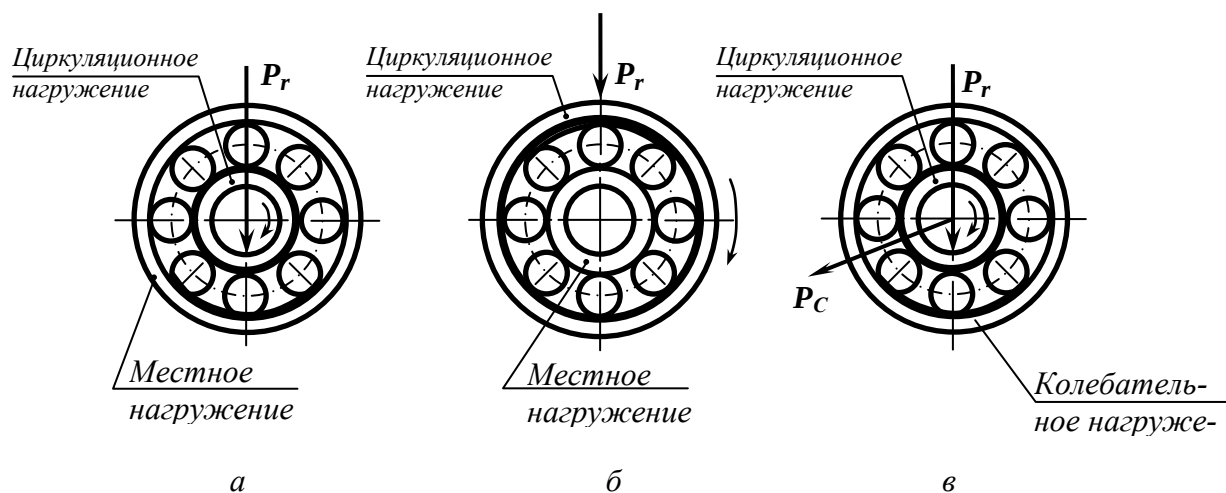


Рис. 3.19. Виды нагружения колец подшипников: *а* – вращается внутреннее кольцо, $P_r = \text{const}$ (по величине и направлению); *б* – вращается наружное кольцо, $P_r = \text{const}$; *в* – вращается внутреннее кольцо, $P_r = \text{const}$, P_c – постоянная по величине, вращающаяся нагрузка, $P_c < P_r$

равномерный износ дорожки качения местно нагруженного кольца за счет его постепенного поворота под действием толчков и вибраций в процессе эксплуатации изделия.

При колебательном нагружении невращающееся кольцо подшипника воспринимает равнодействующую двух радиальных нагрузок: P_r – постоянной по величине и направлению и P_c – постоянной по величине, но вращающейся относительно неподвижного кольца, причем $P_c < P_r$. Такое нагружение испытывает, например, наружное кольцо подшипника на рис. 3.19, *в*.

Колебательно нагруженные кольца устанавливают по переходным посадкам с преимущественным зазором для обеспечения равномерного износа кольца за счет постепенного поворота в процессе работы.

Посадки подшипников качения

Посадки наружного кольца подшипника в корпус осуществляются в системе вала, а внутреннего кольца на вал – в системе отверстия (рис. 3.20), так как подшипники качения являются стандартными изделиями, изготавливаемыми с размерами, не зависящими от посадок, по которым они монтируются.

Соединение внутреннего кольца подшипника с валами, имеющими основные отклонения f, g, h , обеспечивает получение зазора, а с валами, имеющими основные отклонения js, k, m, n – получение натяга.

Для получения зазора в соединениях наружного кольца с корпусом отверстия корпуса выполняют для основных типов соединений с основными отклонениями G, H, JS , а для получения натягов – с основными отклонениями K, M, N, P .

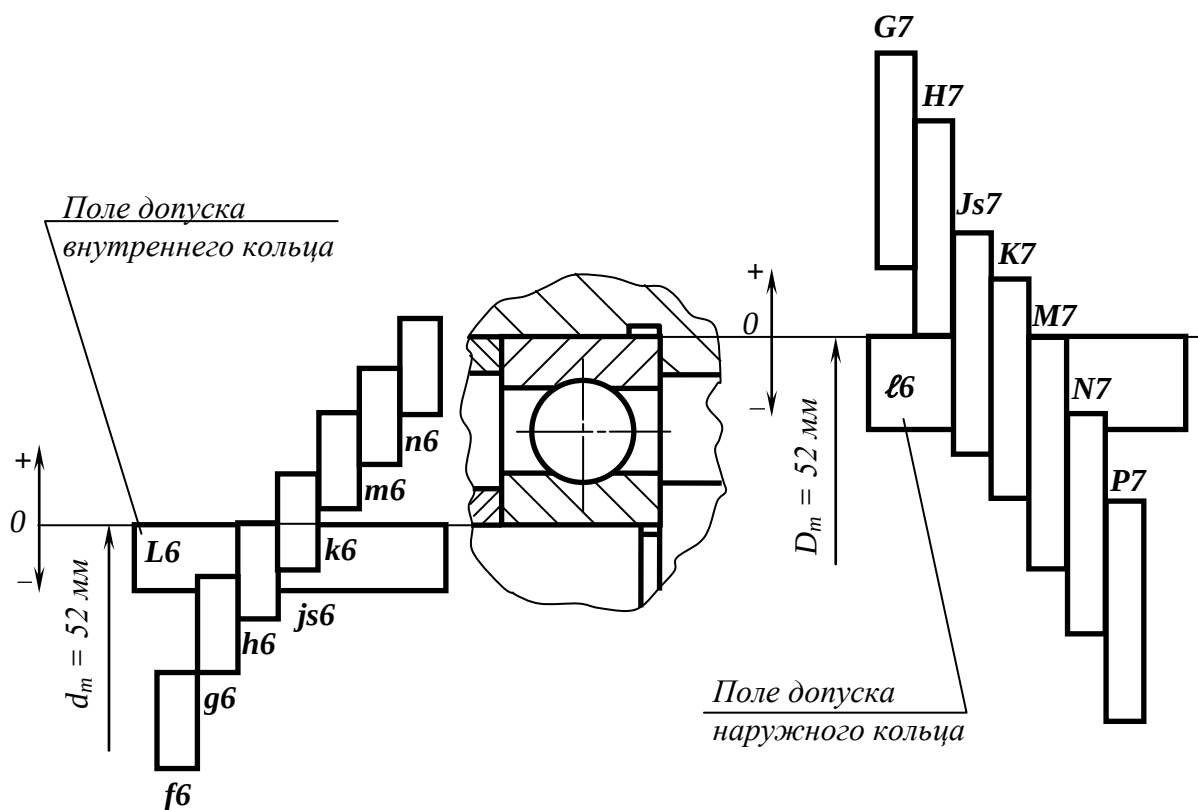


Рис. 3.20. Схемы полей допусков посадок подшипника 6-205 в корпус и на вал

Как зазоры, так и натяги могут быть получены при назначении посадок с гарантированными зазорами (например, $L6/f6$, $G7/\ell6$) или натягами (например, $L6/m6$, $P7/\ell6$), используемых при нагружении подшипникового узла большими, в том числе динамическими, нагрузками. Чаще назначают переходные посадки с преимущественным зазором (например, $L6/h6$, $JS7/\ell6$) или преимущественным натягом (например, $L6/js6$, $M7/\ell6$).

Выбор посадок подшипников качения

Как отмечалось выше, основным критерием выбора посадок подшипников качения является вид нагружения колец. Другим критерием выбора посадок подшипников качения является режим работы: легкий, нормальный, тяжелый или «особые условия», определяемый интенсивностью нагружения подшипникового узла P/C (табл. 3.6).

Интенсивность нагружения подшипникового узла определяется отношением динамической эквивалентной нагрузки P (динамической эквивалентной радиальной нагрузки P_r или динамической эквивалентной осевой нагрузки P_a) (табл. 3.7) к динамической грузоподъемности C (динамической радиальной грузоподъемности C_r для радиальных и радиально-упорных шариковых и роликовых подшипников или динамической осевой грузоподъемности C_a для упорных и упорно-радиальных подшипников [2, 16]).

3.6. Режимы работы подшипников качения (ГОСТ 3325)

Режим работы подшипника	Интенсивность нагружения подшипника P/C
Легкий	$P/C \leq 0,07$
Нормальный	$0,07 < P/C \leq 0,15$
Тяжелый	$P/C > 0,15$
«Особые условия»	*
* К режиму «Особые условия» относят условия работы подшипников, работающих при ударных и вибрационных нагрузках. Посадки подшипников при этом режиме выбирают как для тяжелого режима работы независимо от интенсивности нагружения P/C .	

3.7. Зависимости для расчета динамической эквивалентной нагрузки P (ГОСТ 18855)

Конструктивная разновидность подшипника	Динамическая эквивалентная нагрузка, Н	№ зависимости
Шариковый радиальный и радиально-упорный, роликовый радиально-упорный	$P = P_r = X \cdot V \cdot F_r + Y \cdot F_a$	(3.38)
Роликовый радиальный	$P = P_r = F_r$ (при $\alpha = 0$)	(3.39)
Шариковый и роликовый упорные	$P = P_a = F_a$ (при $\alpha = 90^\circ$)	(3.40)
Шариковый и роликовый упорно-радиальные	$P = P_a = X \cdot F_r + Y \cdot F_a$	(3.41)
Примечание. В зависимостях (3.38) – (3.41) F_r , F_a – соответственно радиальная и осевая нагрузка, действующая на подшипниковый узел, Н; X , Y – коэффициенты соответственно радиальной и осевой нагрузки (табл. П.3.1, П.3.2); V – коэффициент вращения, $V = 1$, если внутреннее кольцо вращается относительно направления нагрузки F_r , $V = 1,2$, если внутреннее кольцо неподвижно относительно направления нагрузки F_r ; α – угол контакта подшипника.		

Примеры применения установленных ГОСТ 3325 посадок подшипников качения в корпус и на вал приведены в табл. 3.8 – 3.9.

Кроме посадок, ГОСТ 3325 предусматривает требования к точности размеров (см. табл. П.1.12), точности взаимного расположения (см. табл. П.1.13, П.1.14), формы (см. табл. П.1.15) и шероховатости поверхностей (см. табл. П.1.16), сопрягаемых с подшипниками качения.

Посадки подшипников качения в корпус и на вал выбирают в следующей последовательности.

- Определяют вид нагружения колец подшипника (см. табл. 3.5).
- Рассчитывают динамическую эквивалентную нагрузку P (в зависимости от конструкции подшипника – P_r или P_a) (см. табл. 3.7).
- Определяют интенсивность нагружения подшипникового узла P/C .
- Определяют режим работы подшипника (см. табл. 3.6).

3.8. Рекомендуемые посадки шариковых и роликовых подшипников на вал (ГОСТ 3325)

Условия, определяющие выбор посадки		Диаметры отверстий подшипников, мм				Примеры машин и подшипниковых узлов	Рекомендуемые посадки
Вид нагружения внутреннего кольца	Режим работы	радиальных		радиально-упорных			
		шари- ко- вых	ролико- вых	шари- ко- вых	ролико- вых		
1	2	3	4	5	6	7	8
Местное (вал не вращается)	Легкий или нормальный	Подшипники всех диаметров				Ролики ленточных транспортеров, конвейеров	<i>L0/g6; L6/g6</i>
	Нормальный или тяжелый					Передние и задние колеса автомобилей и тракторов	<i>L0/h6; L0/g6; L0/f7; L6/h6; L6/g6; L6/f7</i>
						Блоки грузоподъемных машин, ролики рольгантов	<i>L0/h6; L6/h6</i>
Циркуляцион- ное (вал враща- ется)	Легкий или нормальный	До 50				Шпиндели внутришли- фовальных станков, электрошпиндели	<i>L5/js5; L5/h5; L4/js5; L4/h5; L2/js4; L2/h4</i>
	Легкий или нормальный	До 40	До 40	До 100	До 40	Редукторы, коробки скоростей станков, коробки передач автомобилей и тракторов, электродвигатели	<i>L0/k6; L0/js6; L6/k6; L6/js6; L5 / js5; L4 /js5;</i>
		До 100	До 100	Св. 100	До 100		<i>L0/k6; L0/js6; L6/k6; L6/js6; L5/k5; L4/k5</i>
		До 250					<i>L0/m6; L6/m6</i>

Окончание табл. 3.8

1	2	3	4	5	6	7	8
Циркуля- ционное (вал вращается)	Нормальный или тяжелый	До 100	До 40	До 100	До 100	Кривошипно-шатунные механизмы, шпиндели металлорежущих стан- ков, крупные редукто- ры, электродвигатели мощностью до 100 кВт	<i>L0/k6; L0/js6; L6/k6; L6/js6; L5/k5; L4/k5</i>
		Св. 100	До 100	Св. 100	До 180		<i>L0/m6; L6/m6; L5/m5; L4/m5; L2/m4</i>
		–	До 250	–	До 250		<i>L0/p6; L0/n6; L6/p6; L6/n6; L5/n5;L4/n5</i>
	Тяжелая и ударная нагрузка	–	Св. 50 до 140	–	–	Коленчатые валы двигателей, ходовые колеса мостовых кранов, ролики рольгангов тяжелых станов, вибраторы, электродви- гатели мощностью свыше 100 кВт	<i>L0/n6; L0/m6; L6/n6;L6/m6</i>
		–	Св. 140 до 200	–	–		<i>L0/p6; L6/p6</i>
		–	Св. 200 до 250	–	–		<i>L0/r7; L0/r6; L6/r7;L6/r6</i>
Нагрузки осевые		Подшипники всех диаметров				Узлы с одинарными упорными подшипниками	<i>L0/js6; L6/js6</i>
						Узлы с двойными упорными подшипниками	<i>L0/js6;L6/js6</i>
Колебательное нагружение	Нагрузка осевая и радиальная	До 200				Узлы на упорных подшипниках со сферическими роликами	<i>L0/k6; L6/k6</i>
		Св. 200 до 250					<i>L0/m6; L6/m6</i>
Примечания: 1. Допускается при необходимости для узлов с упорными подшипниками вместо полей допусков <i>js5, js6</i> использование полей допусков <i>j5, j6</i> ограниченного применения. 2. Для двойных упорных подшипников с отверстием диаметром свыше 150 мм допускается использование посадок <i>L0/k6, L6/k6</i> .							

3.9. Рекомендуемые посадки шариковых и роликовых подшипников в корпус (ГОСТ 3325)

Условия, определяющие выбор посадки		Примеры машин и подшипниковых узлов	Рекомендуемые посадки
Вид нагружения внутреннего кольца	Режим работы		
1	2	3	4
Циркуляционное (вращается корпус)	Нормальный	Ролики ленточных транспортеров	<i>K7/ℓ0, K7/ℓ6, Js7/ℓ0, Js7/ℓ6</i>
	Нормальный или тяжелый	Передние колеса автомашин и тягачей. Ролики рольгангов, коленчатые валы, ходовые колеса мостовых и козловых кранов	<i>N7/ℓ0, N7/ℓ6, N7/ℓ0, M7/ℓ0, M7/ℓ6</i>
	Тяжелый	Узлы тяжелых металлорежущих станков со сферическими упорными роликовыми подшипниками	<i>K7/ℓ0, K7/ℓ6</i>
	Тяжелый при тонкостенных корпусах	Колеса автомобилей, тракторов, башенных кранов	<i>P7/ℓ0, P7/ℓ6, P6/ℓ5</i>
Местное (вращается вал)	Легкий или нормальный	Быстроходные электродвигатели, оборудование бытовой техники	<i>JS7/ℓ0, JS7/ℓ6, JS6/ℓ5, JS6/ℓ4, H7/ℓ0, H7/ℓ6, H6/ℓ5, H6/ℓ4</i>
	Нормальный	Электродвигатели, центробежные насосы, вентиляторы, центрифуги, шпиндели быстроходных металлорежущих станков, узлы с радиально-упорным шариковыми подшипниками	<i>JS7/ℓ0, JS7/ℓ6, JS6/ℓ5, JS6/ℓ4</i>
	Нормальный или тяжелый	Узлы общего машиностроения, редукторы	<i>JS7/ℓ0, JS7/ℓ6, H7/ℓ0, H7/ℓ6</i>
	Нормальный или тяжелый (для точных узлов)	Шпиндели тяжелых металлорежущих станков	<i>M6/ℓ5, M6/ℓ4, K6/ℓ5, K6/ℓ4</i>

Окончание табл. 3.9

1	2	3	4
Местное (вращается вал)	Нормальный или тяжелый	Узлы общего применения со сферическими упорными роликовыми подшипниками	<i>JS7/ℓ0, JS7/ℓ6</i>
	Нормальный или тяжелый (перемещение вдоль оси отсутствует)	Коробки передач, задние мосты автомобилей и тракторов. Подшипниковые узлы на конических роликовых подшипниках	<i>M7/ℓ0, M7/ℓ6, K7/ℓ0, K7/ℓ6, JS7/ℓ0, JS7/ℓ6</i>
Местное (вращается вал). Нагрузка исключи- тельно осевая	Нормальный	Все типы узлов с упорными подшипниками	<i>H8/ℓ0, H8/ℓ6</i>
	Тяжелая	Узлы с шариковыми упорными подшипниками	<i>H9/ℓ0, H9/ℓ6, H8/ℓ0, H8/ℓ6, H6/ℓ5, H6/ℓ4</i>
		Узлы с упорными подшипниками на конических роликах	<i>G7/ℓ0, G7/ℓ6, G6/ℓ5, G6/ℓ4</i>
Местное или колебательное (вра- щается вал)	Нормальный или тяжелый	Шпиндели шлифовальных станков, коленчатые валы двигателей	<i>K6/ℓ5, K6/ℓ4, K5/ℓ2, JS6/ℓ5, JS6/ℓ4, JS5/ℓ2</i>
Примечания: 1. Допускается при необходимости вместо полей допусков <i>JS6, JS7</i> использование полей допусков ограниченного применения <i>J6, J7</i> . 2. В случае разъемных корпусов посадки должны быть выбраны с зазором (поля допусков диаметров отверстий корпусов <i>H7, H6, G7, G6</i>).			

– Выбирают, в зависимости от режима работы, вида нагружения колец, размеров и типа подшипника, его посадки в корпус и на вал (см. табл. 3.8, 3.9), учитывая, что точность размеров цилиндрических поверхностей вала и корпуса зависит от класса точности подшипника и определяется по табл. П.1.12.

Пример 3.4

Шариковый радиальный подшипник 6-305 является опорой вала редуктора с цилиндрическими зубчатыми колесами. Радиальная нагрузка, действующая на подшипниковый узел, $F_r = 2000$ Н.

Необходимо выбрать посадки подшипника на вал и в корпус, а также определить требования к точности поверхностей вала и корпуса, сопрягаемых с этим подшипником.

– Определяем по справочнику [2] геометрические параметры подшипника 6-305: $d = 25$ мм, $D = 62$ мм, $B = 17$ мм.

– Определяем предельные отклонения средних диаметров d_m, D_m [5, 15]:

$$d_m = 25_{-0,008}; \quad D_m = 62_{-0,011}.$$

– Определяем вид нагружения колец подшипника. Так как в цилиндрическом редукторе вращается вал, а следовательно, и внутреннее кольцо подшипника, нагрузка, действующая на подшипниковый узел, постоянна по величине и направлению, внутреннее кольцо подшипника испытывает циркуляционное нагружение. Наружное кольцо подшипника установлено в неподвижном корпусе и нагружено местно (см. табл. 3.5).

– Определяем интенсивность нагружения подшипникового узла P/C , для чего по зависимости (3.38) (см. табл. 3.7) определяем динамическую эквивалентную нагрузку P . Так как внутреннее кольцо подшипника вращается, а осевая нагрузка $F_a = 0$ (зубчатая передача – прямозубая), $V = 1$ (см. табл. 3.7), $X = 1$, $Y = 0$ (см. табл. П.3.2):

$$P = P_r = X \cdot V \cdot F_r = 1 \cdot 1 \cdot 2000 = 2000 \text{ Н.}$$

Динамическая грузоподъемность подшипника 6-305 $C = 17600$ Н [16].

Тогда
$$P/C = \frac{2000}{17600} = 0,11.$$

– Определяем режим работы подшипникового узла. При $P/C = 0,11$ режим работы – нормальный (см. табл. 3.6).

– Выбираем по табл. 3.8 посадку подшипника на вал. При циркуляционном нагружении внутреннего кольца подшипника с диаметром отверстия $d = 25$ мм и нормальном режиме работы – это посадка $L6/k6$.

– Выбираем по табл. 3.9 посадку подшипника в корпус. При местном нагружении наружного кольца подшипника и нормальном режиме работы – это посадка $H7/\ell6$.

– Строим схему полей допусков посадок подшипника на вал и в корпус (рис. 3.21).

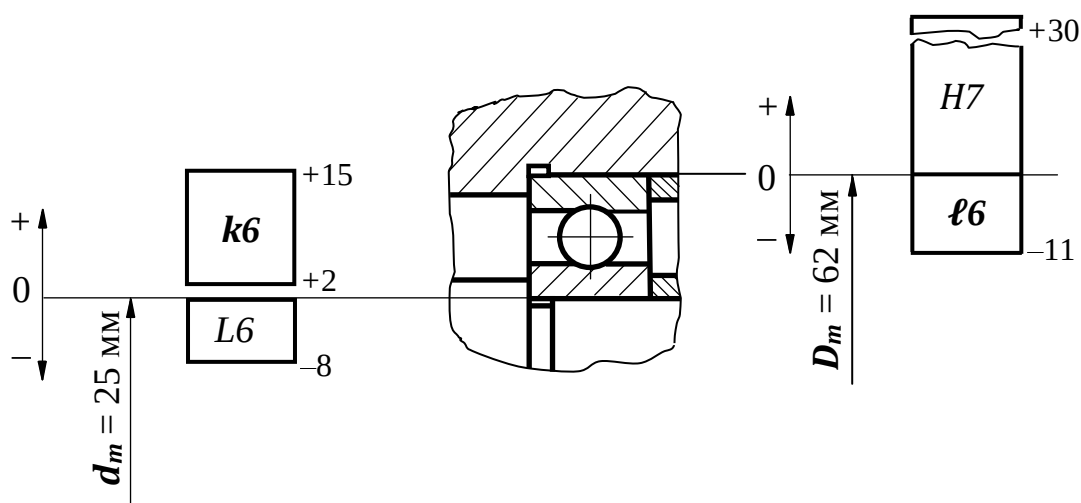


Рис. 3.21. Схемы полей допусков посадок колец подшипника 6-305 в корпус и на вал

– Устанавливаем требования к точности поверхностей вала и отверстия корпуса, сопрягаемых с подшипником.

Точность размеров этих поверхностей определена назначенными посадками: вал – $\varnothing 25k6$, отверстие – $\varnothing 62H7$.

Точность взаимного расположения поверхностей вала и корпуса характеризуют допуски торцового биения заплечиков относительно базовых осей (см. табл. П.1.13): для вала – 0,013 мм, для корпуса – 0,03 мм.

Точность формы цилиндрических поверхностей вала и корпуса определяют допуски круглости и профиля продольного сечения (см. табл. П.1.15): для вала – 0,0035 мм, для отверстия – 0,0075 мм. Точность формы торцовых поверхностей (допуск плоскостности этих поверхностей) задана косвенно допуском торцового биения (см. выше).

Шероховатость цилиндрических и торцовых поверхностей вала и корпуса назначаем по табл. П.1.16: допускаемые значения параметра Ra для вала и корпуса соответственно 0,4 и 0,8 мкм.

– Показываем требования к точности поверхностей вала и отверстия корпуса на чертеже (рис. 3.22).

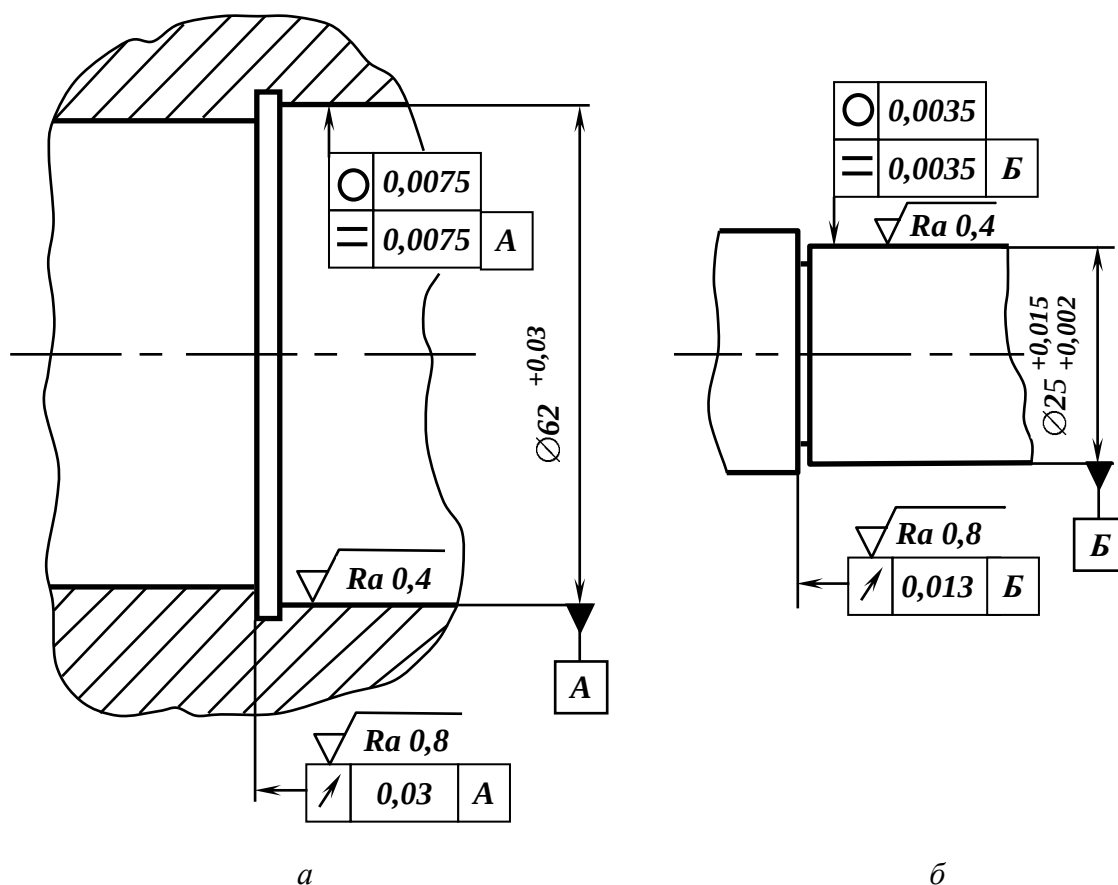


Рис. 3.22. Требования к точности посадочных поверхностей: а – корпуса, б – вала

3.2. Нормирование точности сложных соединений

3.2.1. Шпоночные соединения

Различают ненапряженные шпоночные соединения с призматическими и сегментными шпонками (рис. 3.23) и напряженные соединения с клиновыми и тангенциальными шпонками. Первые предназначены для передачи крутящего момента в соединении вала и втулки (зубчатого колеса, муфты, шкива и тому подобной детали), вторые – для передачи крутящего момента и осевой силы.

Посадки в соединениях шпонки с пазом вала и пазом втулки по размеру b (b – ширина шпонки и паза) образуются в системе вала, что упрощает технологию изготовления шпонок, а в ряде случаев позволяет получать их отрезкой детали нужной длины от калиброванного прутка.

ГОСТ 23360 предусматривает три вида шпоночных соединений с призматическими шпонками: свободное, нормальное и плотное (рис. 3.24).

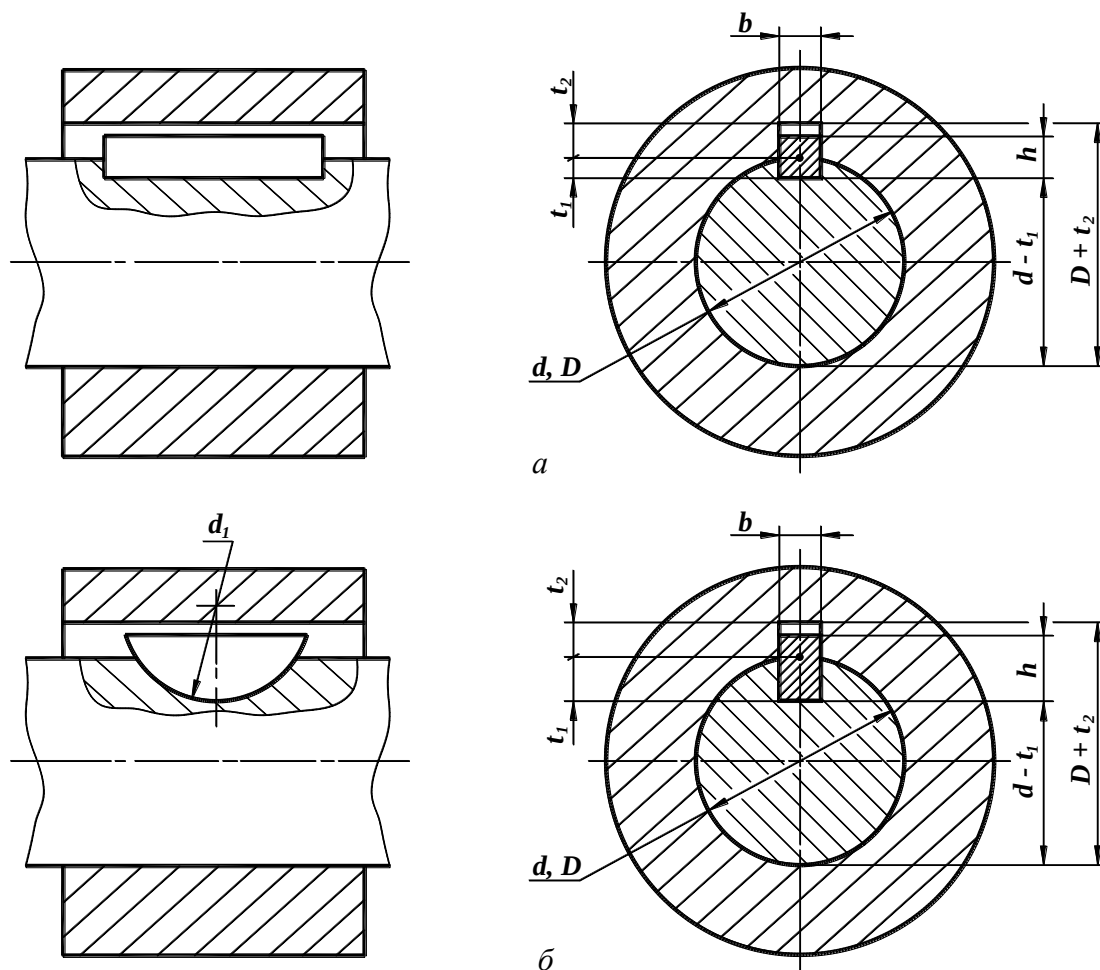


Рис. 3.23. Шпоночные соединения: а – с призматической шпонкой, б – с сегментной шпонкой

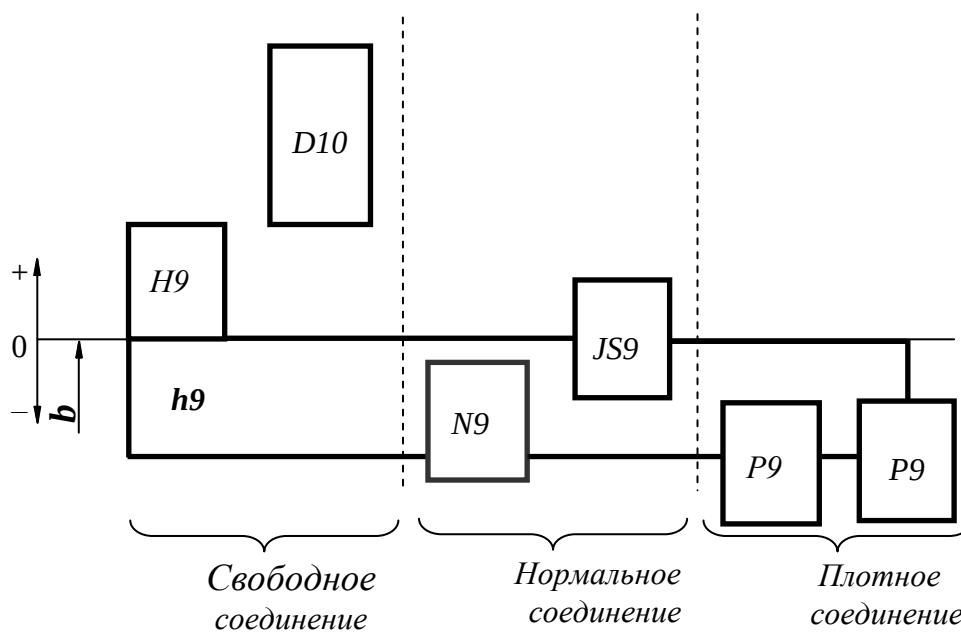


Рис. 3.24. Схемы полей допусков шпоночных соединений с призматическими шпонками: H9, N9, P9 – поля допусков ширины паза вала; D10, JS9, P9 – поля допусков ширины паза втулки; h9 – поле допуска ширины шпонки

Свободное соединение обеспечивает получение посадок с гарантированным зазором и применяется, как правило, для обеспечения надежной работы соединений с направляющими шпонками. Для обеспечения неподвижности шпонки в пазу вала в большинстве случаев ее крепят винтами (ГОСТ 8790).

Нормальное соединение обеспечивает получение переходных посадок (с преимущественным натягом для шпонки и паза вала и с преимущественным зазором для шпонки и паза втулки) и применяется в серийном и массовом производствах общего машиностроения, автотракторостроения и других отраслей.

Плотное соединение обеспечивает получение одинаковых переходных посадок с преимущественным натягом в сопряжениях шпонки с обоими пазами. Сборку таких соединений осуществляют «под прессом», что требует специального конструктивного оформления вала, позволяющего легко совместить паз втулки со шпонкой, неподвижно установленной в пазу вала. Плотное шпоночное соединение используют достаточно редко, в условиях единичного и мелкосерийного производств для обеспечения надежной работы соединений при реверсных нагрузках.

ГОСТ 24071 предусматривает лишь нормальное и плотное соединения с сегментными шпонками, которые образуются сочетанием таких же полей допусков, как и в соединениях с призматическими шпонками (см. рис. 3.24).

Допуски остальных размеров шпонок и пазов валов и втулок оговариваются также ГОСТ 8790, ГОСТ 23360, ГОСТ 24071. Вместо размеров t_1 и t_2 , определяющих глубину пазов вала и втулки, допускается проставлять на чертеже и контролировать размеры $d - t_1$ и $D + t_2$.

Допуски расположения шпоночных пазов, в соответствии с рекомендациями [15], назначают следующими: допуск симметричности шпоночного паза относительно оси вала или отверстия не более $2T_{\text{ш}}$, допуск параллельности плоскости симметрии паза относительно оси вала или отверстия не более $0,5T_{\text{ш}}$, где $T_{\text{ш}}$ – допуск на ширину шпоночного паза. Определенные таким образом допуски расположения округляют до стандартных значений соответствующих допусков (ГОСТ 24643).

3.2.2. Шлицевые соединения

Шлицевые соединения обеспечивают возможность передачи больших крутящих моментов и большую точность центрирования, чем шпоночные соединения. Среди шлицевых соединений (прямобоочных, эвольвентных, треугольных) наиболее распространены прямобоочные шлицевые соединения, как подвижные, так и неподвижные.

Выбор посадок по элементам шлицевых соединений зависит от характера соединения вала и втулки (зубчатого колеса, муфты, вилки и т.д.), требуемой точности и используемого способа центрирования.

В прямоблочных шлицевых соединениях применяют три способа центрирования: по наружному диаметру D , внутреннему диаметру d , боковым поверхностям зубьев (по размеру b) (рис. 3.25). Области применения, достоинства и недостатки этих способов приведены в табл. 3.10.

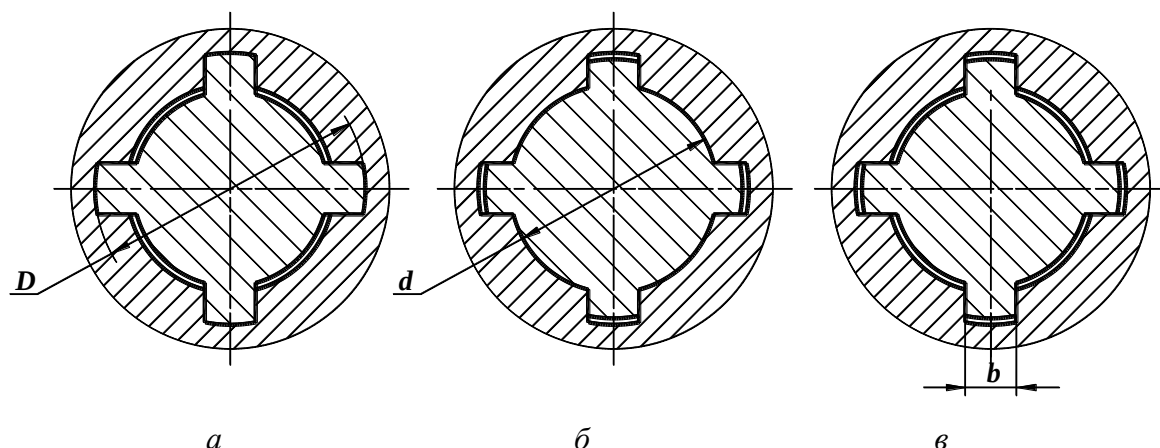


Рис. 3.25. Прямоблочные шлицевые соединения с центрированием:

a – по наружному диаметру D ; b – по внутреннему диаметру d ;
 $в$ – боковым поверхностям зубьев (по размеру b)

Посадки по элементам прямоблочных шлицевых соединений выбирают из числа установленных ГОСТ 1139 по табл. 3.11.

Посадки по центрирующим диаметрам D или d предусмотрены в системе отверстия, по размеру b – комбинированные: поле допуска ширины зуба вала – в системе отверстия, поле допуска ширины паза втулки – в системе вала. В неподвижных соединениях по центрирующему диаметру D или d назначают переходную посадку $H7/js6$ ($H7/js7$) или $H7/n6$. Шлицевое соединение с переходной посадкой по центрирующему диаметру является неподвижным из-за наличия погрешностей взаимного расположения элементов шлицевых деталей: отклонений от соосности цилиндрических поверхностей с диаметрами D и d ; отклонений от параллельности и симметричности боковых поверхностей зубьев осей центрирующих цилиндрических поверхностей; отклонений шага зубьев от номинального и некоторых других.

На чертежах и в технической документации прямоблочные шлицевые соединения условно обозначают записью, состоящей из латинских букв и цифр, указанных в такой последовательности: обозначение центрирующего элемента (D или d , или b), число шлиц z , внутренний диаметр d и посадка по d (если внутренний диаметр не является центрирующим, вместо посадки указывают поле допуска втулки $H11$), наружный диаметр D и посадка по D , ширина зуба вала (паза втулки) b и посадка по b , например:

3.10. Способы центрирования в прямобочных шлицевых соединениях

Способ центрирования	Область применения	Способ обработки поверхностей		Достоинства способа	Недостатки способа
		вала	втулки		
По наружному диаметру D	Соединения с высокой точностью центрирования и невысокой твердостью втулки: подвижные при небольших крутящих моментах и скоростях относительного перемещения деталей; неподвижные	Фрезерование, шлифование поверхности диаметром D , при необходимости шлифование боковых поверхностей зубьев	Протягивание, калибровка протяжкой	Высокая точность центрирования при минимальных затратах на изготовление деталей	Область применения ограничена невысокой твердостью втулки
По внутреннему диаметру d	Соединения с высокой точностью центрирования и высокой твердостью втулки: подвижные при больших крутящих моментах и скоростях относительного перемещения деталей; неподвижные	Фрезерование, шлифование поверхности диаметром d , при необходимости шлифование боковых поверхностей зубьев	Протягивание, после термообработки шлифование поверхности диаметром d	Высокая точность центрирования в соединениях деталей, имеющих высокую твердость	Высокая стоимость изготовления деталей
По боковым поверхностям зубьев (по размеру b)	Подвижные соединения с невысокой точностью центрирования при больших крутящих моментах и знакопеременных нагрузках	Фрезерование, при необходимости шлифование боковых поверхностей зубьев	Протягивание	Низкая стоимость изготовления деталей	Низкая точность центрирования

3.11. Рекомендуемые посадки прямобочных шлицевых соединений (ГОСТ 1139)

Размер	Характер соединений						
	Подвижные				Неподвижные		
	Центрирование по D						
D	$\frac{H8}{e8}$	$\frac{H7^*}{f7}$	$\frac{H7^*}{g6}$	$\frac{H7^*}{h7}$	$\frac{H7^*}{js6}$	$\frac{H7}{n6}$	
b	$\frac{F8}{e8}$	$\frac{D9^*}{d9}; \frac{D9}{h9}; \frac{D9}{e8}; \frac{D9}{h8};$ $\frac{D9}{f7}; \frac{F8}{d9}; \frac{F8}{h9}; \frac{F8}{e8};$ $\frac{F8^*}{f8}; \frac{F8}{h8}; \frac{F8^*}{f7}$	$\frac{D9^*}{h9}; \frac{D9}{f7};$ $\frac{F8}{h9}; \frac{F8}{h8};$ $\frac{F8}{f7}$	$\frac{D9}{f7};$ $\frac{F8^*}{f7}$	$\frac{D9}{h8}; \frac{D9}{js7};$ $\frac{F8}{h8}; \frac{F8^*}{js7}$	$\frac{D9}{h8}; \frac{D9}{ja7};$ $\frac{F8}{h8}; \frac{F8}{js7}$	
d	Поле допуска втулки – H11 Внутренний диаметр вала – d ₁						
Центрирование по d							
D	$\frac{H8}{e8}$	$\frac{H7^*}{f7}$	$\frac{H7^*}{g6}; \frac{H7^*}{g7}$	$\frac{H7^*}{h7}$	$\frac{H7}{h7}$	$\frac{H7^*}{js6}; \frac{H7}{js7}$	$\frac{H7}{n6}$
B	$\frac{F10^*}{e9};$ $\frac{F10}{e8};$ $\frac{D9^*}{e9};$ $\frac{D9}{e8}$	$\frac{F10^*}{f9}; \frac{F10}{e8};$ $\frac{D9^*}{f9}; \frac{D9}{h9};$ $\frac{D9}{e8}; \frac{F8}{f8};$ $\frac{F8}{f7}; \frac{F8^*}{h7};$	$\frac{F10}{h9};$ $\frac{F10}{f8};$ $\frac{D9}{h9}; \frac{D9}{f8};$ $\frac{F8}{f7}; \frac{F8^*}{h7}$	$\frac{F10}{h9};$ $\frac{F10}{f8};$ $\frac{D9}{h9};$ $\frac{D9}{f8};$	$\frac{H8}{h8};$ $\frac{H8}{h7};$	$\frac{F10}{h7}; \frac{F10^*}{js7};$ $\frac{F10}{k7}; \frac{D9^*}{k7};$ $\frac{F8^*}{h7}; \frac{F8}{js7};$ $\frac{F8}{k7}$	$\frac{F10}{h7};$ $\frac{F10^*}{js7};$ $\frac{F8}{h7};$ $\frac{F8}{js7}; \frac{F8}{k7}$
D	$\frac{H12}{a11}$						
Центрирование по боковым поверхностям зубьев							
b	$\frac{F10^*}{d9}; \frac{F10}{e9}; \frac{F10}{h9}; \frac{F10}{e8}; \frac{F10^*}{f8}; \frac{D9}{d9}; \frac{D9}{h9};$ $\frac{D9^*}{e8}; \frac{D9^*}{f8}; \frac{F8}{h9}; \frac{F8}{e8}; \frac{F8}{f8};$				$\frac{F10}{k7}; \frac{D9}{js7}; \frac{D9}{k7}; \frac{F8^*}{js7}$		
d	Поле допуска втулки – H11 Внутренний диаметр вала – d ₁						
D	$\frac{H12}{a11}$						
* – предпочтительные посадки							

$$D - 8 \times 32H11 \times 36H7/js6 \times 6F8/js7;$$

$$d - 8 \times 32H7/g6 \times 36H12/a11 \times 6D9/h9;$$

$$b - 8 \times 32H11 \times 36H12/a11 \times 6D9/e8.$$

Эвольвентные шлицевые соединения имеют то же назначение, что и прямобочные, но отличаются от них формой боковых поверхностей зубьев и впадин. Эти поверхности имеют эвольвентный профиль с модулем m , числом зубьев z и углом профиля, равным 30° .

Эвольвентные шлицевые соединения по сравнению с прямобочными более просты в изготовлении, способны передавать большие крутящие моменты, обеспечивают большую точность центрирования. При проектировании изделий их применение предпочтительно.

Наиболее часто эвольвентные шлицевые соединения центрируют по боковым поверхностям зубьев (табл. 3.12, 3.13), реже – по наружному диаметру (для обеспечения высокой точности центрирования) и внутреннему диаметру (табл. 3.14).

3.12. Рекомендуемые посадки по боковым поверхностям зубьев (ГОСТ 6033)

Поле допуска ширины впадины втулки	Поле допуска толщины зуба втулки									
	$9r$	$8p$	$7n$	$8k$	$7h$	$9h$	$9g$	$7f$	$8f$	$10d$
$7H$	$\frac{7H}{9r}$	$\frac{7H}{8p}$	$\frac{7H}{7n}$	$\frac{7H}{8k}$	$\frac{7H}{7h}$					
$9H$				$\frac{9H}{8k}$		$\frac{9H}{9h}$	$\frac{9H}{9g}$	$\frac{9H}{7f}$	$\frac{9H}{8f}$	
$11H$										$\frac{11H}{10d}$

Примечание. 7 – 11 – степени точности.

Условное обозначение эвольвентных шлицевых соединений, указываемое в чертежах и другой технической документации, должно содержать номинальный диаметр D , модуль m , обозначение посадок по центрирующим и нецентрирующим элементам, номер стандарта, например:

– при центрировании по боковым поверхностям зубьев ($D = 50$ мм, модуль $m = 2$ мм, посадка по боковым поверхностям зубьев – $9H/9g$)

$$50 \times 2 \times 9H/9g \text{ ГОСТ } 6033-80;$$

– при центрировании по наружному диаметру ($D = 50$ мм, модуль $m = 2$ мм, посадка по центрирующему наружному диаметру – $H7/g6$, посадка по боковым поверхностям зубьев – $9H/9h$)

$$50 \times H7/g6 \times 2 \times 9H/9h \text{ ГОСТ } 6033-80;$$

– при центрировании по внутреннему диаметру ($D = 50$ мм, модуль $m = 2$ мм, посадка по центрирующему внутреннему диаметру – $H7/g6$, посадка по боковым поверхностям зубьев – $9H/9h$)

$$i 50 \times 2 \times H7/g6 \times 9H/9h \text{ ГОСТ } 6033-80.$$

3.13. Поля допусков нецентрирующих диаметров (ГОСТ 6033)

Нецентрирующий диаметр	Форма дна впадины	Поля допусков по ГОСТ 6033
Центрирование по боковым поверхностям зубьев		
D_f	Плоская	$D_{f_{min}} = D$
	Закругленная	$D_{f_{min}} = D + 0,44m$
D_a	—	H11
d_a	—	d9, h11, h12
d_f	Плоская	$D_{f_{max}} = D - 2,2m$
	Закругленная	$d_{f_{max}} = D - 2,76m$
Центрирование по наружному диаметру		
D_a	—	H11
d_f	Плоская	$d_{f_{max}} = D - 2,2m$
	Закругленная	$d_{f_{max}} = D - 2,76m$
Центрирование по внутреннему диаметру		
d_a	—	d9, h11, h12
D_f	Плоская	H16
	Закругленная	$d_{f_{min}} = D + 0,44m$

Примечание. D – номинальный диаметр; m – модуль; D_a , d_a – диаметр окружности вершин зубьев соответственно втулки и вала; D_f , d_f – диаметр окружности впадин соответственно втулки и вала.

3.14. Рекомендуемые поля допусков элементов вала и втулки при центрировании по наружному и внутреннему диаметрам (ГОСТ 6033)

Размер	Поля допусков	
	Ряд 1	Ряд 2
	Центрирование по наружному диаметру	
D_f	H7	H8
d_a	$n6, js6, h6, g6, f7$	$n6, h6, g6, f7$
e	9H, 11H	
s	9h, 9g, 9d, 11c, 11a	
	Центрирование по внутреннему диаметру	
D_a	H7	H8
d_f	$n6, h6, g6$	$n6, h6, g6$
e	9H, 11H	
s	9h, 9g, 9d, 11c, 11a	

Примечания. 1. D_f , d_a – см. примечание в табл. 3.13; e – номинальная делительная окружная ширина впадины втулки; s – номинальная делительная окружная толщина зуба вала. 2. Поля допусков нецентрирующих диаметров см. в табл. 3.13. 3. При выборе полей допусков предпочтение следует отдавать ряду 1.

3.2.3. Резьбовые соединения

Параметры метрической резьбы

Резьбовые соединения широко используют в конструкциях машин, механизмов, приборов разного назначения.

Среди большого разнообразия резьб (треугольных, трапецеидальных, прямоугольных, круглых) наибольшее распространение имеют метрические резьбы.

Основными параметрами метрической резьбы являются (рис. 3.26):

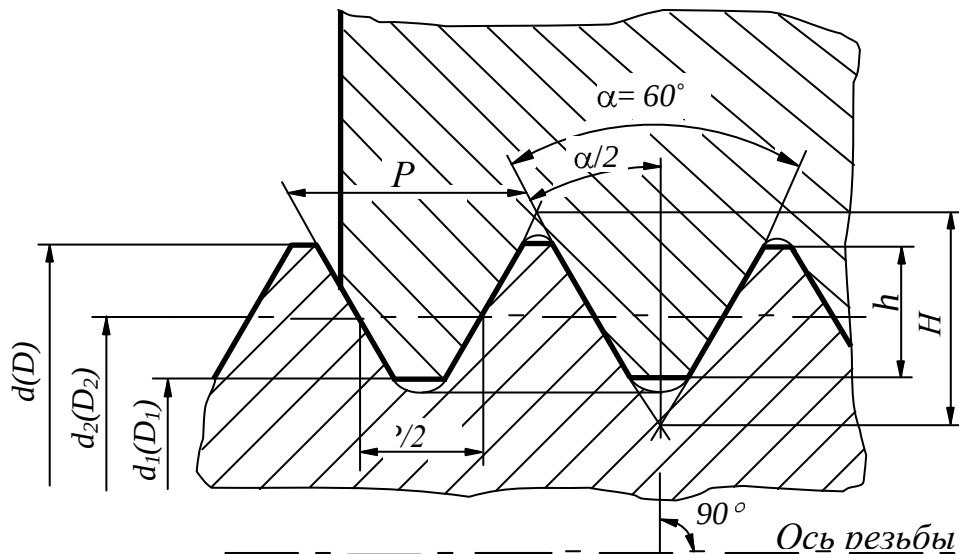


Рис. 3.26. Основные параметры метрической резьбы

- угол профиля α – угол между боковыми сторонами профиля в плоскости осевого сечения;
- половина угла профиля $\alpha/2$ для резьбы с симметричным профилем – угол между боковой стороной профиля и перпендикуляром, опущенным из вершины исходного профиля симметричной резьбы на ее ось;
- наружный диаметр резьбы $d (D)^*$ – диаметр воображаемого цилиндра, описанного вокруг вершин наружной резьбы или впадин внутренней резьбы;
- средний диаметр резьбы $d_2 (D_2)$ – диаметр воображаемого соосного с резьбой цилиндра, образующая которого пересекает профиль резьбы в точках, где ширина канавки равна половине номинального шага резьбы;
- внутренний диаметр резьбы $d_1 (D_1)$ – диаметр воображаемого цилиндра, вписанного во впадины наружной резьбы или в вершины внутренней резьбы;
- шаг резьбы P – расстояние между соседними одноименными боковыми сторонами профиля в направлении, параллельном оси резьбы.

* d, d_1, d_2 – диаметры наружной резьбы; D, D_1, D_2 – диаметры внутренней резьбы.

Кроме перечисленных, резьбу характеризуют следующие параметры:

– ход резьбы Ph – расстояние между ближайшими одноименными сторонами профиля, принадлежащими одной и той же винтовой поверхности, в направлении, параллельном оси резьбы, причем в однозаходной резьбе $Ph = P$, а в многозаходной – $Ph = P \cdot n$, где n – число заходов;

– высота исходного профиля H – высота остроугольного профиля, полученного путем продолжения боковых сторон профиля до их пересечения;

– высота профиля h – расстояние между вершиной и впадиной профиля в направлении, перпендикулярном к оси резьбы;

– длина свинчивания ℓ – длина участка взаимного перекрытия наружной и внутренней резьб в осевом направлении.

Для метрической резьбы форма впадины внутренней резьбы не регламентируется. Форма впадины наружной резьбы может выполняться как плоскосрезанной, так и закругленной. Форма впадины наружной резьбы влияет на циклическую прочность детали: при плоскосрезанной впадине резьбы циклическая прочность резьбовой детали меньше, при закругленной – больше.

Нормирование точности метрических резьб

Внутренние и наружные резьбы общего назначения контактируют по боковым сторонам профиля. Возможность контакта по вершинам и впадинам резьбы исключается соответствующим расположением полей допусков по d (D) и d_1 (D_1). В зависимости от характера сопряжения по боковым сторонам профиля (т.е. по среднему диаметру) различают резьбовые соединения с зазором, натягом и переходные.

Допуски метрических резьб для диаметров 1...600 мм в соединениях с зазором регламентированы ГОСТ 16093.

Основные отклонения, определяющие положение полей допусков относительно номинального профиля (рис. 3.27), зависят от шага резьбы и приведены в [5, 15].

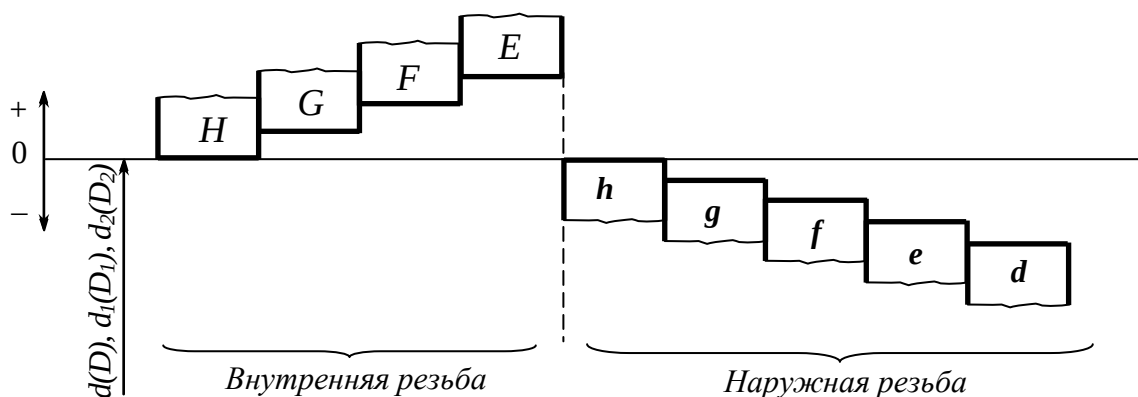


Рис. 3.27. Основные отклонения полей допусков наружной и внутренней резьб в соединениях с зазором

Ограничительный отбор полей допусков резьбы с зазором, рекомендуемых ГОСТ 16093 к применению, приведен в табл. 3.15, а соответствующие предельные отклонения – в [5, 15].

3.15. Ограничительный отбор полей допусков метрической резьбы с зазором (ГОСТ 16093)

Класс точности	Длина свинчивания		
	короткая, <i>S</i>	нормальная, <i>N</i>	длинная, <i>L</i>
<i>Наружная резьба</i>			
Точный	(3h4h)	4h, 4g	(5h4h)
Средний	5h6h, 5g6g	6h, 6g*, 6f, 6e, 6d	(7h6h), 7g6g, (7e6e)
Грубый	–	(8h), 8g	(9g8g)
<i>Внутренняя резьба</i>			
Точный	4H	4H5H, 5H	6H
Средний	5H, (5G)	6H*, 6G	7H, (7G)
Грубый	–	7H, 7G	8H, (8G)

Примечания: 1. Поля допусков, обозначенные звездочкой, рекомендуются для предпочтительного применения. 2. Поля допусков, указанные в скобках, применять не рекомендуется. 3. Допускаются любые сочетания полей допусков наружной и внутренней резьбы.

Поля допусков и посадки с натягом и переходные установлены в зависимости от шага резьбы. Допуски метрических резьб в соединениях с натягом для диаметров 5...45 мм и шагов 0,8...3 мм регламентированы ГОСТ 4608. В соответствии с этим стандартом положение полей допусков наружной и внутренней резьбы должно соответствовать показанному на рис. 3.28.

Предельные отклонения среднего d_2 и наружного d диаметров наружной резьбы и среднего D_2 и внутреннего D диаметров внутренней резьбы приведены в [5, 15].

Верхнее отклонение диаметра d_1 наружной резьбы по дну впадины (диаметру d_3) равно верхнему отклонению диаметра d_2 . Нижнее отклонение определяется величиной допускаемого среза впадины равного $H/8$.

В посадках с натягом (кроме посадок $2H5D/2r$ и $2H5C/2r$) резьбовые детали сортируют на две (например, $2H5D(2)/3p(2)$) или три (например, $2H4D(3)/3n(3)$) группы. Сборку соединений осуществляют из деталей, принадле-

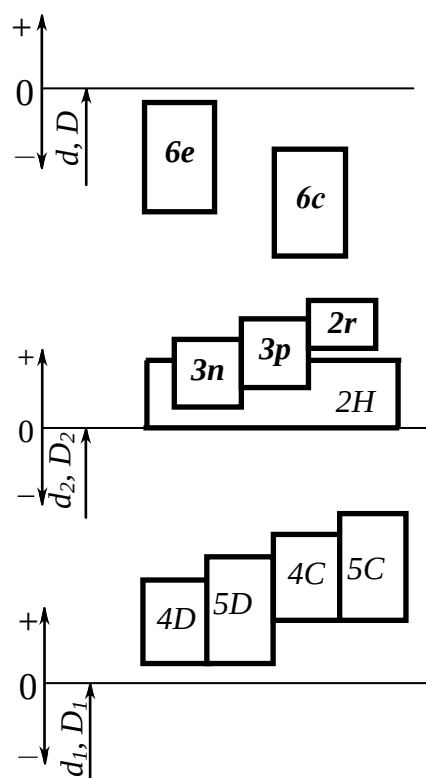


Рис. 3.28. Схема полей допусков резьбовых соединений с натягом

жащих одной группе, например, группе II (рис. 3.29). Сборка с сортировкой, обеспечивающая групповую взаимозаменяемость деталей, позволяет повысить точность посадки при использовании резьбовых деталей, изготовленных с большими допусками на оборудовании нормальной точности.

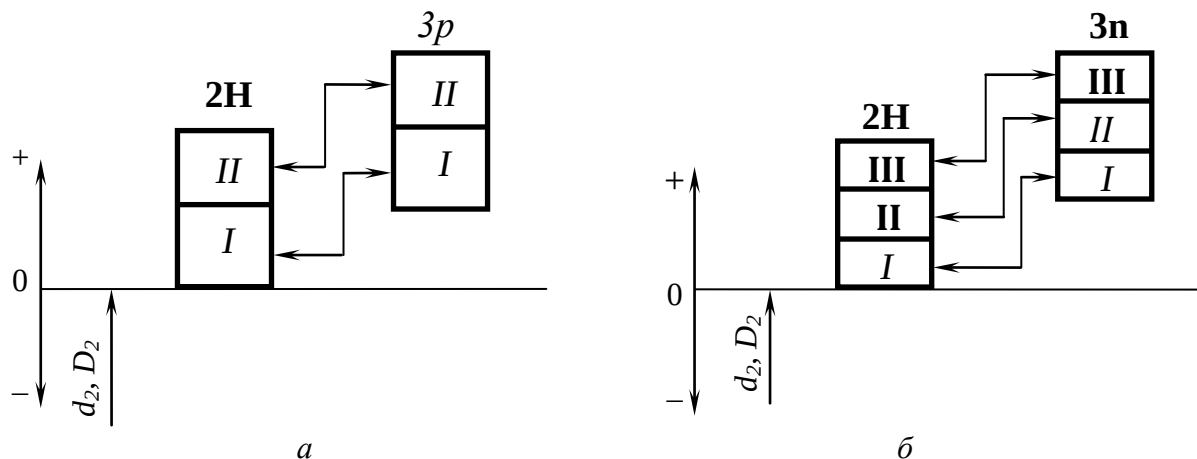


Рис. 3.29. Схемы полей допусков резьбы с сортировкой:

а – на две группы; *б* – на три группы

Допуски метрических резьб в соединениях с переходными посадками для диаметров 5...45 мм и шагов 0,8...4,5 мм регламентированы ГОСТ–24834. В соответствии с этим стандартом положение полей допусков наружной и внутренней резьбы должно соответствовать показанному на рис. 3.30.

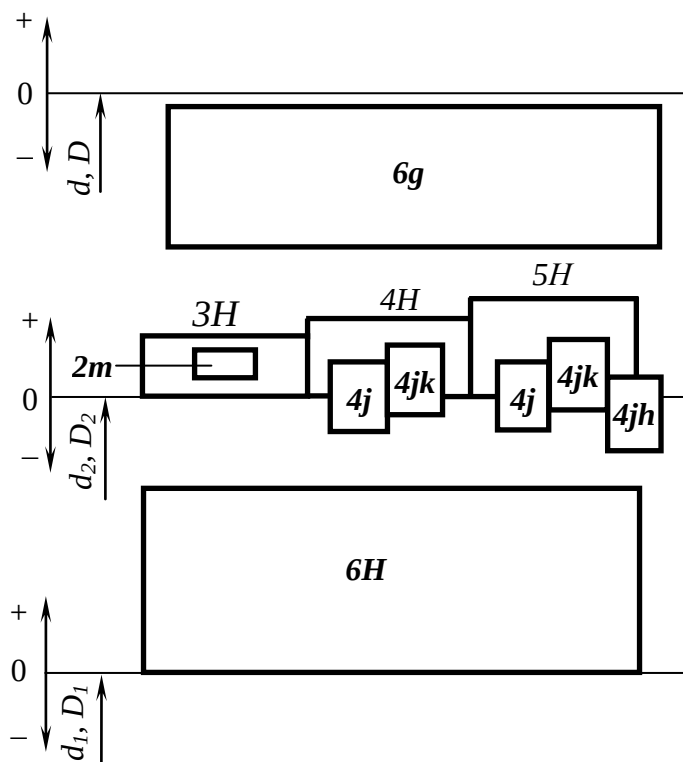


Рис. 3.30. Схемы полей допусков резьбовых соединений с переходными посадками

Предельные отклонения диаметров наружной и внутренней резьбы в соединениях с переходными посадками устанавливают также, как и для соединений с натягом.

Обозначение резьбы

Условное обозначение резьбового соединения, наружной и внутренней резьбы состоит из двух частей: условного обозначения номинальных параметров (табл. 3.16) и точности резьбы (табл. 3.17).

3.16. Обозначение параметров резьбы (примеры)

Обозначение резьбы	Параметр						
	Диаметр d (D), мм	Шаг P , мм	Ход резьбы Ph , мм	Число заходов n	Направление свинчивания	Длина свинчивания	Форма впадины наружной резьбы
$M24$	24	Крупный 3	1	1	Правое	Нормальная, N	Не оговорена
$M24 \times 1,5$	24	Мелкий 1,5	1	1	То же	То же	То же
$M24 \times Ph3 P1,5$	24	То же	3	2	» »	» »	» »
$M24 \times Ph3 P1,5 LH$	24	» »	3	2	Левое	» »	» »
$M24 \times 1,5-6g^*-30$	24	» »	1	1	Правое	Короткая, S	» »
$M24 \times 1,5-6g^*-100$	24	» »	1	1	То же	Длинная, L	» »
$M24 \times 1,5-6g^*-R$	24	» »	1	1	» »	Нормальная, N	Закругленная
* $6g$ – поле допуска наружной резьбы							

Сочетание основного отклонения, обозначаемого буквой, с допуском по принятой степени точности образует поле допуска диаметра резьбы. Поле допуска резьбы образуют сочетанием поля допуска среднего диаметра с полем допуска диаметра выступов (d или D_1). Поля допусков, а следовательно, и допуски диаметра впадин (d_1 – для наружной резьбы и D – для внутренней резьбы) стандарт не устанавливает.

Обозначение поля допуска диаметра резьбы состоит из цифры, показывающей степень точности, и буквы, обозначающей основное отклонение, например, $6h$, $6g$, $6G$. Обозначение поля допуска резьбы состоит из обозначения поля допуска среднего диаметра, помещаемого на первом месте, и обозначения поля допуска диаметра выступов (d – для наружной резьбы, D_1 – для внутренней резьбы), например $7g6g$; $5H6H$. В обозначении полей допусков переходных резьб и резьб с натягом поле допуска наружного диаметра d наружной резьбы ($6g$, $6e$ или $6c$) условно не указывают. Если обозначение поля допуска диаметра выступов совпадает с обозначением поля допуска среднего диаметра, его в обозначении поля допуска резьбы с зазором не повторяют, например, поле допуска резьбы болта $6g$, поле допуска резьбы гайки $6H$. Поле допуска резьбы указывают через тире после размера, например, болт $M12-6g$, болт $M12 \times 1-6g$, гайка $M12-6H$.

3.17. Обозначение посадок и полей допусков резьбы (примеры)

Обозначение резьбового соединения	Посадка	Внутренняя резьба			Наружная резьба		
		Поле допуска резьбы	Поле допуска диамет- ра D_2	Поле допуска диамет- ра D_1	Поле допус- ка резьбы	Поле допуска диамет- ра d_2	Поле допуска диаметра d
Резьба с зазором							
$M24 - \frac{4H5H}{3h4h}$	$\frac{4H5H}{3h4h}$	4H5H	4H	5H	3h4h	3h	4h
$M24 - \frac{6H}{6g}$	$\frac{6H}{6g}$	6H	6H	6H	6g	6g	6g
$M24 - \frac{5H}{5g6g}$	$\frac{5H}{5g6g}$	5H	5H	5H	5g6g	5g	6g
Резьба переходная							
$M24 - \frac{3H6H}{2m}$	$\frac{3H6H}{2m}$	3H6H	3H	6H	2m	2m	6g*
Резьба с натягом							
$M24 - \frac{2H5D}{2r}$	$\frac{2H5D}{2r}$	2H5D	2H	5D	2r	2r	6e*или 6c*
$M24 - \frac{2H4C(3)**}{3n(3)**}$	$\frac{2H4C(3)}{3n(3)}$	2H4C	2H	4C	3n	3n	6e*или 6c*
* – поле допуска наружного диаметра наружной резьбы условно не указывается; ** – (3) – число групп сортировки внутренней и наружной резьбы.							

Посадки резьбовых деталей обозначают дробью, в числителе которой указывают поле допуска внутренней резьбы (гайки), а в знаменателе – поле допуска наружной резьбы (болта). Примеры обозначения посадок резьбовых соединений и их расшифровка приведены в табл. 3.17.

3.3. Нормирование точности цилиндрических зубчатых колес и передач

Точность цилиндрических ЗП и ЗК регламентирована ГОСТ 1643. Стандартом установлено двенадцать степеней точности ЗК и ЗП, обозначаемых в порядке убывания точности цифрами 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12 (рис. 3.31). Степени точности 1 и 2 для ЗК с $m > 1$ мм являются перспективными, численные значения допусков и отклонений для них пока не предусмотрены. Для каждой степени точности установлены:

- нормы кинематической точности;
- нормы плавности работы;
- нормы контакта зубьев.

Кинематическая точность определяет степень согласованности углов поворота ведущего и ведомого колес передачи. Нормам кинематической точности особое значение

придают в ответственных механизмах, например, в делительных передачах управляющих и следящих систем.

Плавность работы ограничивает погрешности, многократно повторяющиеся за один оборот ЗК. Нормы плавности работы имеют наибольшее значение в скоростных передачах, когда передача должна работать бесшумно и без вибраций при больших окружных скоростях ЗК (до 60 м/с) и большой передаваемой мощности (до 40 МВт) [15].

Контакт зубьев определяет величину и расположение области прилегания боковых поверхностей зубьев сопряженных колес в передаче, что очень важно для силовых тяжело нагруженных передач, работающих с невысокими скоростями без реверсирования. Примером могут служить ЗП грузоподъемных механизмов.

Нормы бокового зазора – это такие параметры колес и передач, которые влияют на зазор по нерабочим профилям ЗК в передаче. Независимо от степени точности ЗК и ЗП установлены шесть видов сопряжений ЗК в передаче – *H, E, D, C, B, A* и восемь видов допуска на боковой зазор, обозначаемых в порядке его возрастания буквами: *h, d, c, b, a, z, y, x* (см. рис. 3.31). Эти нормы важны для передач, работающих в тяжелых тепловых условиях, при больших нагрузках, для реверсивных передач.

Передачи, к которым не предъявляют особых требований по нормам точности, относят к передачам общего назначения.

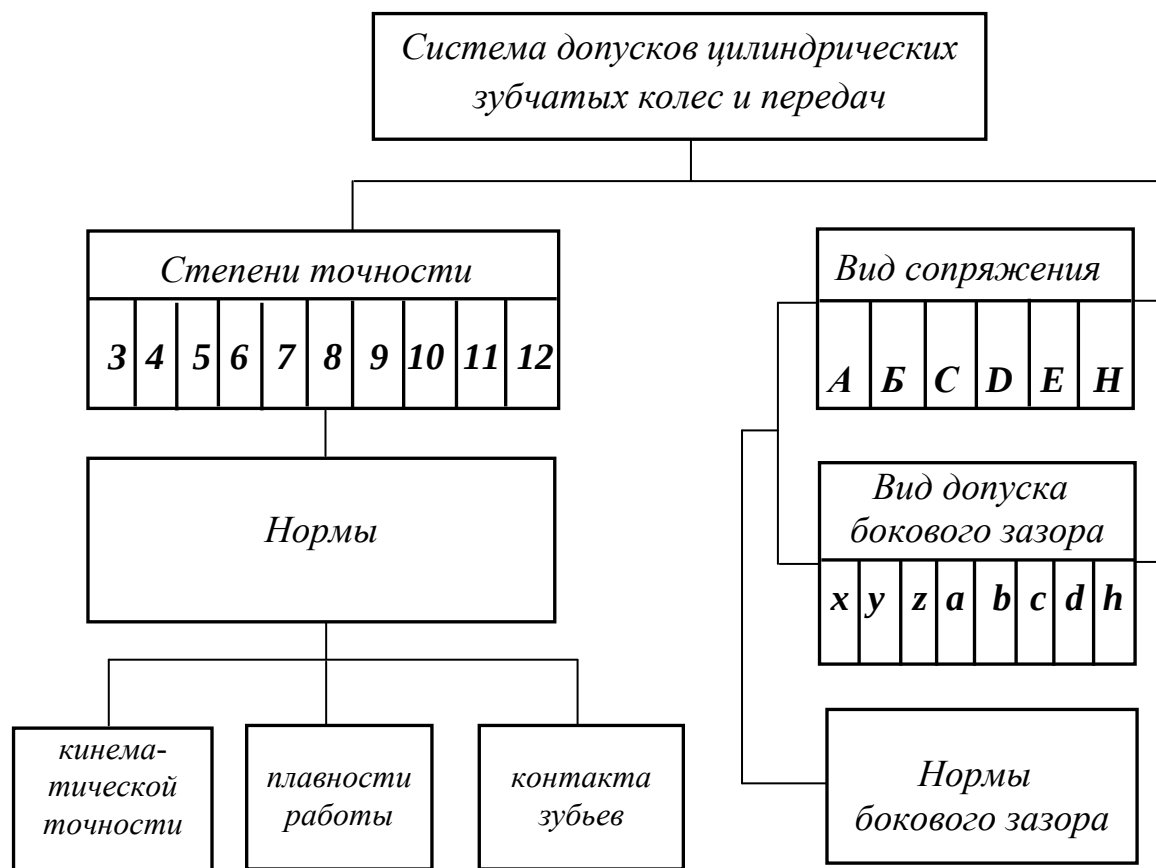


Рис. 3.31. Система допусков цилиндрических зубчатых колес

Точность ЗК и ЗП задают степенями точности по нормам кинематической точности, плавности работы и контакта зубьев, видом сопряжения и видом допуска бокового зазора в последовательности, указанной на рис. 3.32, *а*. Возможно краткое обозначение точности ЗК и ЗП (рис. 3.32, *б*) в том случае, когда степени точности по всем трем нормам одинаковы и виду сопряжения соответствует вид допуска на боковой зазор, обозначаемый той же буквой. Наиболее часто используют промежуточные варианты обозначения, например, 8-7-6-В ГОСТ 1643. При необходимости в обозначениях ЗК и ЗП указывают класс отклонений межосевого расстояния и соответствующий боковой зазор, например, 8-7-6-*Ca/V*-128 ГОСТ 1643. В том случае, когда по одной из норм точности степень точности конструктор не устанавливает, в обозначении указывают букву *N* вместо номера этой степени, например, 8-*N*-6-В ГОСТ 1643.

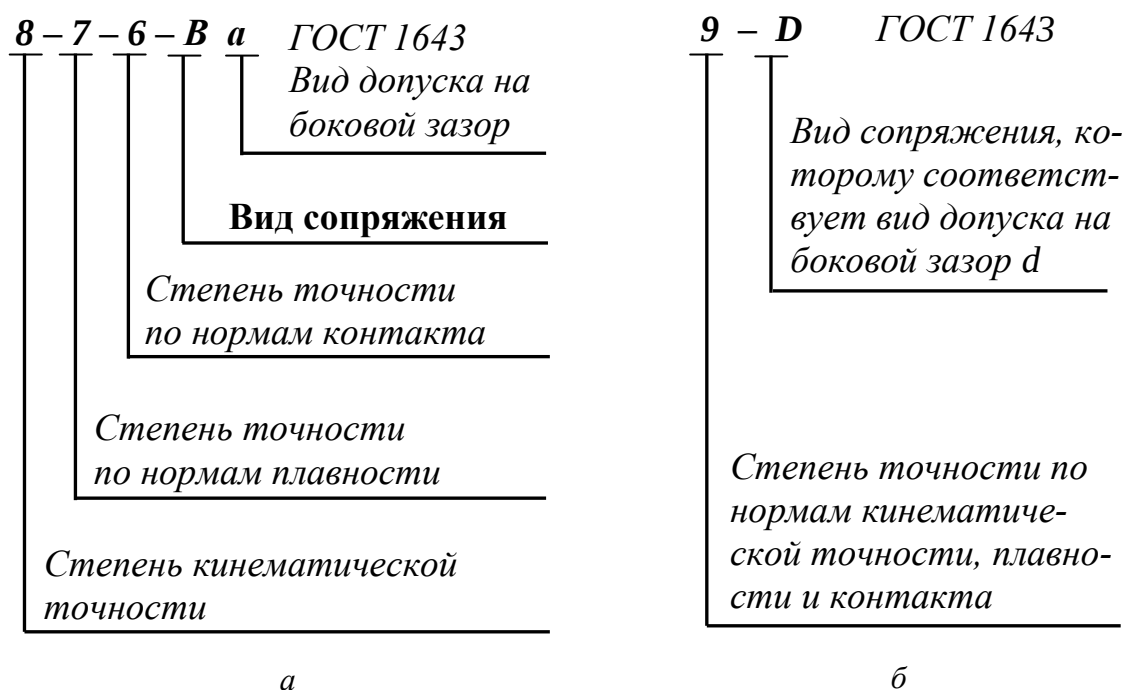


Рис. 3.32. Обозначение точности зубчатых колес и передач:
а – полное, *б* – краткое

Степень точности ЗК и ЗП устанавливают в зависимости от требований к кинематической точности, плавности работы, передаваемой мощности, а также окружной скорости ЗК, выполняя соответствующие расчеты (расчет угла рассогласования вращения ведущего и ведомого ЗК для определения степени кинематической точности, расчет динамики передачи для определения степени точности по нормам плавности, расчет на прочность и долговечность для определения степени точности по нормам контакта), или руководствуясь рекомендациями [15] (табл. П.4.1).

При назначении степеней точности используют принцип комбинирования норм точности, позволяющий для конкретной передачи, в зависимости от ее назначения, установить различные степени точности по нормам кинематической точности, плавности работы и контакта зубьев. Комбинирование норм позволяет установить более высокую точность для основных, определяющих служебное назначение норм точности и менее высокую – для остальных норм.

В соответствии с этим принципом, нормы плавности работы ЗК и ЗП не могут быть более чем на две степени точнее или на одну степень грубее норм кинематической точности; нормы контакта зубьев не могут быть грубее норм плавности (за исключением передач с коэффициентом осевого перекрытия $\varepsilon_\beta \leq 1,25$, для которых нормы контакта могут быть на одну степень грубее норм плавности). Комбинирование норм точности позволяет снизить затраты на изготовление ЗК, а следовательно, и ЗП, за счет применения более простых методов обработки зубьев.

Вид сопряжения ЗП характеризуется величиной минимального бокового зазора в ЗП $j_{n \min}$, необходимого для компенсации температурных деформаций и размещения смазочного материала и определяемого расчетным путем.

ГОСТ 1643 устанавливает виды сопряжений в зависимости от степени точности ЗК и ЗП (табл. 3.18).

3.31. Соответствие видов сопряжения степеням точности ЗК и ЗП (ГОСТ 1643)

Вид сопряжения	Диапазон степеней кинематической точности ЗК и ЗП	Примечание
<i>A</i>	3 – 12	Сопряжения вида <i>B</i> гарантирует величину $j_{n \min}$, при котором исключается возможность заклинивания стальных или чугунных ЗК в передаче от нагрева при разности температур ЗК и корпуса в 25 °С
<i>B</i>	3 – 10	
<i>C</i>	3 – 9	
<i>D</i>	3 – 8	
<i>E</i>	3 – 7	
<i>H</i>	3 – 7	

При отсутствии специальных требований к партии или комплекту передач видам сопряжений *H* и *E* соответствует вид допуска на боковой зазор *h*, а видам сопряжений *D*, *C*, *B* и *A* – виды допуска *d*, *c*, *b* и *a* соответственно.

ГОСТ 1643 характеризует точность ЗК и ЗП рядом показателей. Набор этих показателей значительно больший, чем требуется для оценки нормируемых эксплуатационных свойств. При этом установлено несколько равноправных комплексов показателей точности ЗК и ЗП по всем нормам точности (табл. 3.19) [15, 22].

3.19. Показатели точности зубчатых колес и передач (ГОСТ 1643) F'_{ir}

Нормы	Комплексы контролируемых показателей точности			Степень точности	Назначение
	Номер	Наименование	Обозначение		
1	2	3	4	5	6
Кинематическая точность	<i>Для колеса</i>				
	1	Наибольшая кинематическая погрешность ЗК	F'_{ir}	3 – 8	Для любых ЗК
	2	Накопленная погрешность шага ЗК и накопленная погрешность k шагов	F_{Pr} и F_{Pkr}	3 – 6	
	3	Накопленная погрешность шага ЗК	F_{Pr}	7, 8	
	4	Погрешность обката и радиальное биение зубчатого венца	F_{cr} и F_{rr}	3 – 8	
	5	Колебание длины общей нормали и радиальное биение зубчатого венца	F_{vwz} и F_{rr}	3 – 8	
	6	Колебание длины общей нормали и колебание измерительного межосевого расстояния за оборот ЗК	F_{vwz} и F''_{ir}	5 – 8	
	7	Погрешность обката и колебание измерительного межосевого расстояния за оборот ЗК	F_{cr} и F''_{ir}	5 – 8	
	8	Колебание измерительного межосевого расстояния за оборот ЗК	F''_{ir}	9 – 12	
	9	Радиальное биение зубчатого венца	F_{rr}	7 – 12	7, 8 степени – для ЗК с делительным диаметром > 1600 мм
	<i>Для передачи</i>				
	1	Наибольшая кинематическая погрешность передачи	F'_{ior}	3 – 8	Для любых передач
Плавность работы	<i>Для колеса</i>				
	1	Местная кинематическая погрешность ЗК	f'_{ir}	3 – 8	Для прямозубых и узких косозубых ЗК
	2	Циклическая погрешность зубцовой частоты ЗК	f_{zsr}	3 – 8	
	3	Отклонение шага зацепления и погрешность профиля зуба	f_{Pbr} и f_{fr}	3 – 8	
	4	Отклонение шага зацепления и отклонение шага	f_{Pbr} и f_{ptr}	3 – 8	
	5	Колебание измерительного межосевого расстояния на одном зубе	f''_{ir}	5 – 8	Для любых ЗК
		То же	f''_{ir}	9 – 12	
	6	Отклонение шага зацепления	f_{Pbr}	9 – 12	
	7	Отклонение шага	f_{ptr}	9 – 12	Для широких ЗК
		То же	f_{ptr}	7, 8	
	8	Циклическая погрешность ЗК	f_{zkr}	3 – 8	

1	2	3	4	5	6
Плавность работы	Для передачи				
	1	Местная кинематическая погрешность передачи	f'_{ior}	3 – 8	Для прямозубых и узких косозубых передач
	2	Циклическая погрешность зубцовой частоты в передаче	f_{zzor}	3 – 8	
	3	Циклическая погрешность передачи	f_{zkor}	3 – 8	Для косозубых передач с широкими ЗК
Контакт зубьев	Для колеса				
	1	Погрешность направления зуба	$F_{\beta r}$	3 – 12	Для прямозубых и узких косозубых ЗК
	2	Суммарная погрешность контактной линии	F_{kr}	3 – 12	Для широких косозубых ЗК
	3	Отклонение осевых шагов по нормали и суммарная погрешность контактной линии	$F_{P_{xnr}}$ и F_{kr}	3 – 9	
	4	Отклонение осевых шагов по нормали и отклонение шага зацепления	$F_{P_{xnr}}$ и F_{pbr}	3 – 9	
	Для передачи				
	1	Отклонение от параллельности осей и перекос осей	f_{xr} и f_{yr}	3 – 12	Для любых передач
	2	Суммарное пятно контакта	–	3 – 11	
	3	Мгновенное пятно контакта	–	3 – 11	
	Боковой зазор	Для колеса			
1		Наименьшее дополнительное смещение и допуск на смещение исходного контура	E_{HS} и T_H	3 – 12	Для любых ЗК
2		Предельные отклонения измерительного межосевого расстояния	$E_{a''s}$ и $E_{a''i}$	6 – 7	
3		Наименьшее отклонение средней длины и допуск на среднюю длину общей нормали	E_{wms} и T_{wm}	3 – 12	
4		Наименьшее отклонение и допуск на толщину зуба	E_{cs} и T_c	3 – 12	
Для передачи					
1		Гарантированный боковой зазор	$j_{n\min}$	3 – 12	Для передач с регулируемым расположением осей
2		Предельные отклонения межосевого расстояния	$\pm f_{ar}$	3 – 12	Для передач с нерегулируемым расположением осей

Примечания: 1. Под узкими косозубыми ЗК понимают колеса с коэффициентом осевого перекрытия: $\epsilon_\beta \leq 1,25$ для ЗК 3-й и 4-й степеней точности, $\epsilon_\beta \leq 1,5$ – для 5-й, $\epsilon_\beta \leq 2,0$ – для 6-й, $\epsilon_\beta \leq 2,5$ – для 7-й и $\epsilon_\beta \leq 3,0$ – для 8-й степени точности по нормам контакта. 2. Допускается оценивать точность ЗК по суммарному или мгновенному пятну контакта его зубьев с зубьями измерительного ЗК. 3. Показатели плавности f'_{ir} (f'_{ior}), f_{zzr} (f_{zzor}), f_{zkr} (f_{zkor}), f''_{ir} получают по результатам измерения кинематической погрешности колеса (передачи).

Система обозначения показателей точности ЗК и ЗП построена по следующим правилам:

- показатели кинематической точности, обозначают буквой « F », плавности работы – « f », бокового зазора – « E »;
- проставляют верхний индекс в виде штриха (например, показатель «наибольшая кинематическая погрешность колеса F'_{ir} »), если показатель контролируется в однопрофильном зацеплении; в виде двух штрихов (например, «колебание измерительного межосевого расстояния за оборот колеса F''_{ir} »), если показатель определяется в двухпрофильном зацеплении (беззазорное зацепление);
- нижним индексом « o » отмечают показатели точности передачи (например, «наибольшая кинематическая погрешность передачи F_{ior} »); при отсутствии этого индекса показатель определяет точность ЗК;
- чтобы отличить действительное отклонение от допускаемого (от допуска), к обозначению отклонения добавляют нижний индекс « r ». Например, кинематическую погрешность ЗК обозначают F'_{ir} , а допуск на кинематическую погрешность ЗК – F'_i .

Показатели кинематической точности, плавности работы, контакта зубьев и бокового зазора ЗК в передаче установлены так, что результаты контроля ЗК или ЗП по одному из указанных комплексов не противоречат результатам проверки по другому комплексу. Например, если колесо по нормам кинематической точности признано годным по третьему комплексу контролируемых показателей (см. табл. 3.19), то оно не должно быть забраковано при повторном контроле по первому или любому другому комплексу.

Показатели точности зубчатой передачи (см. табл. 3.19) являются комплексными, поэтому контроль по этим показателям предпочтителен. Если кинематическая точность и плавность работы собранной передачи соответствуют требованиям стандарта, то контроль колес в отдельности по этим нормам не проводят. При раздельном предварительном контроле колес, входящих в передачу, контроль собранной передачи не является обязательным. Это положение распространяется и на контроль по нормам контакта зубьев.

При установлении комплекса контролируемых показателей для окончательного контроля следует отдавать предпочтение комплексным показателям, которые выявляют совокупность погрешностей при непрерывном процессе контроля. К ним относятся: показатель кинематической точности F'_{ir} (см. табл. 3.19), показатель плавности f'_{ir} , погрешность направления зуба $F_{\beta r}$ (для контакта зубьев), показатели бокового зазора E_{Hs} и T_H . Эти показатели, по сравнению с поэлементными (остальными по табл. 3.19), наиболее полно характеризуют точность ЗК. Средства измерения ЗК, определяющие комплексные

показатели, по сравнению со средствами измерения поэлементных показателей являются более производительными.

В то же время для выявления технологических погрешностей (с целью подналадки технологической системы) целесообразно использовать поэлементные показатели.

Пример 3.5

Коробка перемены передач (КПП) легкового автомобиля работает при окружных скоростях ЗК 7...8 м/с. Модуль ЗК передачи $m = 3$ мм, число зубьев $z_1 = 17$, $z_2 = 34$. Необходимо установить точность ЗП КПП, назначить комплексы контролируемых показателей точности ЗП, определить их допуски.

– Так как КПП можно отнести к группе скоростных передач, основными нормами точности ЗП КПП будут нормы плавности работы.

– Для скоростных ЗП, работающих при окружных скоростях прямозубых ЗК свыше 6 до 10 м/с, можно назначить 7-ю степень точности по нормам плавности (табл. П.4.1).

– Для ЗП КПП, в соответствии с принципом комбинирования норм точности, кинематическую точность можно назначить грубее норм плавности работы на одну или две степени, а нормы контакта зубьев не могут быть грубее норм плавности работы. Поэтому назначаем для норм кинематической точности и плавности работы соответственно 8-ю и 7-ю степени.

– На основании рекомендаций табл. 3.18 назначаем вид сопряжения B и вид допуска на боковой зазор – σ . Тогда точность ЗП и ЗК КПП можно записать в следующем виде: 8-7-7- B ГОСТ 1643.

– Назначаем комплексы контролируемых показателей точности ЗП, отдавая предпочтение комплексным показателям. Для контроля кинематической точности ЗП назначаем первый комплекс по табл. 3.19: F'_{ior} – наибольшая кинематическая погрешность передачи; для контроля плавности работы – первый комплекс по табл. 3.19: f'_{ior} – местная кинематическая погрешность передачи; для контроля контакта зубьев – второй комплекс по табл. 3.19: суммарное пятно контакта; для контроля бокового зазора – второй комплекс по табл. 3.19: $\pm f_{ar}$ – предельные отклонения межосевого расстояния.

– Устанавливаем допуски назначенных показателей точности [15].

Допуск на наибольшую кинематическую погрешность ЗП

$$F_{io} = F'_{i1} + F'_{i2} ,$$

где F'_{i1} , F'_{i2} – допуски на наибольшую кинематическую погрешность ведущего и ведомого ЗК передачи:

$$F'_i = F_p + f_f ,$$

где F_p и f_f – соответственно допуск на накопленную погрешность шага ЗК и допуск на погрешность профиля зуба.

Для ведущего ЗК ($z_1 = 17$) 8-й степени точности

$$F_{p1} = 0,053 \text{ мм}; \quad f_{f1} = 0,014 \text{ мм};$$

для ведомого ЗК ($z_2 = 34$) 8-й степени точности

$$F_{p2} = 0,090 \text{ мм}; \quad f_{f2} = 0,014 \text{ мм}.$$

Тогда $F'_{i1} = F'_{p1} + f_{f1} = 0,053 + 0,014 = 0,067 \text{ мм};$

$$F'_{i2} = F'_{p2} + f_{f2} = 0,090 + 0,014 = 0,104 \text{ мм};$$

$$F'_{i0} = F'_{i1} + F'_{i2} = 0,067 + 0,104 = 0,171 \text{ мм}.$$

Допуск на местную кинематическую погрешность ЗП

$$f'_{i0} = 1,25 f'_i.$$

Для 7-й степени точности

$$f'_{i1} = f'_{i2} = 0,025 \text{ мм}.$$

Тогда $f'_{i0} = 1,25 \cdot 0,025 = 0,031 \text{ мм}.$

Суммарное пятно контакта для 7-й степени точности:

– по высоте зуба – не менее 45 %;

– по длине зуба – не менее 60 %.

Предельные отклонения межосевого расстояния для вида сопряжения B

$$f_a = \pm 0,06 \text{ мм}.$$

Контрольные вопросы

27. Какие виды посадок Вы знаете?
28. Какое относительное положение на схемах полей допусков имеют поля допусков вала и отверстия для посадок с зазором, с натягом и переходных?
29. Размер какой детали до сборки больше в соединениях с натягом, с зазором или с переходной посадкой?
30. В каких случаях для образования посадок используют систему вала?
31. Какие валы и отверстия называют основными?
32. В каких случаях используют посадки с зазором, с натягом, переходные?
33. В каких квалитетах установлены посадки с зазором, с натягом, переходные?
34. Как соотносятся квалитеты размеров отверстия и вала в большинстве посадок ЕСДП?
35. Для чего необходим зазор в подвижных соединениях?
36. В каких случаях используют посадки с зазором в неподвижных соединениях?

37. Чему равен гарантированный зазор в посадках H/h ?
38. От чего зависит возможность получения зазора или натяга в соединениях деталей с переходными посадками?
39. Какие переходные посадки являются посадками с преимущественным (наиболее вероятным) натягом?
40. Какие условия определяют выбор минимального и максимального натягов при назначении посадок с натягом?
41. Какие посадки называют комбинированными?
42. Назовите основные критерии выбора посадок подшипников качения.
43. Какие виды нагружения могут испытывать вращающиеся и невращающиеся кольца подшипников качения?
44. По каким посадкам устанавливают циркуляционно и местно нагруженные кольца подшипников качения?
45. Для чего необходимы натяг в соединениях с циркуляционно нагруженными и зазор в соединениях с местно нагруженными кольцами подшипников качения?
46. В какой системе образуются посадки подшипников качения с корпусами, барабанами, ступицами и другими деталями?
47. В какой системе (отверстия или вала) выполняют посадки в шпоночных соединениях?
48. По каким элементам центрируют детали в прямобочных и эвольвентных шлицевых соединениях? Каковы достоинства и недостатки разных способов центрирования?
49. Какие посадки используют в неподвижных шлицевых соединениях?
50. По какому диаметру метрической резьбы обеспечивают характер и точность соединения?
51. Как обозначают поля допусков наружной и внутренней резьб?
52. Сколько степеней точности предусматривает ГОСТ 1643 для нормирования точности цилиндрических ЗК и ЗП?
53. Какие нормы точности ЗК и ЗП Вы знаете?
54. Как нормируют боковой зазор в цилиндрических ЗП?
55. Чем определяется выбор комплекса контролируемых параметров для ЗК и ЗП?

Глава 4. ОСНОВЫ МЕТРОЛОГИИ

4.1. Общие сведения о метрологии

4.1.1. Предмет и основные понятия метрологии

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

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

Наука об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства и способах достижения требуемой точности называется *метрологией*. Слово метрология образовано от греческих слов «*метрон*» – мера и «*логос*» – учение.

Система основных понятий метрологии приведена в рекомендациях по межгосударственной стандартизации РМГ 29-99 «ГСИ. Метрология. Основные термины и определения».

Предметом метрологии является извлечение количественной информации о свойствах объектов и процессов с заданной точностью и достоверностью. Средства метрологии – это совокупность средств измерений (СИ) и метрологических стандартов, обеспечивающих их рациональное применение.

Основными задачами метрологии являются:

- обеспечение единства измерений;
- разработка и совершенствование теории измерений, методов и средств воспроизведения единиц физических величин (ФВ) и передачи их размеров;
- установление системы единиц ФВ, государственных эталонов и образцовых средств измерения (СИ);
- разработка методов оценки погрешностей, состояния СИ и контроля;
- практическое применение теории, методов и средств измерения и контроля.

Метрология делится на три самостоятельных и взаимодополняющих части [18]: теоретическая метрология, законодательная метрология и практическая метрология.

Предметом *теоретической метрологии* является разработка фундаментальных основ метрологии.

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

Предметом *практической (прикладной) метрологии* являются вопросы практического применения разработок теоретической метрологии и положений законодательной метрологии.

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

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

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

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

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

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

4.1.2. Государственная система обеспечения единства измерений

В России работы по обеспечению единства измерений регулируются *Государственной системой обеспечения единства измерений*.

Назначение ГСИ – обеспечение единства измерений в стране, т. е. управление субъектами, нормами, средствами и видами деятельности в целях установления и применения научных, правовых, организационных и технических основ, правил, норм и средств, необходимых для достижения требуемого уровня единства измерений.

Основные положения ГСИ представлены в государственном нормативном документе ГОСТР8.000-2000 «Государственная система обеспечения единства измерений. Основные положения». Здесь же сформулированы цель и задачи ГСИ.

Цель ГСИ – создание общегосударственных правовых, нормативных, организационных, технических и экономических условий для решения задач по обеспечению единства измерений и представление возможности всем субъектам деятельности оценивать правильность выполняемых измерений и уровень их влияния на результаты деятельности, основанной на результатах измерений.

ГСИ состоит из трех подсистем: правовой, организационной и технической (рис. 4.1).

Правовая подсистема ГСИ – это комплекс взаимосвязанных законодательных и подзаконных актов (см. рис. 4.1), объединяемых общей целевой направленностью и регламентирующих:

- совокупность узаконенных единиц и шкал измерений;
- терминологию в области метрологии;
- воспроизведение и передачу размеров единиц величин и шкал измерений;
- способы и формы представления результатов измерений и характеристик их погрешности;
- методы оценивания погрешности и неопределенности измерений;
- порядок разработки и аттестации методик выполнения измерений;

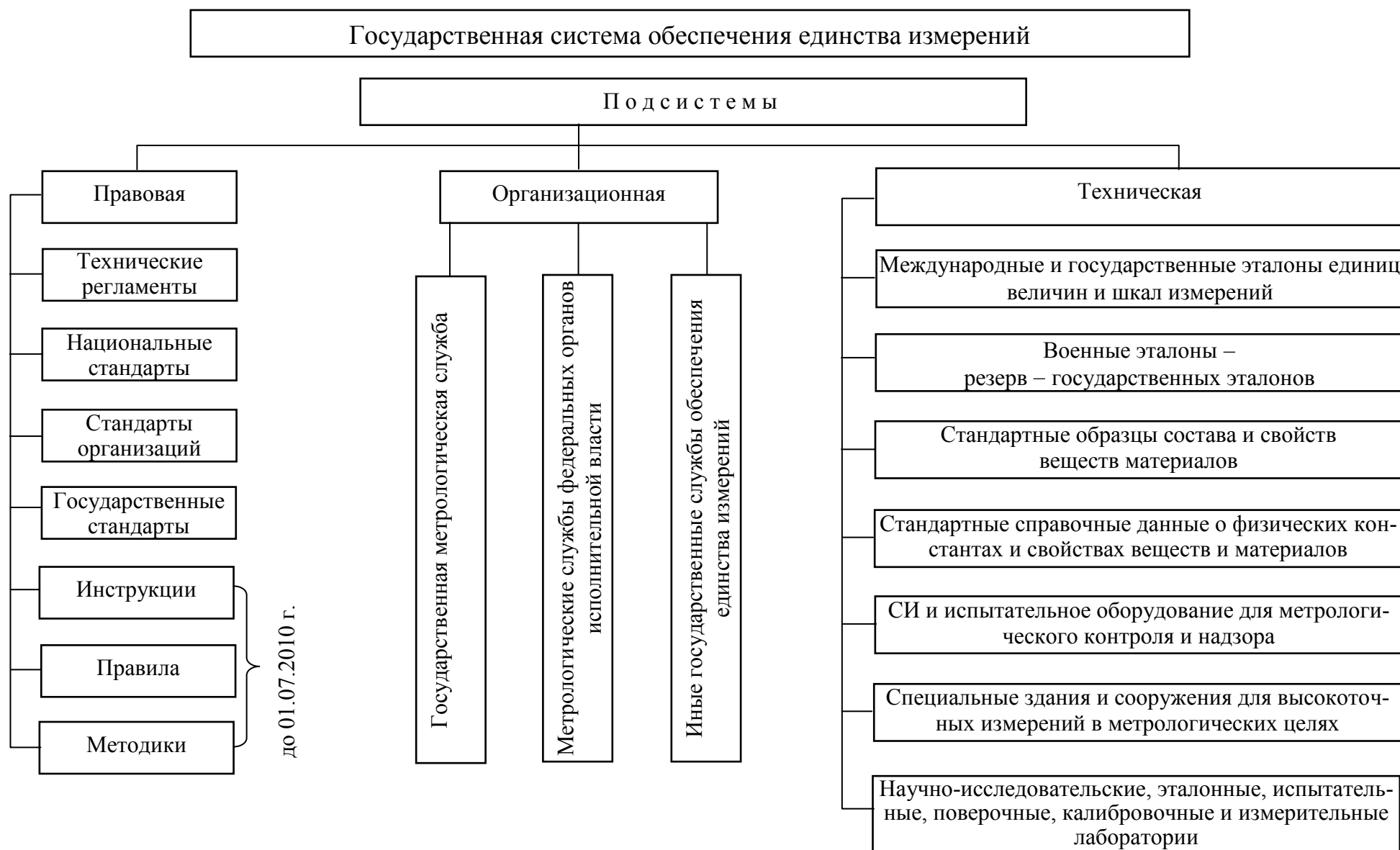


Рис. 4.1. Схема государственной системы обеспечения единства измерений

- комплексы нормируемых метрологических характеристик СИ;
- методы установления и корректировки межповерочных (рекомендуемых межкалибровочных) интервалов;
- порядок проведения испытаний в целях утверждения типа СИ и сертификации СИ;
- порядок проведения поверки и калибровки СИ;
- порядок осуществления метрологического контроля и надзора;
- порядок лицензирования деятельности юридических и физических лиц по изготовлению, ремонту, продаже и прокату СИ;
- типовые задачи, права и обязанности метрологических служб федеральных органов исполнительной власти и юридических лиц;
- порядок аккредитации метрологических служб по различным направлениям метрологической деятельности;
- порядок аккредитации поверочных, калибровочных, измерительных, испытательных и аналитических лабораторий и лабораторий неразрушающего и радиационного контроля;
- термины и определения по видам измерений;
- государственные поверочные схемы;
- методики поверки (калибровки) СИ;
- методики выполнения измерений.

В соответствии с Федеральным законом «О техническом регулировании» (от 27.12.2002 г. № 184-ФЗ), нормативными документами в области обеспечения единства измерений являются технические регламенты, национальные стандарты и стандарты организаций (предприятий) (см. рис. 4.1).

Цели, задачи и функции метрологических служб, составляющих организационную подсистему ГСИ представлены в подразделе 4.2.

Техническая подсистема ГСИ представляет собой комплекс средств материально-технического обеспечения ГСИ, включающий в себя эталонную базу страны; совокупности стандартных образцов состава и свойств веществ и материалов, стандартных справочных данных о физических константах и свойствах веществ и материалов; средства измерений и испытательное оборудование, необходимое для осуществления метрологического контроля и надзора и др. (см. рис. 4.1).

4.1.3. Метрологические службы Российской Федерации

Управление деятельностью по обеспечению единства измерений в РФ осуществляет Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии (Росстандарт). При этом функции по принятию нормативных правовых актов в установленной сфере деятельности осуществляет Министерство промышленности и торговли РФ.

Кроме того, Росстандарту предоставлены полномочия, связанные с лицензированием деятельности по изготовлению и ремонту СИ, а также государственным метрологическим контролем и надзором, контролем и надзором за соблюдением обязательных требований государственных стандартов и технических регламентов.

Росстандарт осуществляет свою деятельность через свои территориальные органы и подведомственные организации [14], совокупность которых образует Государственную метрологическую службу (ГМС).

Территориальными органами ГМС являются межрегиональные и территориальные управления (МТУ), осуществляющие контрольно-надзорные функции на закрепленной за ними территории. В соответствии с существующими федеральными округами создано семь МТУ.

К подведомственным ГМС организациям в первую очередь относятся федеральные бюджетные региональные учреждения – Центры стандартизации и метрологии (ЦСМ), назначение которых – выполнение на закрепленной территории (республике в составе РФ, крае, области) следующих функций:

- поверку СИ при выпуске их из производства и ремонта, при ввозе по импорту и эксплуатации;
- участие в аккредитации метрологических служб юридических лиц на право поверки СИ;
- аттестацию поверителей, работающих в аккредитованных на право поверки метрологических службах юридических лиц;
- участие в аккредитации метрологических служб юридических лиц на право проведения калибровочных работ, аттестации методик выполнения измерений и проведения метрологической экспертизы документов;
- оценку состояния измерений в испытательных и измерительных лабораториях на предприятиях закрепленной территории;
- сертификацию и калибровку СИ, разработку и аттестацию методик измерений, метрологическую экспертизу нормативных документов;
- участие в аккредитации органов по сертификации и испытательных лабораторий и в их инспекционном контроле и др.

В организационную подсистему ГСИ входят также метрологические службы федеральных органов исполнительной власти и юридических лиц. Эти метрологические службы могут создаваться в министерствах, организациях, на предприятиях и в учреждениях, являющихся юридическими лицами.

Метрологическая служба юридического лица представляет собой, как правило, обособленное структурное подразделение, руководимое главным метрологом и действующее на основе положения о нем. Основы деятельности метрологических служб юридических лиц сформулированы в ФЗ РФ «Об обеспечении единства измерений» и других нормативных правовых актах. Метрологические службы юридических лиц могут быть аккредитованы на право поверки и (или) калибровки СИ и техническую компетентность в осуществлении конкретных видов деятельности в области обеспечения единства и требуемой точности измерений.

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

Роль и значение единства измерений в международных торгово-экономических и научно-технических связях являлись существенными всегда, а при современном уровне международного сотрудничества являются определяющими этот уровень. История создания и развития международных метрологических организаций насчитывает более двух столетий [14, 19].

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

Генеральная конференция по мерам и весам является высшим в мире органом по вопросам установления единиц величин и их определений методов воспроизведения и эталонов. ГКМВ созывается не реже одного раза в 4 года с целью утверждения программ научно-практической деятельности МБМВ и выборов МКМВ. Место проведения генеральных конференций – г. Париж.

Международный комитет по мерам и весам руководит работой МОМВ в промежутках между созывами генеральных конференций. В состав МКМВ избираются 18 членов из числа крупнейших ученых-метрологов. В свое время в состав МКМВ избирался

Д.И. Менделеев. Основные задачи МКМВ – реализация решений ГКМВ, проведение текущих исследований в области метрологии и подготовка материалов и решений к предстоящей генеральной конференции.

Международное бюро мер и весов – она из старейших международных организаций, созданная в 1879 г. Основными задачами МБМВ являются координация деятельности метрологических организаций более 100 стран в области совершенствования систем единиц и эталонов, обеспечение их унификации и эквивалентности.

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

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

Высшим органом МОЗМ является Международная конференция законодательной метрологии, созываемая один раз в 4 года. Решения МОЗМ не являются обязательными, а носят характер рекомендаций.

Рекомендации МОЗМ принимаются в виде международных документов (МД), предназначенных для рабочих органов МОЗМ, и международных рекомендаций (МР), предназначенных для стран – членов Конвенции. Между конференциями руководство МОЗМ осуществляет ее исполнительный орган *Международный комитет законодательной метрологии (МКЗМ)*.

Из других международных метрологических организаций необходимо отметить *Международную конференцию по измерительной технике и приборостроению (ИМЕКО)* – неправительственную организацию, объединяющую научные и инженерные общества, занимающиеся вопросами измерений, более чем из 30 стран мира. Цель ИМЕКО – содействие международному сотрудничеству и обмену научной и технической ин-

формацией. Высший орган ИМЕКО – Генеральный совет, исполнительный орган – Секретариат (г. Будапешт). ИМЕКО проводит работы в 17 технических комитетах по отдельным направлениям метрологии.

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

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

В национальных рамках единство измерений, как правило, регулируется статьями конституций (Германия, США) или специальными законами (Великобритания, Франция). В целом задача обеспечения единства измерений практически во всех странах рассматривается в качестве государственной функции, для чего создаются государственные научные институты и лаборатории.

4.1.5. Государственный метрологический контроль и надзор

Виды и сферы распространения государственного контроля и надзора за состоянием и применением СИ (государственного метрологического контроля и надзора) установлены Законом «Об обеспечении единства измерений». В соответствии с этим законом, государственному контролю и надзору подлежат СИ, используемые в жизненно важных для государства сферах деятельности, к которым, например, относятся: здравоохранение, ветеринария, охрана окружающей среды, обеспечение безопасности труда; оборона государства; банковские, налоговые, таможенные и почтовые организации; производство продукции, поставляемой по контрактам для государственных нужд в соответствии с законодательством РФ, и др.

В производственных сферах предприятиям предоставлена большая самостоятельность – они проводят работы по обеспечению единства измерений самостоятельно, а государство лишь контролирует их организацию и качество.

Государственный метрологический контроль включает в себя:

- утверждение типа СИ;
- поверку СИ, в том числе эталонов ;
- лицензирование деятельности юридических и физических лиц по изготовлению, ремонту, продаже и прокату СИ.

Утверждение типа СИ проводится в целях обеспечения единства измерений в стране путем производства и выпуска в обращении СИ, соответствующих требованиям, установленным в нормативных документах.

Поверку СИ, подлежащих государственному контролю, осуществляют органы государственного метрологического контроля при выпуске из производства или ремонта, при ввозе по импорту и при эксплуатации. Поверке подлежит каждый экземпляр СИ. Порядок проведения поверки регламентируют ПР 50. 2. 006-94 «ГСИ. Виды и методы поверки, правила оформления и аннулирования результатов поверки».

Лицензирование деятельности юридических и физических лиц по изготовлению, ремонту, продаже и прокату СИ осуществляется органами ГМС. Лицензия выдается на срок не более 5 лет и действительна на всей территории РФ. Лицензия на право изготовления СИ выдается на срок действия сертификата об утверждении типа СИ.

Государственный метрологический надзор осуществляется:

- за выпуском, состоянием и применением СИ, аттестованными методиками выполнения измерений, эталонами единиц ФВ, соблюдением метрологических правил и норм на предприятиях;

- за количеством товаров, отчуждаемых при совершении торговых операций;

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

Государственный метрологический надзор осуществляют органы ГМС в соответствии с ПР 50.2.2.002-94.

4.2. Единицы и системы единиц физических величин

4.2.1. Физические величины

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

Под *физической величиной* понимают одно из свойств физического объекта (физической системы, явления или процесса), общее в качественном отношении для многих физических объектов, но в количественном отношении индивидуальное для каждого из них.

Например, все детали обладают такими общими свойствами, как пространственные размеры, масса, твердость, но для каждой из них количественные характеристики этих свойств индивидуальны.

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

Формализованным отражением качественного различия ФВ является их *размерность*[21]. В соответствии с международным стандартом ИСО 31/0, размерность ФВ обозначают символом *dim*, происходящим от английского слова *dimension*, которое в зависимости от контекста может переводиться и как размер, и как размерность.

Размерность основных ФВ обозначают соответствующими заглавными буквами. Например, размерность длины *l*, массы *m* и времени *t*, входящих в большинство систем ФВ в качестве основных, следует обозначить

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

При определении размерности производных величин руководствуются следующими правилами[21]:

- размерности правой и левой частей уравнения не могут не совпадать, так как сравниваться между собой могут только одинаковые свойства;
- алгебра размерностей мультипликативна, т.е. состоит из одного единственного действия – умножения;
- размерность произведения нескольких величин равна произведению их размерностей. Так, если зависимость между значениями величин *Q*, *A*, *B*, *C* имеет вид $Q = A \cdot B \cdot C$, то $\dim Q = \dim A \cdot \dim B \cdot \dim C$;
- размерность частного от деления одной величины на другую равна отношению их размерностей, т.е. если $Q = A / B$, то $\dim Q = \dim A / \dim B$.

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

$$\dim Q = \prod_{1}^n \dim A = \dim^n A.$$

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

$$\dim Q = L^{\alpha} M^{\beta} T^{\gamma} \dots, \quad (4.1)$$

где $L, M, T, \dots$ – размерности соответствующих основных ФВ; $\alpha, \beta, \gamma, \dots$ – *показатели размерности*. Каждый из показателей размерности может быть положительным или отрицательным, целым или дробным числом, нулем. Если все показатели размерности равны нулю, то такая величина называется безразмерной. Она может быть *относительной*, определяемой как отношение одноименных величин (например, относительная диэлектрическая проницаемость), и *логарифмической*, определяемой как логарифм относительной величины (например, логарифм отношения мощностей или напряжений).

Теория размерности повсеместно применяется для перевода единиц из одной системы в другую, для оперативной проверки правильности формул и др. Формальное применение алгебры размерностей иногда позволяет определить неизвестную зависимость между ФВ.

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

$$Q = K \cdot X^\alpha \cdot Y^\beta \cdot Z^\gamma \dots, \quad (4.2)$$

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

Пример 4.1

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

Действующая сила определяется по уравнению $F = m \cdot a$, где m – масса; a – ускорение. Ускорение определяется по уравнению $a = \Delta V / \Delta t$, где ΔV – изменение скорости тела за время Δt .

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

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

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

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

3. Подставив в формулу мощности размерность силы, найдем размерность мощности:

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

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

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

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

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

$$Q = q[Q]. \quad (4.3)$$

Это уравнение называют основным уравнением измерения. Суть простейшего измерения состоит в сравнении ФВ Q с размерами многозначной меры (понятие «многозначная мера» см. параграф 4.6.1) $q[Q]$. В результате сравнения получают

$$q[Q] < Q < (q + 1)[Q]. \quad (4.4)$$

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

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

Построение шкал ФВ основано на логических отношениях, существующих между элементами множества различных проявлений свойства в конкретных объектах [19]:

– эквивалентности – отношение, в котором свойство X у различных объектов A и B оказывается одинаковым или неодинаковым;

– порядка – отношение, в котором данное свойство X у различных объектов оказывается больше или меньше;

– аддитивности – отношение, когда одинаковые свойства различных объектов могут суммироваться.

Различают пять основных типов шкал [8, 19]: шкала наименований; шкала порядка; шкала интервалов (разностей); шкала отношений и абсолютная шкала.

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

Эти свойства нельзя считать ФВ, поэтому шкалы такого вида не являются шкалами ФВ. Это самый простой тип шкал, основанный на приписывании качественным свойствам объектов чисел, играющих роль имен.

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

Шкала порядка (ранга) – шкала, элементы которой допускают логическую взаимосвязь элементов не только в виде отношений эквивалентности (как у шкал наименований), но и отношений порядка по возрастанию или убыванию количественного проявления измеряемого свойства.

Полученный при этом упорядоченный ряд называют ранжированным рядом, а саму процедуру – ранжированием. Ранжированный ряд может дать ответ на вопросы типа – «что больше (меньше)» или «что лучше (хуже)». Более подробную информацию – на сколько больше или меньше, во сколько раз лучше или хуже, шкала порядка дать не может.

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

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

На шкале интервалов определены действия сложения и вычитания интервалов. Действительно, по шкале времени интервалы можно суммировать или вычитать и сравни-

вать во сколько раз один интервал больше другого, но складывать даты каких-либо событий бессмысленно.

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

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

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

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

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

4.2.2. Международная система единиц физических величин

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

Понятие системы единиц как совокупности основных и производных впервые предложено немецким ученым К.Ф. Гауссом в 1832 г. В качестве основных в этой системе были приняты: единица длины – миллиметр, единица массы – миллиграмм, единица времени – секунда. Эту систему единиц называли *абсолютной*.

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

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

В прошлом веке широко использовалась в технике (механике, теплотехнике) система единиц МКГСС. Основными единицами системы являются: единица длины – метр; единица силы – килограмм-сила и единица времени – секунда. Существенным недостатком технической системы является то, что единица массы в этой системе не имеет простого десятичного соотношения с единицами массы других систем.

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

В 1960 г. на XI Генеральной конференции по мерам и весам была принята единая универсальная система единиц, получившая название «Международная система единиц» (*Systeme International*), сокращенно СИ (СИ). В Российской Федерации система единиц СИ регламентирована ГОСТ 8.417 «ГСИ. Единицы величин». Стандарт устанавливает основные единицы, производные и внесистемные, допускаемые к применению в специальных областях.

Система единиц СИ состоит из семи основных единиц (табл. 4.1) и необходимого комплекса производных единиц (табл. 4.2, 4.3) – по одной для каждой ФВ. Три из основных единиц (метр, килограмм и секунда) позволяют образовать производные единицы, имеющие механическую природу. Так, единицей силы является Ньютон: $1 \text{ Н} = 1 \text{ кг} \cdot \text{м} \cdot \text{с}^{-2}$; единицей давления – Паскаль: $1 \text{ Па} = 1 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-1} \cdot \text{с}^{-2}$ и т.д. Три других дают возможность образовывать производные единицы для величин, которые не могут быть сведены к

механическим явлениям: Ампер – для электрических и магнитных величин, Кельвин – для тепловых величин, Кандела – для величин в области фотометрии.

4.1. Основные единицы физических величин системы СИ

Величина			Единица		
Наименование	Размерность	Рекомендуемое обозначение	Обозначение		
			Наименование	Русское	Международное
Длина	L	ℓ	метр	м	m
Масса	M	m	килограмм	кг	kg
Время	T	t	секунда	с	s
Сила электрического тока	I	i	ампер	А	A
Термодинамическая температура	Θ	T	кельвин	К	K
Количество вещества	N	n, ν	моль	моль	mol
Сила света	J	j	кандела	кд	cd

4.2. Примеры производных единиц

Величина		Единица	
Наименование	Размерность	Наименование	Выражение через единицы СИ
Площадь	L^2	квадратный метр	m^2
Объем	L^3	кубический метр	m^3
Скорость	$L \cdot T^{-1}$	метр в секунду	$m \cdot c^{-1}$
Угловая скорость	T^{-1}	радиан в секунду	$рад \cdot c^{-1}$
Ускорение	$L \cdot T^{-2}$	метр на секунду в квадрате	$m \cdot c^{-2}$
Угловое ускорение	T^{-2}	радиан на секунду в квадрате	$рад \cdot c^{-2}$

Угловые единицы (радиан и стерadian) введены в качестве безразмерных производных: эти единицы не могут быть введены в число основных, так как это затруднило бы трактовку размерностей величин, связанных с вращением (дуги окружности, площади круга и т.д.).

4.3. Производные единицы системы СИ, имеющие специальное название

Величина		Единица		
Наименование	Размерность	Наименование	Обозначение	Выражение через единицы СИ
1	2	3	4	5
Плоский угол	–	радиан	рад	$m \cdot m^{-1} = 1$
Телесный угол	–	стерадиан	ср	$m^2 \cdot m^{-2} = 1$
Частота	T^{-1}	герц	Гц	c^{-1}

Окончание табл. 4.3

1	2	3	4	5
Сила, вес	$L M T^{-2}$	ньютон	Н	$м \cdot кг \cdot с^{-2}$
Давление, механическое напряжение	$L^{-1} M T^{-2}$	паскаль	Па	$м^{-1} \cdot кг \cdot с^{-2}$
Энергия, работа, количество теплоты	$L^2 M T^{-2}$	джоуль	Дж	$м^{-2} \cdot кг \cdot с^{-2}$
Мощность	$L^2 M T^{-3}$	ватт	Вт	$м^2 \cdot кг \cdot с^{-3}$
Количество электричества	TI	кулон	Кл	$с \cdot А$
Электрическое напряжение, электродвижущая сила	$L^2 M T^{-3} I^1$	вольт	В	$м^2 кг \cdot с^{-3} А^{-1}$
Электрическая емкость	$L^2 M^1 T^4 I^2$	фарад	Ф	$м^{-2} \cdot кг^{-1} \cdot с^4 \cdot А^2$
Электрическое сопротивление	$L^2 M T^{-3} T^2$	ом	Ом	$м^2 \cdot кг \cdot с^{-3} \cdot А^{-2}$
Электрическая проводимость	$L^2 M^1 T^3 I^2$	сименс	См	$м^{-2} \cdot кг^{-1} \cdot с^3 \cdot А^2$
Поток магнитной индукции	$L^2 M T^{-2} I^{-1}$	вебер	Вб	$м^2 \cdot кг \cdot с^{-2} \cdot А^{-1}$
Магнитная индукция	$M T^{-2} I^{-1}$	тесла	Тл	$кг \cdot с^{-2} \cdot А^{-1}$
Индуктивность	$L^2 M T^{-2} I^{-2}$	генри	Гн'	$м^2 \cdot кг \cdot с^{-2} \cdot А^{-2}$
Световой поток	J	люмен	лм	кд · ср
Освещенность	$L^{-2} J$	люкс	лк	$м^{-2} \cdot кд \cdot ср$
Активность радионуклида	T^{-1}	беккерель	Бк	$с^{-1}$
Поглощенная доза ионизирующего излучения	$L^2 T^{-2}$	грей	Гр	$м^2 \cdot с^{-2}$
Эквивалентная доза излучения	$L^2 T^{-2}$	зиверт	Зв	$м^2 \cdot с^{-2}$

Производная единица является *когерентной* (от латинского *cohaerentia* – связь, сцепление), если она связана с другими единицами системы уравнением, в котором числовой коэффициент принят равным 1 (см. уравнение 4.2). Например, единица силы 1 Н образована по уравнению связи между единицами $F = m \cdot a$, где $m = 1$ кг, $a = 1$ м/с², и поэтому Ньютон ($1 \text{ Н} = 1 \text{ кг} \cdot \text{м}/\text{с}^2$) – когерентная единица.

Система единиц, в которой все производные единицы когерентны, называется *когерентной системой единиц* ФВ [8]. Например, системы единиц механических величин МКСА, СГС и СИ. Система МКГСС является некогерентной с единицами электрических и магнитных величин.

Единицы ФВ делятся на системные и внесистемные. *Системная единица* – единица ФВ, входящая в одну из принятых систем. *Внесистемная единица* не входит ни в одну из

принятых систем единиц. Внесистемные единицы по отношению к единицам СИ разделяются на четыре вида:

- допускаемые наравне с единицами СИ (табл. 4.4), например, единица массы – тонна; плоского угла – градус, минута, секунда; объема – литр и др.;
- допускаемые к применению в специальных областях, например, электрон-вольт – единица энергии в физике;
- временно допускаемые к применению наравне с единицами СИ, например, карат – единица массы в ювелирном деле и др.;
- изъятые из употребления, например, миллиметр ртутного столба – единица давления; лошадиная сила – единица мощности и др.

Различают кратные и дольные единицы ФВ (табл. 4.5). *Кратная единица* – это единица ФВ, в целое число раз превышающая системную или внесистемную единицу.

Например, единица длины километр равна 10^3 м, т.е. кратна метру. *Дольная единица* – единица ФВ, значение которой в целое число раз меньше системной или внесистемной единицы. Например, единица длины миллиметр равна 10^{-3} м, т.е. является дольной.

4.4. Внесистемные единицы, допускаемые к применению наравне с единицами СИ

Наименование величины	Единица		
	Наименование	Обозначение	Соотношение с единицей СИ
Масса	тонна	т	10^3 кг
	атомная единица массы	а.е.м.	$1,66057 \cdot 10^{-27}$ кг (приблизительно)
Время	минута	мин	60 с
	час	ч	3600 с
	сутки	сут	86400 с
Плоский угол	градус	$\dots^\circ$	$(\pi/180) = 1,745329 \dots \cdot 10^{-2}$ рад
	минута	$\dots'$	$(\pi/10800) = 2,908882 \dots \cdot 10^{-4}$ рад
	секунда	$\dots''$	$(\pi/648000) = 4,848137 \dots \cdot 10^{-6}$ рад
	град	град	$(\pi/200)$ рад
Объем	литр	л	10^{-3} м ³
Длина	астрономическая единица	а.е.	$1,45598 \cdot 10^{11}$ м (приблизительно)
	световой год	св. год	$9,4605 \cdot 10^{15}$ м (приблизительно)
	парсек	пк	$3,0857 \cdot 10^{16}$ м (приблизительно)
Оптическая сила	диоптрия	дптр	1 м^{-1}
Площадь	гектар	га	10^4 м^2
Энергия	электрон-вольт	эВ	$1,45598 \cdot 10^{-11}$ м (приблизительно)
Полная мощность	вольт-ампер	В А	–
Реактивная мощность	вар	вар	–

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

Множи- тель	Приставка	Обозначение приставки		Множи- тель	Приставка	Обозначение приставки	
		между- народное	русское			между- народное	русское
10^{18}	экса	<i>E</i>	Э	10^{-1}	деци	<i>d</i>	д
10^{15}	пета	<i>P</i>	П	10^{-2}	санتي	<i>c</i>	с
10^{12}	тера	<i>T</i>	Т	10^{-3}	милли	<i>m</i>	м
10^9	гига	<i>G</i>	Г	10^{-6}	микро	μ	мк
10^6	мега	<i>M</i>	М	10^{-9}	нано	<i>n</i>	н
10^3	кило	<i>k</i>	к	10^{-12}	пико	<i>p</i>	п
10^2	гекто	<i>h</i>	г	10^{-15}	фемто	<i>f</i>	ф
10^1	дека	<i>da</i>	да	10^{-18}	атто	<i>a</i>	а

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

Чтобы выразить производную единицу ФВ одной системы (*A*) в единицах другой системы (*B*), необходимо выполнить следующие действия [19]:

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

Пример 4.2

Необходимо выразить единицу силы в системе МКГСС килограмм-силу в Ньютонах.

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

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

Пример 4.3

Необходимо выразить внесистемную единицу давления – техническую атмосферу (1 ат) в паскалях.

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

Выразив в правой части равенства килограмм-силу в Ньютонах и сантиметр в метрах, получим

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

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

Пример 4.4

Необходимо выразить внесистемную единицу мощности – лошадиную силу (л.с.) в ваттах.

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

Выразив в правой части равенства килограмм-силу в Ньютонах, получим

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

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

4.2.4. Основные правила написания обозначений единиц

В соответствии с ГОСТ 8.417 «ГСИ. Единицы величин», обозначение единиц ФВ осуществляют по следующим правилам.

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

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

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

4. В обозначениях сложных производных единиц буквенные обозначения единиц, входящих в произведение, отделяют точками на средней линии как знаками умножения. Не допускается использовать для этой цели символ «х». Например, правильная запись: $N \cdot m$, Н · м; $A \cdot m^2$, А · м²; $Pa \cdot s$, Па · с; неправильная: Nm , Нм; $A \cdot m^2$; $A \times m^2$; Pas , Пас.

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

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

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

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

Например, правильная запись формулы плотности однородного тела

$$\rho = m / V,$$

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

Неправильная запись

$$\rho = m / V \text{ кг/м}^3,$$

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

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

4.3. Воспроизведение единиц физических величины передача их размеров

4.3.1. Понятие об эталонах физических величин

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

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

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

Хранение единицы – совокупность операций, обеспечивающих неизменность во времени размера единицы, присущего данному СИ.

Согласно ГОСТ 8.057 «ГСИ. Эталоны единиц физических величин. Основные понятия», *эталон единицы физической величины* – СИ (или комплекс СИ), предназначенное для воспроизведения и (или) хранения единицы и передачи ее размера нижестоящим по поверочной схеме СИ и утвержденное в качестве эталона в установленном порядке.

Конструкция эталона, его свойства и способ воспроизведения единицы определяются природой данной ФВ и уровнем развития измерительной техники в данной области измерений. Эталон должен обладать, по крайней мере, тремя тесно связанными друг с другом существенными признаками [19] – неизменностью, воспроизводимостью и сличаемостью.

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

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

Сличаемость – возможность сличения с эталоном других СИ, нижестоящих по поверочной схеме (см. п. 4.3.3), в первую очередь вторичных эталонов, с наивысшей точностью для существующей техники измерения.

Эталонную базу Российской Федерации составляет совокупность государственных первичных и вторичных эталонов (рис. 4.2), являющихся основой обеспечения единства измерения в стране.



Рис. 4.2. Классификация эталонов, составляющих эталонную базу РФ

Первичный эталон – эталон, обеспечивающий воспроизведение единицы с наивысшей в стране (по сравнению с другими эталонами этой же единицы) точностью.

Первичный эталон, признанный решением уполномоченного на то государственного органа в качестве исходного на территории государства называется *государственным первичным эталоном*. В состав государственных эталонов включаются СИ, с помощью которых воспроизводят и (или) хранят единицу ФВ, контролируют условия измерений и неизменность воспроизводимого или хранимого размера единицы. С понятием государственный эталон совпадает понятие *национальный эталон*. Термин национальный эталон применяют в случаях проведения сличения эталонов, принадлежащим отдельным государствам, с *международным эталоном* или при проведении так называемых «круговых сличений эталонов» ряда стран. Международные эталоны хранятся в международном бюро мер и весов.

Первичные эталоны являются очень дорогим инструментом, нагрузка на которые не должна быть большой. Поэтому для проверки сохранности первичных эталонов и

обеспечения передачи размеров единиц всем применяемым в стране СИ используются вторичные эталоны.

Вторичный эталон – эталон, получающий размер единицы непосредственно от первичного эталона данной единицы. Вторичные эталоны по метрологическому назначению делятся на эталоны-свидетели, эталоны-копии, эталоны сравнения и рабочие эталоны.

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

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

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

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

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

Рабочие эталоны при необходимости подразделяют на разряды 1, 2 и т.д., определяющие порядок их соподчинения в соответствии с поверочной схемой. Например, для воспроизведения длины в промышленности используются плоскопараллельные концевые меры длины, которые по результатам аттестации подразделяются на 5 разрядов (см. п. 4.6.1).

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

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

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

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

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

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

4.3.2. Эталоны единиц СИ

Эталонная база РФ имеет в своем составе 114 государственных первичных эталонов и более 250 вторичных эталонов единиц ФВ [19]. Из них 52 находятся во Всероссийском научно-исследовательском институте метрологии им. Д. И. Менделеева, в том числе эталоны метра, килограмма, Ампера, Кельвина и радиана, 25 – во Всероссийском научно-исследовательском институте физико-технических и радиотехнических измерений, в том числе эталоны единиц времени и частоты.

Ниже приведены определения основных и некоторых производных единиц международной системы и краткое описание их эталонов [19].

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

В настоящее время за государственный первичный эталон РФ для воспроизведения метра принято расстояние, проходимое светом в вакууме за $1/299792458$ долю секунды.

Данное определение метра было законодательно закреплено в декабре 1985 г. после утверждения единых эталонов времени, частоты и длины.

Единица массы – килограмм. При становлении метрической системы в качестве единицы массы была принята масса 1 дм³ дистиллированной воды при температуре около 4 °С (при этой температуре вода имеет наибольшую плотность). На основе взвешивания массы воды с заданными параметрами был изготовлен первый прототип килограмма, представляющий собой платиново-иридиевую цилиндрическую гирю высотой и диаметром примерно 39 мм.

Данное определение килограмма действует до сих пор.

Единица времени – секунда. Ранее секунда равнялась 1/86400 части солнечных средних суток. Секунда равна интервалу времени, в течение которого совершается 9 192 631 770 колебаний, соответствующих резонансной частоте энергетического перехода между уровнями сверхтонкой структуры основного состояния атома цезия-133 при отсутствии возмущения внешними полями.

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

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

Единица температуры – Кельвин. В настоящее время единицей термодинамической температуры служит Кельвин, определяемый как 1/273,16 часть тройной точки воды, является точкой равновесия воды в твердой, жидкой и газообразной фазах. Эту точку можно воспроизвести в специальных сосудах с погрешностью не более 0,0002 °С.

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

Эталонным прибором, используемым в области температур от 13,81 до 630,74 °С, является платиновый термометр сопротивления. Для температур 630,75 – 1064,43 °С эталонным прибором является термopара с электродами из платинородия – платины.

Единица количества вещества – моль. Моль – это количество вещества системы, содержащей столько же структурных элементов частиц, сколько атомов содержится в 12 г углерода-12 (1 моль углерода имеет массу 12 г, 1 моль кислорода – 32 г, а 1 моль воды – 18

г). Эталонов моля нет, так как моль – счетная единица и его масса для различных веществ различна. Численно моль равен числу Авогадро – $6,02214199(47) \cdot 10^{23}$ частиц. Средства измерения, отградуированные в молях, не выпускаются, однако моль в настоящее время широко применяется в химии для расчета количества вещества, участвующего в реакциях, в молекулярной физике для определения газовых параметров различных процессов и др.

Единица силы света – кандела. Первоначально эталоны единицы света представляли собой свечи, изготавливаемые из определенных материалов. В 1979 г. было принято определение кандела – это сила света в заданном направлении источника, испускающего монохроматическое излучение частотой $540 \cdot 10^{12}$ Гц, энергетическая сила света которого в этом направлении составляет 1/683 Вт/ср.

Современный государственный эталон канделы имеет диапазон номинальных значений от 30 до 110 кд.

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

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

Длительное время радиан и стерadian являлись дополнительными к основным единицам в системе СИ. Решением XX ГКМВ в 1995 г. класс дополнительных единиц был исключен из системы СИ, а радиан и стерadian были отнесены к безразмерным производным единицам [8]. Радиан и стерadian применяют в основном для теоретических построений и расчетов. Для практических прямых измерений радиан и стерadian неудобны, так как большинство важных для практики значений углов выражаются иррациональными числами (полный угол – 2π , прямой $\pi/2$ и т.д.). Поэтому на практике для измерения плоских углов пользуются *внесистемной единицей* – градусом и десятичными долями от него единицами – минутой и секундой. В градусах, минутах и секундах градуировано большинство угловых приборов.

Первичный государственный эталон единицы плоского угла – градуса – состоит из комплекса следующих средств измерений: интерференционного экзаменатора для воспроизведения единицы градуса и передачи ее размера в области малых углов; угломерной автоколлимационной установки для передачи размера единицы градуса; 12-гранной кварцевой призмы для контроля стабильности эталона.

4.3.3. Поверка средств измерений и поверочные схемы

Поверке подвергают СИ, используемые в сферах деятельности (см. п. 4.1.5), где государственный метрологический контроль и надзор являются обязательным.

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

Поверка производится по установленным правилам, изложенным в ПР 50.2.006 «ГСИ. Поверка средств измерения. Организация и порядок проведения». Поверку СИ осуществляют органы государственной метрологической службы, государственные научные метрологические центры, а также аккредитованные метрологические службы юридических лиц.

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

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

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

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

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

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

Если СИ признано непригодным к использованию, то свидетельство о поверке и поверительные клейма аннулируются и выписывается свидетельство о непригодности. Аннулированные клейма должны содержать рисунок крестообразной формы, указываю-

ций на прекращение действия поверительного клейма, нанесенного на средство измерений или техническую документацию.

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

Меры (понятие «мера» см. в п. 4.6.1) могут быть поверены следующим образом:

–способом сличения с более точной мерой посредством компарирующего прибора (компаратора). Сличение мер с помощью компаратора производят, как правило, методом замещения (см. п. 4.4.1);

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

–калибровкой, когда с более точной мерой сличается лишь одна мера набора или одна из отметок шкалы многозначной меры, а действительные размеры других мер или значения воспроизводимых ими величин на других отметках шкалы определяются путем их взаимного сравнения в различных сочетаниях на приборах сравнения и при дальнейшей обработке результатов измерений.

Поверка измерительных приборов осуществляется двумя методами:

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

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

Важным при поверке является выбор оптимального соотношения между допускаемыми погрешностями рабочего эталона (образцового СИ) и поверяемого СИ. Если при поверке вводят поправки для исключения систематической погрешности (см. параграф 4.4.3) рабочего эталона, то это соотношение принимают равным 1:3 (исходя из критерия ничтожно малой погрешности). Если поправки не вводят, то рабочий эталон выбирают из соотношения 1:5.

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

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

Различают поверочные схемы государственные и локальные.

Государственная поверочная схема(рис. 4.3) распространяется на все СИ данной ФВ, имеющиеся в стране. Наименование эталонов и рабочих СИ расположены в прямоугольниках (для государственного эталона прямоугольник двухконтурный). Здесь же указаны метрологические характеристики для данной ступени схемы. В нижней части схемы расположены рабочие СИ, которые в зависимости от их точности (погрешности измерений) подразделяют на пять категорий: наивысшей, высшей, высокой, средней и низшей точности. Наивысшая точность обычно соизмерима с точностью государственного эталона. В каждой ступени поверочной схемы регламентируется метод передачи размера единицы. Наименование методов поверки расположены в овалах, в которых также указывается допускаемая погрешность метода поверки.

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

Государственная поверочная схема служит основой для составления локальных поверочных схем и для разработки государственных стандартов и методических указаний на методы и средства поверки образцовых и рабочих СИ.

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

На рис. 4.4 приведен пример локальной поверочной схемы для средств измерения длины микрометрическими инструментами и штангенинструментами.

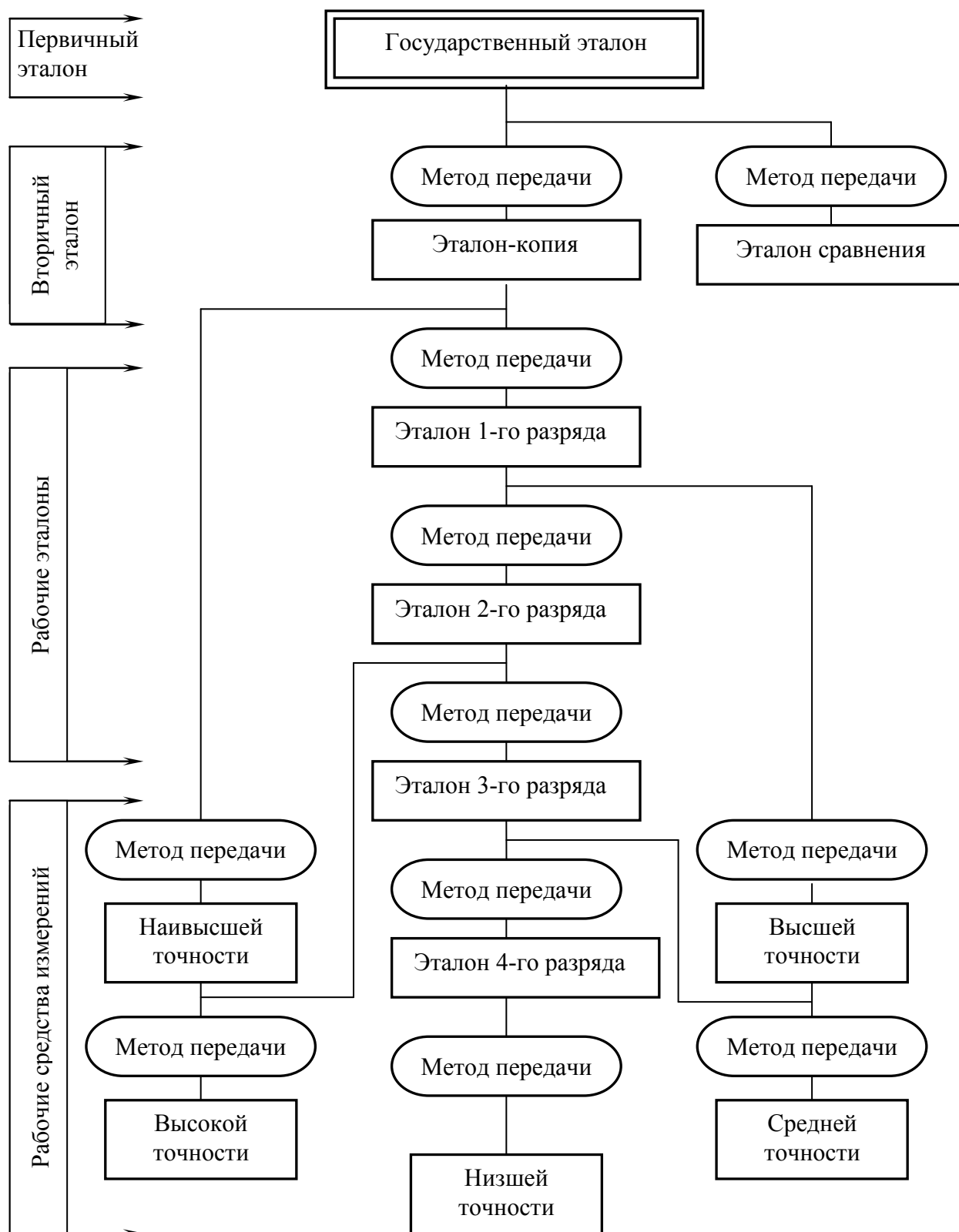


Рис. 4.3. Государственная поверочная схема

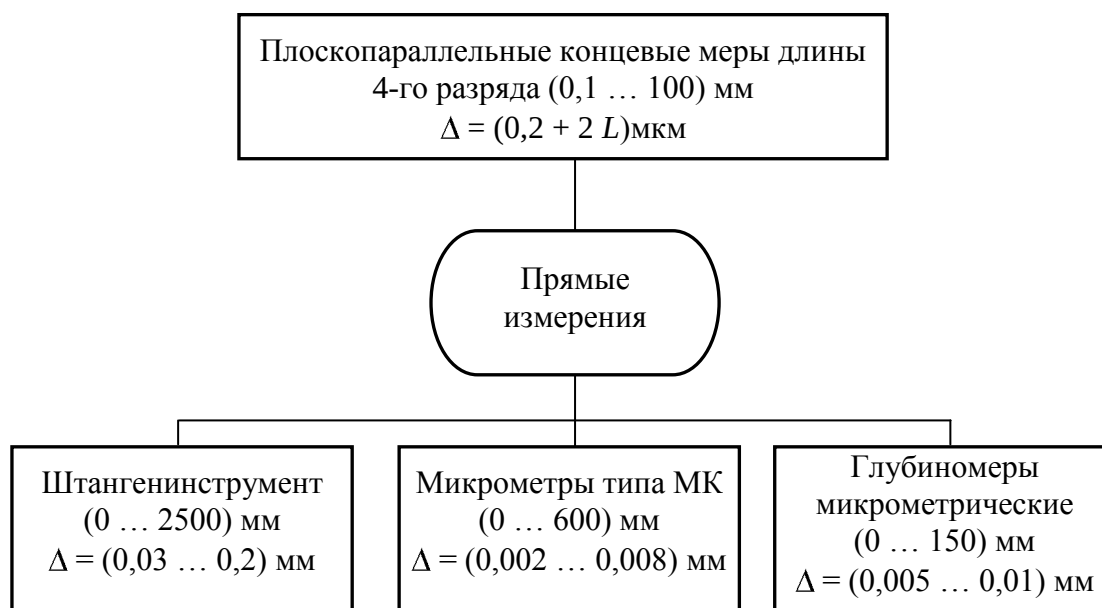


Рис. 4.4. Локальная поверочная схема для средств измерения длины:

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

4.3.4. Калибровка средств измерения

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

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

Результаты калибровки позволяют определить действительные значения измеряемой величины, показываемые СИ, или поправки к его показаниям, или оценить погрешность этих средств [14]. При калибровке могут быть определены и другие метрологические характеристики. Результаты калибровки СИ удостоверяются калибровочным знаком, наносимым на СИ, или свидетельством о калибровке, а также записью в эксплуатационных документах. Свидетельство о калибровке представляет собой документ, удостоверяющий факт и результаты калибровки СИ, который выдается организацией, осуществляющей калибровку.

Первое отличие калибровки от поверки, как это следует из определений, – неустановленность ее исполнителя. Второе отличие состоит в том, что поверка должна дать однозначный ответ о соответствии или несоответствии СИ установленным требованиям, а калибровка предусматривает определение действительных значений метрологических ха-

рактик и (или) пригодности СИ к применению. На основе результатов калибровки СИ может быть признано пригодным к применению в данном конкретном технологическом процессе, даже если его реальные метрологические характеристики вышли за допустимые значения, установленные при испытаниях.

Для проведения калибровочных работ создана *Российская система калибровки (РСК)* – совокупность субъектов деятельности и калибровочных работ, направленных на обеспечение единства измерений в сферах, не подлежащих государственному метрологическому контролю и надзору и действующих на основе установленных требований к организации и проведению калибровочных работ. Деятельность РСК регулируется правилами ПР 50.2.016-94 и «ГСИ. Требования к выполнению калибровочных работ». Центральным органом РСК является Росстандарт, совещательным – Совет РСК.

Организация, выполняющая калибровочные работы, должна иметь:

- поверенные и идентифицированные средства калибровки – эталоны, установки и другие СИ, применяемые при калибровке в соответствии с установленными правилами. Они призваны обеспечить передачу размера единиц от государственных эталонов калибруемым СИ;

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

- профессионально подготовленный и квалифицированный персонал;

- помещения, удовлетворяющие нормативным требованиям.

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

4.4. Измерение физических величин

4.4.1. Понятие об измерении и контроле

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

Измерения основываются на ряде аксиом метрологии[21].

Первая аксиома метрологии: без априорной (от лат. *apriori* – независимо от опыта) информации измерение невозможно. Эта аксиома относится к ситуации перед измерением и говорит о том, что если об интересующем нас свойстве мы ничего не знаем, то ничего и

не узнаем. С другой стороны, если о нем известно все, то измерение не нужно. Таким образом, измерение обусловлено дефицитом количественной информации о том или ином свойстве объекта или явления и направлено на его уменьшение.

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

Третья аксиома метрологии— результат измерения без округления является случайным—относится к ситуации после измерения и отражает тот факт, что на результат реальной измерительной процедуры всегда оказывает влияние множество разнообразных, в том числе случайных факторов, точный учет которых в принципе невозможен, а окончательный итог непредсказуем. Вследствие этого, как показывает практика, при повторных измерениях одного и того же постоянного размера, либо при одновременном измерении его разными лицами, разными методами и средствами получаются неодинаковые результаты, если только не производить их округления.

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

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

Измерения как экспериментальные процедуры, весьма разнообразны и классифицируются по разным признакам (рис. 4.5). Целесообразность классификации измерений обусловлена удобством при разработке методик выполнения измерений и обработки результатов.

В зависимости от метрологического назначения измерения делятся на технические и метрологические.

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

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

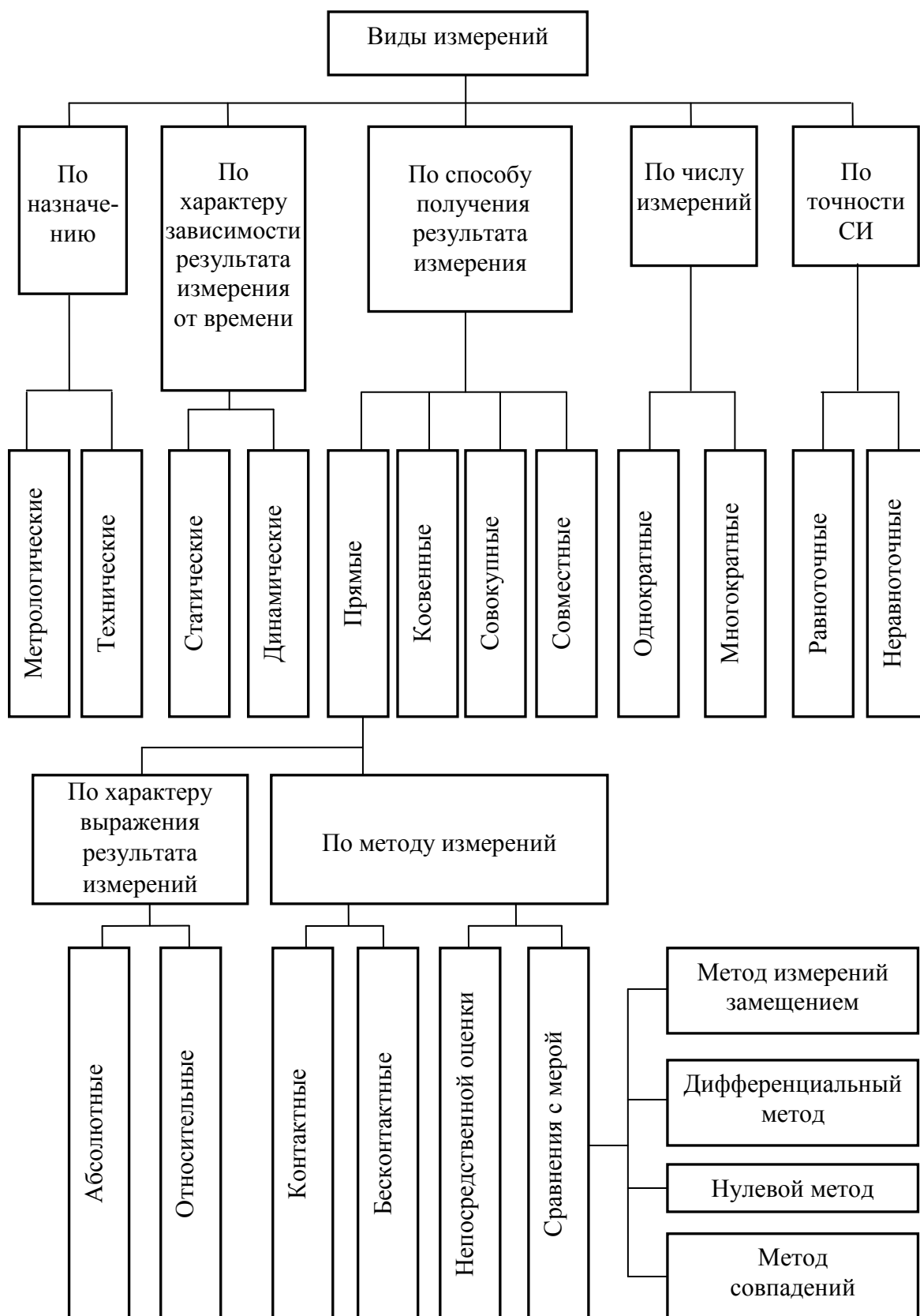


Рис. 4.5. Классификация измерений по видам

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

В практике наиболее часто используют прямые измерения.

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

$$y = cx, \quad (4.5)$$

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

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

Косвенное измерение – измерение, при котором искомое значение ФВ определяют на основании результатов прямых измерений других ФВ, функционально связанных с искомой величиной. Другими словами, искомое значение ФВ рассчитывают по формуле, а значения величин, входящих в формулу, получают прямыми измерениями.

Примерами косвенных измерений могут служить определение объема тела по прямым измерениям его геометрических размеров, определение угла конуса по прямым измерениям большого и малого основания и расстояния между ними и т.п.

Совокупные измерения – измерения одновременно нескольких одноименных величин, при которых искомые значения величин находят решением системы уравнений, полученных при измерении этих величин в различных сочетаниях.

Примером совокупных измерений может служить нахождение значений массы отдельных гирь набора по известному значению массы одной из гирь (сравнивая массы различных сочетаний гирь, получают систему уравнений, из решения которой находят массу каждой из гирь, входящих в набор).

Совместные измерения – одновременные измерения двух или нескольких разнородных величин для установления зависимости между ними.

Примером совместных измерений может служить ряд одновременных прямых измерений длины тела и его температуры для установления зависимости размера от температуры.

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

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

Динамические измерения – это измерения изменяющейся по размеру ФВ.

Примером динамических измерений является измерение термопарой температуры печи при закалке детали с фиксацией результатов по шкале самописца.

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

Абсолютное измерение основано на прямых измерениях одной или нескольких основных величин и (или) использовании значений физических констант. Понятие «абсолютное измерение» применяется как противоположное понятию «относительное измерение» и рассматривается как определение величины в ее единицах.

Примером абсолютных измерений может служить определение штанген-инструментом длины или диаметра детали в мм, давления манометра в паскалях и т.п.

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

Примером относительного измерения является измерение линейного размера детали с помощью оптиметра, настроенного по концевым мерам длины.

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

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

Метод измерения – прием или совокупность приемов сравнения измеряемой ФВ с ее единицей в соответствии с реализованным принципом измерения. В понятие метода измерения входят как теоретическое обоснование принципов измерения, так и разработка приемов применения СИ. Метод измерения определяется устройством СИ.

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

При измерении по *методу непосредственной оценки* искомое значение величины определяют непосредственно по отсчетному устройству СИ, которое проградуировано в соответствующих единицах. Измерения этим методом проводятся быстро и просто и не требуют высокой классификации оператора.

Примером могут служить измерения длины масштабной линейкой, давления пружинным манометром, силы электрического тока амперметром.

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

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

При *дифференциальном методе* измеряемую величину x сравнивают с однородной величиной x_M , имеющей известное значение, незначительно отличающееся от значения измеряемой величины, при котором измеряют разность между этими двумя величинами.

Примером дифференциального метода является определение линейного размера детали на оптиметре или с помощью измерительной головки, установленной на штативе, после настройки прибора на нуль по блоку концевых мер длины (рис. 4.6).

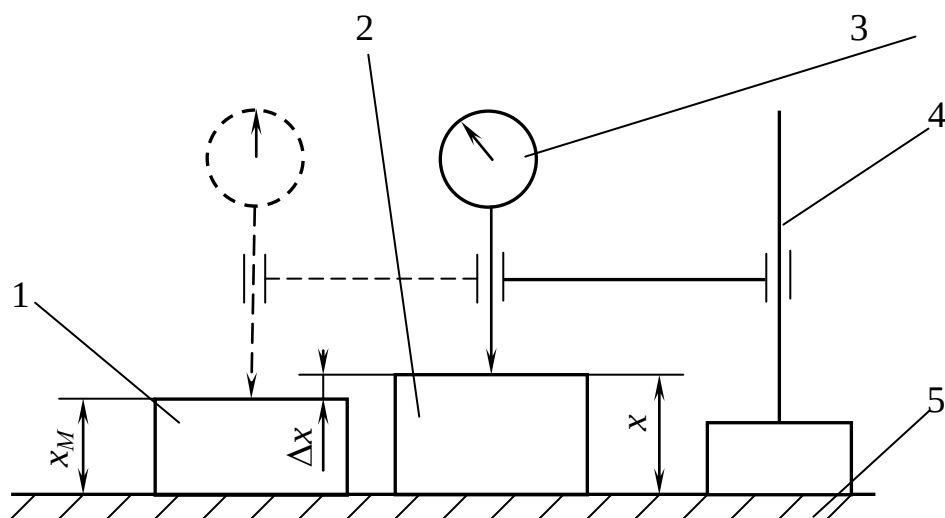


Рис. 4.6. Схема измерения линейного размера детали дифференциальным методом (сравнением с мерой): 1 – блок концевых мер длины; 2 – измеряемая деталь; 3 – измерительная головка; 4 – штатив; 5 – поверочная плита

О значении величины x судят по измеряемой прибором разности $\Delta x = x - x_M$, следовательно $x = x_M + \Delta x$. Этот метод может дать весьма точный результат измерения, если из-

меряемая величина и величина, воспроизводимая мерой, мало отличаются друг от друга. Разновидностью дифференциального метода является нулевой метод.

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

Примером нулевого метода является взвешивание на весах, когда на одном плече находится взвешиваемый груз массой m_x , а на другом – набор эталонных грузов массой m_0 (рис. 4.7, а).

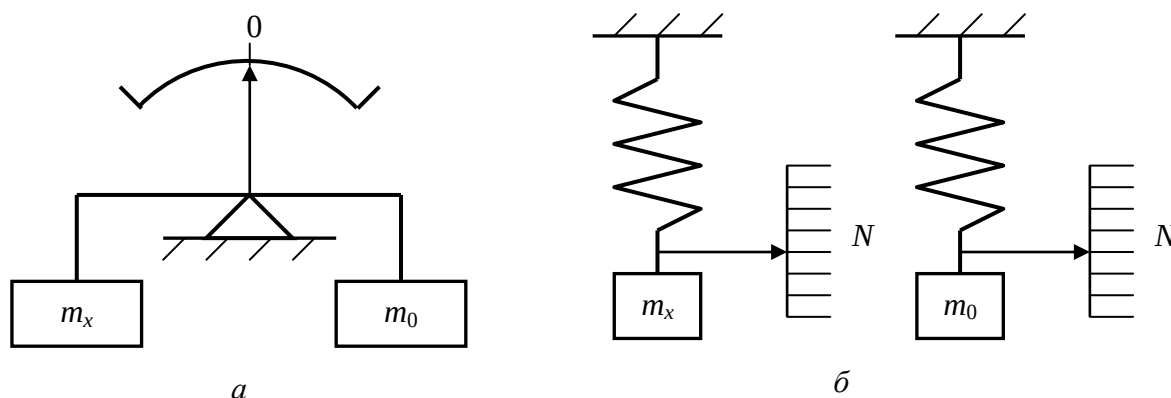


Рис. 4.7. Схемы взвешивания: а – по нулевому методу; б – по методу замещения

Метод замещения заключается в том, что измеряемую величину замещают в измерительной установке некой известной величиной, воспроизводимой мерой. Преимущество метода замещения заключается в том, что измеряемую величину и величину, воспроизводимую мерой, включают последовательно одну за другой в одну и ту же часть измерительного прибора, благодаря чему искомое значение величины определяется по отношению показаний прибора, что способствует значительному снижению погрешности измерений.

Пример метода замещения – взвешивание на пружинных весах в два приема (рис. 4.7, б). Вначале на чашу весов помещают взвешиваемую массу и отмечают положение указателя весов; затем массу m_x замещают массой гирь m_0 , подбирая ее так, чтобы указатель весов устанавливался точно в том же положении, что и в первом случае. В этом случае $m_x = m_0$.

В методе совпадений разность между измеряемой величиной и величиной, воспроизводимой мерой, измеряют, используя совпадение отметок шкал или периодических сигналов.

По принципу метода совпадений построен нониус, входящий в состав ряда измерительных приборов, например, штангенинструментов.

При выборе метода измерения необходимо добиваться, чтобы погрешность метода измерения, обусловленная несовершенством принятых модели и метода измерения, заметно не сказывалось на результирующей погрешности измерения. Как правило, методическая погрешность не должна превышать 30 % от суммарной погрешности измерения [19]. При выборе метода измерения необходимо учитывать и экономические соображения: чрезмерное завышение точности метода измерения, как правило, приводит к необоснованным затратам.

По связи с объектом различают контактный и бесконтактный методы измерений.

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

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

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

Однократное измерение выполняется один раз, например, измерение конкретного момента времени по часам.

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

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

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

Следует различать понятия «измерение» и «контроль».

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

Измерение и контроль тесно связаны друг с другом, близки по своей информационной сущности и содержат ряд общих операций. Однако, их процедуры во многом различаются [19]:

- результатом измерения является количественная характеристика, а контроля – качественная;

- измерение осуществляется в широком диапазоне значений измеряемой величины, а контроль – обычно в пределах небольшого числа возможных состояний;

– основной характеристикой качества процедуры измерения является точность, а процедуры контроля – достоверность.

Примером контроля является контроль линейных размеров детали предельными калибрами.

4.4.2. Погрешности измерений

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

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

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

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

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

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

$$\Delta x_{\text{изм}} = x - x_{\text{д}}, \quad (4.6)$$

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

Классификация погрешностей измерения по основным признакам приведена на рис. 4.8. Различные погрешности измерений в зависимости от условий измерительного процесса проявляются в различных классификационных группах. Поэтому любая классификация погрешностей измерения, в том числе и приведенная в данном пособии, является достаточно условной.

В метрологии используют понятия «погрешность измерения» и «погрешность СИ», причем погрешность СИ является одной из составляющих (часто наибольшей) погрешности измерения. Погрешности измерения и погрешности СИ по характеру проявления и способу выражения классифицируются одинаково (см. рис. 4.8).

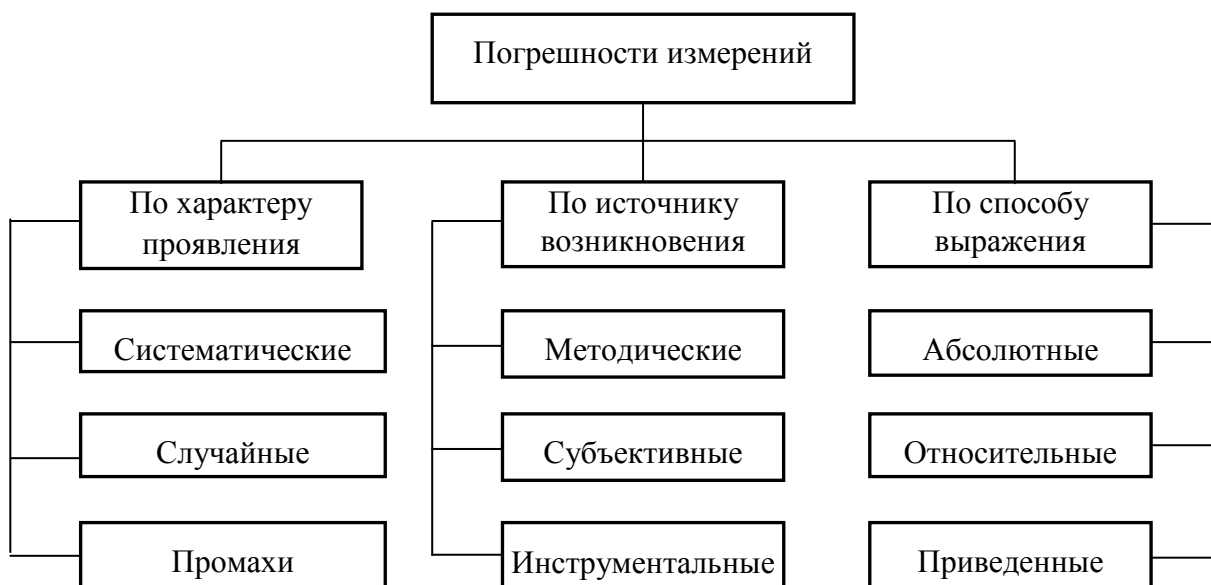


Рис. 4.8. Классификация погрешностей измерения

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

Абсолютную погрешность определяют как разность $\Delta = x - x_d$, т.е. это погрешность измерения, выраженная в единицах измеряемой величины.

Абсолютная погрешность независима от измеряемой величины, поэтому она не может в полной мере служить показателем точности измерений ФВ, например, различных размеров. Например, погрешность измерения $\Delta = 0,01$ мм при измерении длины $L = 100$ мм соответствует достаточно высокой точности измерений, а при $L = 1$ мм – низкой.

Относительную погрешность выражают отношением абсолютной погрешности измерения к действительному или истинному значению измеряемой величины.

Относительную погрешность в долях или в процентах находят соответственно из следующих отношений:

$$\delta_x = \Delta / x, \text{ или } \delta_x = (\Delta / x) \cdot 100. \quad (4.7)$$

Тогда из предыдущего примера при измерении длины $L = 100$ мм

$$\delta_x = (0,01/100) \cdot 100 = 0,01 \% , \text{ а, при } L = 1 \text{ мм } - \delta_x = (0,01/1) \cdot 100 = 1 \% .$$

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

Однако относительная погрешность измерения не может быть использована для нормирования погрешности некоторых СИ (например, электроизмерительных приборов),

поскольку при приближении измеряемой величины к нулю, незначительные ее изменения приводят к громадным изменениям δ_x .

Исключение указанного недостатка возможно при нормировании приведенной погрешности измерения.

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

$$\gamma = \pm (\Delta / x_N) \cdot 100. \quad (4.8)$$

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

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

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

Отличительной особенностью систематических погрешностей является предсказуемость их поведения. Они могут быть почти полностью устранены путем введения соответствующих поправок. К систематическим постоянным погрешностям (остающимся постоянными при повторных измерениях) можно отнести погрешности от несоответствия действительного значения меры, с помощью которой выполняют измерения, ее номинальному значению, а также погрешности, вызванные температурной деформацией измеряемой детали или СИ при отклонении температуры от нормальной области значений. Примером систематической переменной погрешности, закономерно изменяющейся при повторных измерениях одной и той же ФВ (рис. 4.9) является, например, погрешность, вызванная износом измерительного наконечника СИ при контактных измерениях.

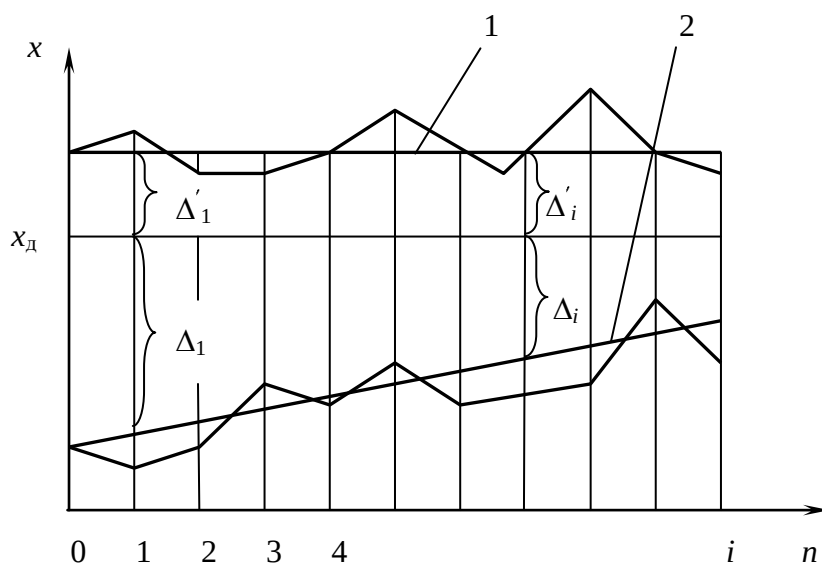


Рис. 4.9. Систематические погрешности Δ_c :

- 1 – постоянная
($\Delta_1 = \Delta_2 = \dots = \Delta_i = const$),
- 2 – переменная
($\Delta'_1 \neq \Delta'_2 \neq \dots \neq \Delta'_i \neq const$);
- n – номер повторяемого измерения;
- Δ_i и Δ'_i – систематические погрешности i -го измерения

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

В проявлении этих погрешностей не наблюдается какой-либо закономерности, они обнаруживаются при повторных измерениях одной и той же величины в виде некоторого разброса получаемых результатов. Случайные погрешности неизбежны, неустранимы и всегда присутствуют в результате измерения. В отличие от систематических случайные погрешности нельзя исключить из результата измерения путем введения поправок, однако их можно существенно уменьшить путем увеличения числа единичных измерений. Причин вызывающих случайные погрешности большое количество. К ним относятся перекосы элементов прибора, нерегулярные изменения моментов трения в опорах, колебания температуры окружающей среды, округления показаний прибора, изменение внимания оператора и др.

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

Промах (грубая погрешность) является результатом отдельного измерения, входящего в ряд измерений, и в данных условиях резко отличающегося от остальных результатов этого ряда.

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

Обязательными компонентами любого измерения являются СИ, метод измерения и оператор, проводящий измерения. В связи с этим, в зависимости от источника возникновения различают инструментальные, методические и субъективные погрешности.

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

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

Она обусловлена рядом факторов: ограниченной точностью расчетных формул, положенных в основу измерений; влиянием приема использования СИ; экстраполяцией значения свойства, измеренного на ограниченной части объекта, на весь объект и др.

В большинстве случаев методические погрешности носят систематический характер, однако возможно и случайное их проявление, например, если уравнения метода измерений включают коэффициенты, зависящие от условий измерений, которые меняются случайным образом.

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

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

Погрешность Δ измерения геометрических параметров деталей с учетом условий и метода измерений можно рассчитать по зависимости [17]:

$$\Delta = \sqrt{\Delta_1^2 + \Delta_2^2 + \Delta_3^2 + \Delta_4^2 + \Delta_5^2 + \Delta_6^2}, \quad (4.9)$$

Δ_1 – погрешность СИ; Δ_2 – погрешность метода измерений; Δ_3 – погрешность от температурных деформаций; Δ_4 – погрешность от измерительного усилия; Δ_5 – субъективные погрешности оператора; Δ_6 – прочие составляющие погрешности измерений, не охваченные составляющими Δ_1 – Δ_5 .

Под погрешностями Δ_1 – Δ_4 понимают предельную погрешность, включающую неисключенную систематическую и случайную составляющие. Погрешность СИ Δ_1 :

$$\Delta_1 = \sqrt{\Delta_{11}^2 + \Delta_{12}^2 + \dots + \Delta_{1n}^2}, \quad (4.10)$$

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

Методическую погрешность измерения Δ_2 можно определить по зависимости:

$$\Delta_2 = \sqrt{\Delta_{21}^2 + \Delta_{22}^2 + \Delta_{23}^2}, \quad (4.11)$$

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

Например, при измерении диаметра детали микрометром вследствие несовершенства процедуры измерений может появиться погрешность из-за отклонений от перпенди-

кулярности общей оси микрометрического винта и измерительной пятки относительно оси детали. К методическим погрешностям, зависящим от процедуры измерений, относится погрешность от неполноты ощупывания измеряемой поверхности, т.е. от того, что измеряемая деталь измерена не во всех точках или сечениях.

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

Погрешность Δ_3 , вызванная температурными деформациями

$$\Delta_3 = \Delta_t = \sqrt{\Delta_{t_1}^2 + \Delta_{t_2}^2}, \quad (4.12)$$

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

$$\Delta_{t_1} = \ell \cdot \Delta t_1 (\alpha_n - \alpha_d)_{\max}; \quad (4.13)$$

$$\Delta_{t_2} = \ell \cdot \Delta t_2 \alpha_{\max}, \quad (4.14)$$

где ℓ – измеряемый размер; Δ_{t_1} – допускаемое при измерении отклонение температуры среды от нормальной области значений (20°C); Δ_{t_2} – допускаемое при измерении колебание температуры среды; $(\alpha_n - \alpha_d)_{\max}$ – максимально возможная разность коэффициентов линейного расширения элементов СИ и объекта измерения; $\alpha_{\max}$ – максимальный по величине коэффициент линейного расширения (материала элемента СИ или объекта измерения).

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

Погрешности, зависящие от оператора (субъективные погрешности) Δ_5 , разделяют на четыре вида: погрешности отсчитывания, присутствия, действия и профессиональные погрешности. Из субъективных погрешностей поддается учету, как правило, лишь погрешность отсчитывания. Субъективная погрешность присутствия проявляется в виде влияния теплоизлучения оператора на температуру окружающей среды. К субъективным

погрешностям действия относят погрешности, вносимые оператором при настройке СИ, подготовке объекта измерения и др. Профессиональные погрешности связаны с квалификацией оператора, отношением его к процессу измерения.

Пример 4.5

В соответствии с операционной картой технического контроля для измерений $\varnothing 80\ h6 \begin{smallmatrix} +0,039 \\ +0,020 \end{smallmatrix}$ вкладыша из антифрикционного алюминиевого сплава предусмотрена скоба рычажная СР100 с ценой деления 0,002 мм при настройке на нуль по концевым мерам длины 2-го класса точности. Измерения выполняют в помещении, температура которого находится в пределах $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$, колебание температуры рабочего пространства в течение 30 минут не превышает $0,5^\circ\text{C}$. Температуру детали, скобы рычажной и меры выравнивают с температурой окружающей среды, выдерживая их длительное время на поверочной плите.

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

Допускаемая погрешность измерения $\varnothing 80\ h6$ в соответствии с ГОСТ 8.051 составляет 5 мкм (табл. П.4.3).

1. В соответствии с РД 50-98-86 [6] предельная погрешность измерения $\varnothing 80$ скобой рычажной при настройке на нуль по концевым мерам длины и использовании отсчета на ± 10 делениях шкалы $\Delta_1 = 3$ мкм.

2. Погрешность $\Delta_3 = \Delta_t$, вызванную температурными деформациями при измерении, определяем по зависимостям (4.12– 4.14). Из исходных данных отклонение температуры среды от нормальной $\Delta t = 5^\circ\text{C}$, колебание температуры $\Delta t_2 = 0,5^\circ\text{C}$. Коэффициент линейного расширения материала детали (алюминиевого сплава) $\alpha_d = 0,024$ мкм/(град·мм), коэффициент линейного расширения корпуса скобы рычажной (корпус выполнен из закаленной стали) $\alpha_n = 0,011$ мкм/(град · м)[17].

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

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

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

Погрешностью, вызванной температурными деформациями, при настройке скобы рычажной по концевым мерам длины пренебрегаем (составляет менее 10 % от Δt), так

как коэффициенты линейного расширения материалов скобы и меры отличаются незначительно (на 0,001 мкм/(град · м)).

3. Погрешность измерения определяем по зависимости(4.9):

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

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

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

4.4.3. Исключение систематических погрешностей

Известные систематические погрешности можно исключить [8, 19] либо за счет устранения источников погрешностей до начала измерений (профилактика погрешностей), либо введением известных поправок в результат измерения в процессе измерения. Профилактика погрешностей является наиболее рациональным способом их снижения. Профилактику погрешностей измерения производят путем регулировки, ремонта и поверки СИ. Снизить погрешность измерения можно также путем устранения влияния колебания температуры (например, термоизоляцией), вибраций и т.п.

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

При введении поправки уравнение измерения будет иметь следующий вид:

$$y = x + \Delta_c + \Delta_n, \quad (4.15)$$

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

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

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

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

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

$$x_{\text{СИ}} = x + \Delta_c, \quad (4.16)$$

где $x_{\text{СИ}}$ – показания СИ.

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

$$x_{\text{СИ}} = x_M + \Delta_c, \quad (4.17)$$

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

$$\Delta_c = x_{\text{СИ}} - x_M. \quad (4.18)$$

Пример 4.6

При измерении диаметра цилиндрической детали штангенциркулем ШЦ-II-0,05 получен результат $x_{\text{СИ}} = 25,75$ мм. Необходимо определить поправку, которую необходимо внести в показания прибора, используя набор плоскопараллельных концевых мер длины. Такой же результат (25,75 мм) получаем при измерении штангенциркулем блока концевых мер размером $x_M = 25,65$ мм.

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

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

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

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

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

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

Для обнаружения изменяющейся во времени систематической погрешности используют *способ последовательных разностей* (критерий Аббе) [19].

4.4.4. Оценивание случайных погрешностей

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

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

Рассмотрим формирование дифференциальной функции распределения на примере многократных измерений. Выполнено n последовательных единичных измерений одной и той же величины x (например, относительные измерения линейного размера при настройке на нуль измерительного прибора по концевым мерам длины) и получен ряд результатов этих измерений $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$. Каждое из значений этого ряда x_i содержит ту или иную случайную погрешность. Расположим результаты единичных измерений в порядке их возрастания, от x_{min} до x_{max} и найдем размах ряда $R_n = x_{max} - x_{min}$. Разделив размах ряда на k равных интервалов $\Delta x = R_n / k$, подсчитаем количество единичных измерений n_k , попадающих в каждый интервал (табл. 4.6). Изобразим полученные результаты графически, нанеся на ось абсцисс значения ФВ и обозначив границы интервалов, а на ось ординат – относительную частоту попадания единичных измерений в интервал n_k / n . Построив на диаграмме прямоугольники, основанием которых является ширина интервалов, а высота равна частоте n_k / n , получим гистограмму, дающую представление о плотности распределения результатов единичных измерений в данном опыте (рис. 4.10). Соединив середины вершин прямоугольников между собой, получим практическую кривую распределения результатов измерений величины x .

4.6. Исходные данные для построения практической кривой распределения

№ интервала	Границы интервалов результатов измерений x , мкм	Значения середины интервала x_k , мкм	Количество единичных измерений в интервале n_k	Частность n_k/n
1	50 – 60	55	2	0,027
2	60 – 70	65	10	0,133
3	70 – 80	75	17	0,227
4	80 – 90	85	21	0,280
5	90 – 100	95	15	0,200
6	100 – 110	105	7	0,093
7	110 – 120	115	3	0,040
Итого:			75	1,0

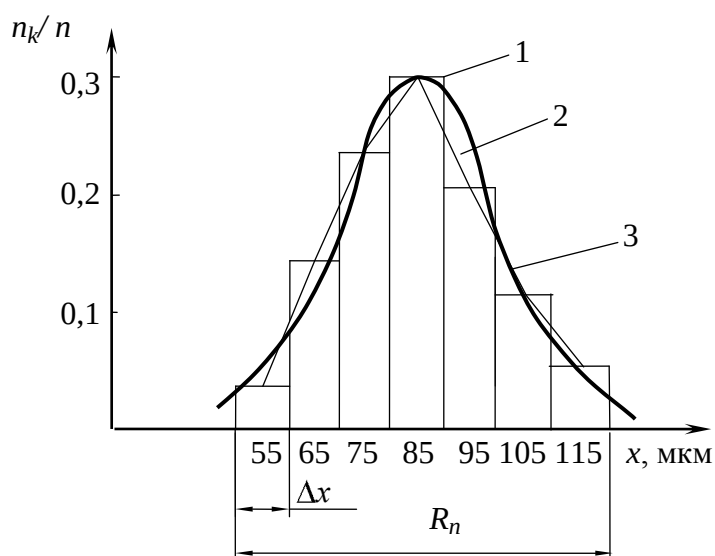


Рис. 4.10. Гистограмма (1), практическая (2) и теоретическая (3) кривые распределения

Если распределение случайной величины x статистически устойчиво, то можно ожидать, что при повторных сериях измерений той же величины, в тех же условиях, относительные частоты попаданий в каждый интервал будут близки к первоначальным. Это означает, что единожды построив гистограмму, при последующих сериях измерений можно с определенной долей уверенности заранее предсказать распределения результатов измерений по интервалам.

При бесконечном увеличении числа единичных измерений $n \rightarrow \infty$ и бесконечном уменьшении ширины интервалов $\Delta x \rightarrow 0$ практическая кривая 2, перейдет в плавную кривую 3 $f(x)$ (см. рис. 4.10), называемую кривой плотности распределения вероятностей случайной величины, а уравнение, описывающие её, – дифференциальным законом распределения (в нашем случае дифференциальным законом распределения измеряемой величины).

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

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

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

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

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

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

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

Использование вероятностного подхода для оценки погрешностей результатов измерений предполагает знание закона распределения измеряемой величины [19, 21].

В практике измерений встречаются различные законы распределения случайных величин, однако чаще всего это нормальный закон распределения (закон Гаусса), закон равной вероятности, закон равнобедренного треугольника (закон Симпсона) и распределение Стьюдента. Наиболее широкое распространение получил нормальный закон распределения (рис. 4.11, а). Ему подчиняются случайные величины, на которые оказывает влияние большое число факторов (как правило более 4), каждый из которых не является доминирующим и играет относительно малую роль в общей совокупности. Этому закону подчиняется распределение результатов и погрешностей измерения линейных и угловых размеров, шероховатости поверхностей, твердости деталей и др.

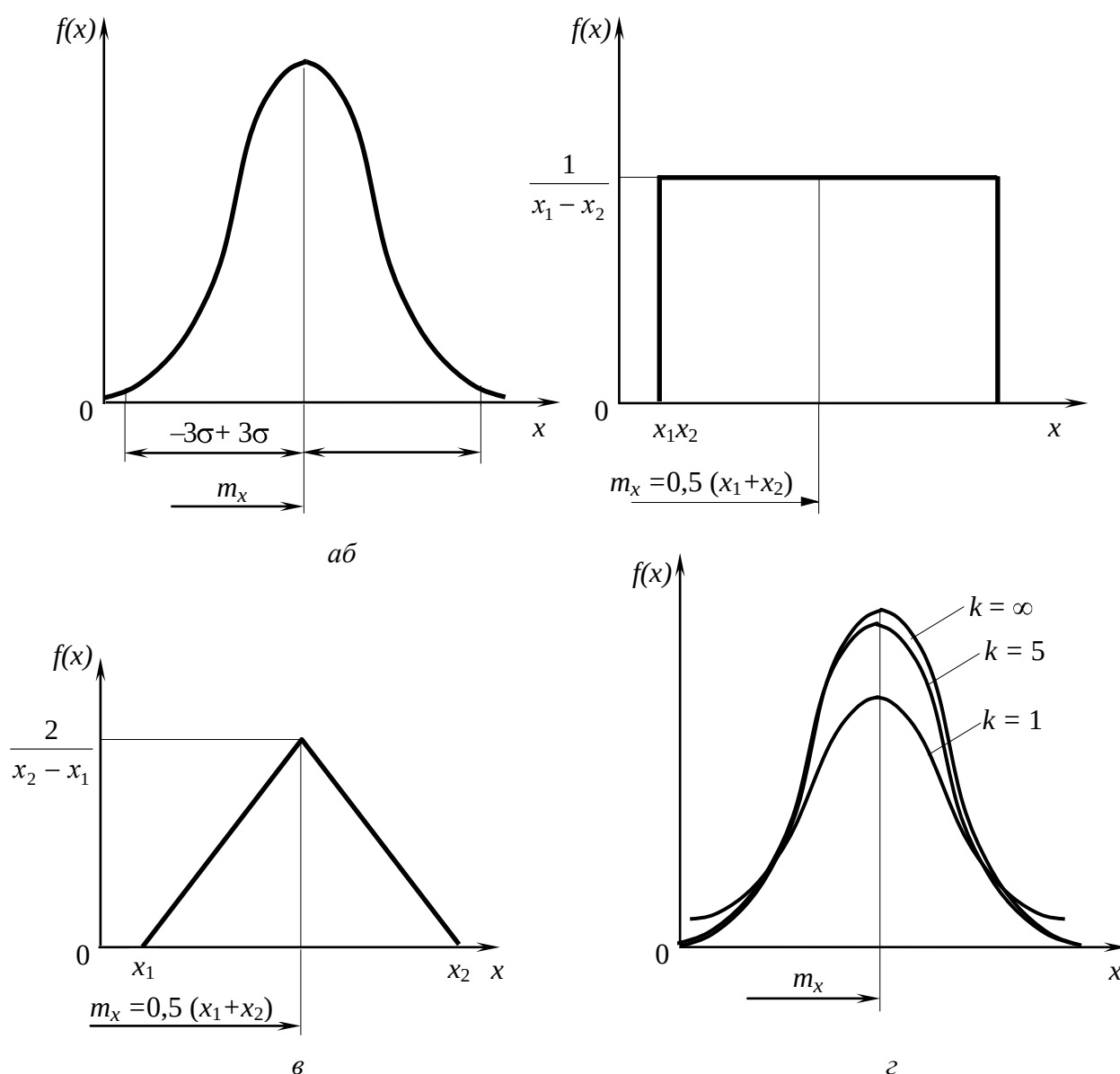


Рис 4.11. Распределения случайной величины: а – нормальное (Гаусса);
б – равномерное; в – равнобедренного треугольника (Симпсона);
г – Стьюдента при числе степеней свободы $k = n - 1$, равных 1,5 и ∞

Нормальный закон распределения погрешностей измерений обладает следующими свойствами:

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

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

Закону равной вероятности (равномерное распределение) (рис. 4.11, б) подчиняются случайные величины, на которые оказывает влияние резко доминирующий фактор,

равномерно изменяющийся со временем. Равномерное распределение используют для описания погрешностей квантования* в цифровых приборах, округления при расчетах, показаний стрелочных СИ.

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

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

Вид распределения Стьюдента (рис. 4.11, в) зависит от числа степеней свободы $k = n - 1$ (т.е. от числа единичных измерений n), по которым находят среднее арифметическое значение. При $k \rightarrow \infty$, форма кривой распределения Стьюдента приближается к кривой нормального распределения (при $k > 20$ кривые практически совпадают).

Аналитически нормальный и другие законы распределения описываются зависимостями, приведенными в [17, 21].

Знание закона распределения результатов измерений позволяет рассчитать интервальные показатели точности измерений, т.е. интервалы, в которых с заданной вероятностью находятся значения погрешности измерения. При принятии ошибочной гипотезы относительно закона распределения могут возникнуть значительные методические погрешности результата измерений.

Числовые характеристики m_x , D_x и σ оценивают непрерывно изменяющиеся случайные величины. В реальных условиях все результаты измерений и случайные погрешности являются дискретными величинами, полученными путем обработки ограниченного числа измерений. Если известно, что генеральная совокупность результатов измерений подчиняется определенному закону распределения, то для практического применения, на-

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

пример, определения погрешности измерения или доверительных интервалов, достаточно ограничиться нахождением статистических характеристик, т.е. точечных оценок характеристик m_x , D_x , σ [19]. Точечные оценки являются случайными величинами, значения которых зависят от объёма выборок экспериментальных данных, а закон их распределения определяется законом распределения генеральной совокупности результатов измерений.

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

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad (4.22)$$

где x_i – результат i -го единичного измерения; n – количество единичных измерений.

Точечная оценка *дисперсии* определяется по формуле

$$\tilde{D}[x] = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2. \quad (4.23)$$

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

$$S_x = \sqrt{\tilde{D}[x]} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}. \quad (4.24)$$

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

Поскольку число n единичных измерений x_i в ряду измерений $x_1, x_2, \dots, x_n$, как правило ограничено, то, повторив заново серию единичных измерений этой же величины, мы получили бы новое значение среднего арифметического $\bar{x}$. Повторив многократно серии измерений и вычисляя каждый раз их среднее арифметическое значение, принимаемое за результат измерений, мы убедимся в рассеивании средних арифметических значений. Характеристикой этого рассеивания является *средняя квадратическая погрешность (отклонение) результата измерений среднего арифметического*

$$S_{\bar{x}} = \frac{S_x}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}. \quad (4.25)$$

Из формулы (4.25) видно, что погрешность среднего арифметического значения из ряда измерений $S_{\bar{x}}$ всегда меньше, чем погрешность единичных измерений S . Формула (4.25) определяет фундаментальный закон теории погрешностей: если необходимо повы-

ситель точность результата (при исключенной систематической погрешности) в 2 раза, то число измерений нужно увеличить в 4 раза; если требуется увеличить точность в 3 раза, то число измерений следует увеличить в 9 раз, и т.д. Теоретически, при $n \rightarrow \infty$ случайную погрешность результата измерений можно было бы свести к нулю. Однако стремиться беспрестанно уменьшать случайную погрешность результата измерений не имеет смысла, так как рано или поздно определяющим становится не рассеивание среднего арифметического, а недостоверность поправок на систематическую погрешность (неисключенная систематическая погрешность).

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

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

Рассмотрим определение доверительного интервала результата измерений при отсутствии систематической погрешности.

Вероятность того, что истинное значение x измеряемой величины находится в пределах от x_H до x_B

$$P \{x_H < x < x_B\} = 1 - q, \quad (4.26)$$

где q – уровень значимости. В этом случае P называют доверительной вероятностью, а интервал от x_H до x_B – доверительным интервалом результата измерений.

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

$$x_H = \bar{x} - z_p \cdot S_{\bar{x}}, \quad x_B = \bar{x} + z_p \cdot S_{\bar{x}},$$

где z_p – аргумент функции Лапласа $\Phi_0(z)$, отвечающий вероятности $P/2$. Величина $\pm z_p \cdot S_{\bar{x}}$ называется доверительными границами погрешности результата измерений.

Полученный доверительный интервал определяется по формуле

$$P \{\bar{x} - z_p \cdot S_{\bar{x}} < x < \bar{x} + z_p \cdot S_{\bar{x}}\} = 2\Phi_0(z_p) \quad (4.27)$$

Вычисление доверительных границ производится, как правило, с доверительной вероятностью $P = 0,90; 0,95$ или $0,99$ [8].

Пример 4.7

Выполнено 45 единичных измерений линейного размера детали с помощью индикатора часового типа, установленного на стойке.

Получены следующие исправленные результаты измерений: $\bar{x} = 19,95$ мм, $S_x = 0,13$ мм. Необходимо определить доверительный интервал результата измерений, если закон распределения – нормальный, а доверительная вероятность $P = 0,95$.

По формуле (4.25) находим СКП результата измерений среднего арифметического

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

По табл.П.4.1 находим для $\frac{P}{2} = \Phi_0 \left(z_p \right) = 0,475$ аргумент функции Лапласа $z_p = 1,96$.

Следовательно, доверительный интервал результата измерений

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

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

При нахождении случайной погрешности с использованием функции Лапласа доверительная вероятность по формуле (4.27) характеризует вероятность того, что отдельные единичные измерения x_i не будут отклоняться от истинного значения более чем $\pm z_p \cdot S_{\bar{x}}$ при большом числе измерений. Однако при определении доверительного интервала при многократных измерениях важнее знать отклонение от истинного значения среднего арифметического значения ряда измерений. Из математической статистики известно, что если результат единичных измерений при небольшом числе измерений подчиняется нормальному закону, то распределение средних арифметических значений ряда измерений подчиняется закону Стьюдента с тем же средним арифметическим значением $\bar{x}$. Особенностью распределения Стьюдента является то, что доверительный интервал с уменьшением числа измерений расширяется, по сравнению с нормальным законом распределения при той же доверительной вероятности. Поэтому, при ограниченном числе измерений, рекомендуется определять доверительный интервал с использованием распределения Стьюдента.

Вероятность того, что величина t распределения Стьюдента в результате выполнения измерений примет некоторое значение в интервале от $-t_p$ до t_p равна

$$P_{-t_p < t < t_p} = \int_{-t_p}^{+t_p} f(t) dt = 2 \int_0^{t_p} f(t) dt, \quad (4.28)$$

где $f(t)$ – функция распределения Стюдента, t_p – коэффициент Стюдента.

Величины t_p , рассчитанные для различных значений доверительной вероятности и числа измерений, табулированы и используются для определения доверительных интервалов при ограниченном числе измерений (см. п. 4.5.1).

4.4.5. Исключение промахов

Если заранее известно, что какой-либо результат измерения получен из-за грубой ошибки при проведении измерений (неверный отсчет или запись показаний, сбой показаний прибора и т.п.), этот результат считается промахом и его следует исключить из рассматриваемой совокупности результатов измерений, не подвергая никаким проверкам. Если же имеется сомнение, то каждый из промахов подлежит статистической проверке. Существует несколько критериев для оценки промахов [14, 18, 19].

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

$$|\bar{x} - x_i| > 3\sigma. \quad (4.29)$$

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

$$|\bar{x} - x_i| \cdot S_x^{-1} = \beta, \quad (4.30)$$

где x_i – результат вызывающий сомнение; β – коэффициент, предельное значение которого β_T определяют по табл. 4.7.

4.7. Значения $\beta_T = f(n, q)$ [18]

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

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

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

$$|\bar{x} - x_i| > \begin{cases} 1,6 S & \text{при } n = 3 \\ 1,7 S & \text{при } n = 6 \\ 1,9 S & \text{при } n = 8 \\ 2,0 S & \text{при } n = 10 \end{cases} \quad (4.31)$$

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

4.8. Критические значения Z'_q критерия Диксона [17]

n	Z'_q при уровне значимости q , равном			
	0,10	0,05	0,02	0,01
1	2	3	4	5
4	0,68	0,76	0,85	0,89
5	0,56	0,64	0,73	0,78
6	0,48	0,56	0,64	0,70
7	0,43	0,51	0,60	0,64
8	0,40	0,47	0,54	0,59
9	0,37	0,44	0,51	0,56
10	0,35	0,41	0,48	0,53
11	2	3	4	5
12	0,32	0,38	0,44	0,48
14	0,29	0,35	0,41	0,45
16	0,28	0,33	0,39	0,43
18	0,26	0,31	0,37	0,41
20	0,26	0,30	0,36	0,39
25	0,23	0,28	0,33	0,36
30	0,22	0,26	0,31	0,34

Критерий Диксона определяется как

$$K_D = \frac{x_n - x_{n-1}}{x_n - x_1} \quad (4.32)$$

При $K_D \geq Z'$ результат x_n исключают, как промах.

Пример 4.8

При измерении диаметра вала микрометром были получены значения 12,24; 12,26; 12,28; 12,28; 12,31; 12,34; 12,40; 12,41; 12,42; 12,42; 12,45; 12,80 мм. Число измерений $n = 12$. Последний результат $x_{12} = 12,80$ мм вызывает сомнение. Принимаем $P = 0,95$, тогда $q = 1 - P = 0,05$.

Выполнив расчеты, получим значения – $\bar{x} = 12,38$ мм ; $S_x = 0,15$ мм. Так как $n < 20$, для определения промахов используем критерий Романовского, определив его по формуле (4.30):

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

Для $n = 12$ и $q = 0,05$ $\beta_T = 2,52$ (см. табл. 4.7). То есть $\beta \geq \beta_T$ и результат $x_i = x_{12} = 12,80$ мм необходимо «отбросить», так как он является промахом.

Пример 4.9

При измерении диаметра вала микрометром были получены значения: 30,12; 30,27; 30,28; 30,29; 30,32; 30,38 мм. Число измерений $n = 6$. Первый результат $x_1 = 30,12$ мм вызывает сомнение.

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

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

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

Пример 4.10

При измерении радиального биения шейки вала были получены значения 10, 11, 12, 12, 15 мкм. Последний результат вызывает сомнения.

Для крайнего члена этого ряда ($x_n = 15$ мкм) критерий Диксона

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

Следовательно, $K_d > Z'_q = 0,56$ и результат 15 мкм можно отбросить как промах лишь при уровне значимости $q = 0,10$.

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

4.4.6. Правила округления и записи результатов измерений [8]

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

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

Пример 4.11

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

Если первая (слева направо) из заменяемых нулями или отбрасываемых цифр меньше 5, остающиеся цифры не изменяются. Если первая из этих цифр равна 5, а за ней не следует никаких цифр, или идут нули, то, если последняя цифра в округляемом числе четная или нуль, она остается без изменения, если нечетная – увеличивается на единицу.

Пример 4.12

1234,50 округляют до 1234; 8765,50 – до 8766.

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

Пример 4.13

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

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

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

4. При определении числа знаков при вычислении погрешностей измерений следует учитывать, что погрешность определения значения погрешности достаточно велика, порядка 30 % при $n = 10$ и порядка 15 % при $n = 20 \dots 25$, поэтому при $n \leq 10$ следует оставлять одну значащую цифру, если она больше трех, и две, если первая из них меньше четырех. При $n \geq 10$ достаточно надежно оставлять во всех случаях две значащие цифры.

Пример 4.14

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

4.5. Обработка результатов измерений

4.5.1. Многократные прямые измерения

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

Исходной информацией для обработки является ряд из n ($n > 4$) результатов единичных измерений $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$, из которых исключены известные систематические погрешности. Число измерений зависит от требований к точности получаемого результата и от реальной возможности выполнения повторных измерений.

Последовательность обработки результатов многократных измерений включает следующие этапы:

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

Известные систематические погрешности исключают введением в результат измерений соответствующих поправок, численно равных систематическим погрешностям, но противоположным им по знаку (см. п. 4.4.3). Поправку вводят в результаты единичных измерений, а если известно, что результаты всех единичных измерений имеют одинаковые систематические погрешности, ее исключают из среднего арифметического значения измеряемой величины.

Среднее арифметическое значение измеряемой величины из единичных результатов $\bar{x}$ определяют по формуле (4.22).

Для определения средней квадратической погрешности единичных измерений в ряду измерений S_x используют формулу (4.24).

Промахи (грубые погрешности измерений) могут сильно исказить результат измерений, поэтому их исключение из ряда измерений обязательно. Методика исключения промахов приведена в п. 4.4.5.

Среднюю квадратическую погрешность результата измерений среднего арифметического значения $S_{\bar{x}}$ определяют по формуле (4.25).

Гипотезу о принадлежности результатов измерений нормальному закону проверяют с помощью критериев ω^2 или χ^2 , если число измерений $n > 50$; если $15 < n < 50$, используют составной критерий [8]. При $n \leq 15$ гипотезу о нормальном законе распределения результатов измерений не проверяют, предполагая, что вид закона распределения (нормальный) известен заранее [18, 19].

При заданном значении доверительной вероятности P и числе единичных измерений n по таблицам (например, по табл. 4.9) определяют коэффициент Стьюдента t_p .

4.9. Значения коэффициента Стьюдента t_p (ГОСТ 8.207)

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

Доверительные границы случайной погрешности результата измерений определяют по формуле

$$\varepsilon = \pm t_p \cdot S_{\bar{x}}. \quad (4.33)$$

Доверительные границы неисключенной систематической погрешности измерения, если можно выделить ее составляющие θ_j , определяют по формуле

$$\theta = k \cdot \sqrt{\sum_{j=1}^m \theta_j^2}, \quad (4.34)$$

где k –коэффициент (табл. 4.10), определяемый принятой доверительной вероятностью P и числом m составляющих неисклученной систематической погрешности; θ_j – границы j -ой составляющей этой погрешности.

4.10. Значения коэффициента k (ГОСТ 8.207)

P	Коэффициент k при числе составляющих неисклученной систематической погрешности m				
	5 и более	4	3	2	1
0,95					1,1
0,99	1,45	1,40	1,30	1,20	

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

В соответствии с ГОСТ 8.207, суммирование неисклученной систематической и случайной погрешностей измерения осуществляют по следующим правилам:

1. Если отношение $\frac{\theta}{S_{\bar{x}}} < 0,8$, то неучтенной систематической погрешностью по сравнению со случайной погрешностью пренебрегают* и принимают, что доверительные границы погрешности результата измерения $\Delta = \varepsilon$.

2. Если отношение $\frac{\theta}{S_{\bar{x}}} > 8,0$, то случайной погрешностью по сравнению с неучтенной систематической пренебрегают* и принимают, что доверительные границы погрешности результата измерения $\Delta = \theta$.

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

$$\Delta = K \cdot S_{\Sigma}, \quad (4.35)$$

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

$$K = \frac{\varepsilon + \theta}{S_{\bar{x}} + \sqrt{\sum_{j=1}^m \frac{\theta_j^2}{3}}}; \quad (4.36)$$

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

$$S_{\Sigma} = \sqrt{\frac{x}{2} + \sum_{j=1}^m \frac{\theta_j^2}{3}}. \quad (4.37)$$

Если составляющие неисключенной систематической погрешности не установлены, а величина ε соизмерима с абсолютным значением погрешности СИ $\Delta_{\text{СИ}}$, то величину $\Delta_{\text{СИ}}$ считают неисключенной систематической погрешностью и в качестве доверительных границ погрешности результата измерений принимают величину [8]

$$\Delta = \sqrt{\varepsilon^2 + \left[\frac{t(\infty)}{3} \cdot \Delta_{\text{СИ}} \right]^2} = \sqrt{\varepsilon^2 + \left[\frac{1,96}{3} \cdot \Delta_{\text{СИ}} \right]^2}. \quad (4.38)$$

Окончательный результат записывают в виде $A = \bar{x} \pm \Delta$, P , выполняя округление результатов расчета по правилам, изложенным в п. 4.4.6.

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

Пример 4.15

При многократном измерении диаметра вала $\varnothing 30 \text{ } h9_{(-0,052)}$ микрометром МК25-1 получены следующие результаты: 29,94; 29,95; 29,96; 29,97; 29,97; 29,98; 29,98 мм. Неучтенная систематическая погрешность, вызванная отклонением температуры вала от нормальной, $\theta = 2$ мкм. Необходимо определить, является ли результат $x_1 = 29,94$ мм промахом, найти и записать в стандартной форме результат измерений (доверительная вероятность $P = 0,95$).

Определяем среднее арифметическое значение измеряемой величины

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

Определяем СКП единичных измерений

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

Так как число измерений $n < 10$, а закон распределения результатов единичных измерений неизвестен, промах определяем с использованием критерия Романовского (см. п. 4.4.5)

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

Для ближайшего меньшего $n = 6$ и $q = 0,05$ (при $P = 0,95$) по табл. 4.7 находим $\beta_T = 2,10$. То есть $\beta < \beta_T$ и результат $x_1 = 29,94$ промахом не является.

Определяем СКП результата измерений среднего арифметического значения

$$S_{\bar{x}} = \frac{0,015}{\sqrt{7}} = 0,006 \text{ мм.}$$

Для заданной вероятности $P = 0,95$ и числа измерений $n = 7$ по табл. 4.9 определяем значение коэффициента Стьюдента $t_p = 2,447$. Тогда доверительные границы случайной погрешности результата измерений

$$\varepsilon = \pm 2,447 \cdot 0,006 = 0,015 \text{ мм.}$$

Так как отношение $\frac{\theta}{S_{\bar{x}}} = \frac{0,002}{0,006} = 0,33 < 0,8$, то неучтенной систематической по-

грешностью по сравнению со случайной погрешностью измерения пренебрегаем и принимаем доверительные границы погрешности результата измерений

$$\Delta = \varepsilon = \pm 0,015 \text{ мм.}$$

Результат измерений записываем в виде

$$A = 29,964 \pm 0,015, 0,95.$$

При обработке *многократных прямых неравноточных измерений* (измерений одной и той же величины, выполненных с различной точностью, различными приборами, различными операторами и т.д.) нельзя просто вычислять среднее арифметическое, поскольку это привело бы к увеличению погрешности за счет измерений, выполненных недостаточно тщательно или с недостаточной точностью.

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

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

$$\bar{x}_B = \frac{1}{\sum_{i=1}^m g_i} \sum_{i=1}^m g_i \bar{x}_i, \quad (4.39)$$

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

$$\begin{aligned}
\bar{x}_1 &= \frac{1}{n_1} \sum_{j=1}^{n_1} x_{1j}; \\
\bar{x}_2 &= \frac{1}{n_2} \sum_{j=1}^{n_2} x_{2j}; \\
&\dots\dots\dots \\
\bar{x}_i &= \frac{1}{n_i} \sum_{j=1}^{n_i} x_{ij}; \\
\bar{x}_m &= \frac{1}{n_m} \sum_{j=1}^{n_m} x_{mj},
\end{aligned}
\tag{4.40}$$

где x_j – единичное измерение в ряду равнооточных измерений ($j = 1, 2, \dots, n$);

$n_1, n_2, \dots, n_m$ – число измерений в i -м ряду равнооточных измерений ($i = 1, 2, \dots, m$);

m – число рядов равнооточных измерений ($i = 1, 2, \dots, m$).

Вес результата i -го ряда равнооточных измерений определяют по формуле

$$g_i = \frac{n_i}{S_{x_i}^2} \cdot C, \tag{4.41}$$

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

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

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

$$S_{\bar{x}_B} = \sqrt{\frac{C}{\sum_{i=1}^m g_i}}. \tag{4.42}$$

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

Пример 4.16

Произведены три серии измерений одного и того же диаметра вала $\varnothing 16 \text{ h}9_{(-0,043)}$ СИ различной точности: микрометром гладким, микрометром рычажным и скобой индикаторной. Объем каждой серии измерений $n_1 = n_2 = n_3 = 8$.

Получены следующие исправленные результаты измерений: микрометром гладким $\bar{x}_1 = 15,97$ мм, $S_{x_1} = 4$ мкм; микрометром рычажным $\bar{x}_2 = 15,986$ мм, $S_{x_2} = 2$ мкм; скобой

индикаторной $\bar{x}_3 = 15,99$ мм, $S_{x_3} = 6$ мкм. Неучтенные систематические погрешности отсутствуют. Необходимо найти и записать в стандартной форме результат измерений.

Находим по формуле (4.41) веса каждой серии измерений

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

Учитывая, что $g_1 + g_2 + g_3 = 1,0$, находим $C = \frac{1}{0,5 + 2 + 0,22} = 0,368$. Тогда

$$g_1 = 0,5 \cdot 0,368 = 0,18; \quad g_2 = 2 \cdot 0,368 = 0,74; \quad g_3 = 0,22 \cdot 0,368 = 0,08.$$

Определяем по формуле (4.39) среднее взвешенное значение средних арифметических

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

Определяем по формуле (4.42) СКП результата измерений среднего взвешенного значения

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

По формуле (4.33) определяем доверительные границы случайной погрешности результата измерения при доверительной вероятности $P = 0,95$:

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

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

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

Для проверки равноточности двух рядов измерений используют дисперсионный критерий Фишера [15]. Вычисляют дисперсии $S_{x_1}^2$ и $S_{x_2}^2$ для каждого ряда измерений, а затем находят дисперсионное отношение Фишера

$$F = \frac{S_{x_1}^2}{S_{x_2}^2}, \quad (4.42)$$

причем необходимым условием является $S_{x_1}^2 \geq S_{x_2}^2$. Измерения считаются неравноточными, если F попадает в критическую область $F > F_q$. Значения F_q для различных уровней значимости q и числа степеней свободы $k_1 = (n_1 - 1)$ и $k_2 = (n_2 - 1)$, где n_1 и n_2 — соответственно число измерений в первом и во втором ряду измерений, приведены в табл. П.4.2.

Пример 4.17

Произведены две серии измерений отклонений от круглости шейки вала кругломером в различных условиях измерений. Объем каждой серии $n_1 = n_2 = 9$.

Получены следующие исправленные результаты измерений: первая серия $\bar{x}_1 = 4,2$ мкм, $S_{x_1} = 0,6$ мкм; вторая серия $\bar{x}_2 = 4,6$ мкм, $S_{x_2} = 0,2$ мкм.

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

Критерий Фишера $F = \frac{0,6^2}{0,2^2} = 9$. Полученное значение F больше $F_q = 3,44$ для $q = 0,05$ и $k_1 = k_2 = 8$ (см. прил.4, табл. П.4.2), следовательно, измерения являются неравноточными.

4.5.2. Однократные измерения

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

Однократные измерения возможны при следующих условиях [8, 19]:

- объем априорной информации об объекте измерений такой, что однократные измерения не вызывают сомнений;
- изучен метод измерения, его погрешности либо заранее устранены, либо оценены;
- метрологические характеристики СИ соответствуют установленным нормам.

При однократных измерениях возможно образование инструментальной, методической и субъективной погрешностей. Если последние две погрешности не превышают 15 % погрешности СИ, погрешность измерения принимают равной погрешности используемого СИ [19]. Такая ситуация весьма часто имеет место на практике.

Как и при многократных измерениях, однократный отсчет показаний может содержать промах. Во избежание промаха при выполнении однократных измерений рекомендуется повторять измерения 2–3 раза, приняв за результат среднее арифметическое. Стати-

стической обработке эти измерения не подвергаются. В простейшем случае, если влияющие величины соответствуют нормальной области значений, погрешность результата прямого однократного измерения равна основной погрешности СИ $\Delta_{СИ}$, определяемой по нормативно-технической документации. Тогда результат измерения записывают в виде

$$A = x_{СИ} \pm \Delta_{СИ}; P, \quad (4.43)$$

где $x_{СИ}$ – результат (среднее арифметическое значение из двух – трех единичных измерений), зафиксированный СИ; P – доверительная вероятность (как правило, составляет 0,95).

При проведении измерений в условиях, отличных от нормальных, необходимо определять и учитывать пределы дополнительных погрешностей, вызванных этими отличиями (см. п. 4.6.2).

Пример 4.18

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

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

Результат измерения запишем в виде

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

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

4.5.3. Косвенные измерения

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

$$A = f(a_1, a_2, \dots, a_m), \quad (4.44)$$

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

Поскольку каждый из аргументов a_i измеряется с некоторой погрешностью, то задача оценки погрешности результата сводится к суммированию погрешностей измерения аргументов. Примеры определения погрешностей косвенных измерений приведены в [14, 19].

4.6. Средства измерений

4.6.1. Виды средств измерений

Технической основой метрологического обеспечения являются СИ. *Средство измерений* – это техническое средство, предназначенное для измерений, имеющее нормированные метрологические характеристики, воспроизводящее и (или) хранящее единицу ФВ, размер которой принимают неизменным (в пределах установленной погрешности) в течение известного интервала времени.

Приведенное определение раскрывает суть СИ, заключающуюся, во-первых, в «умении» хранить (или воспроизводить) единицу ФВ; во-вторых, в неизменности размера хранимой единицы. Эти важнейшие факторы и обуславливают возможность выполнения измерения и отличают СИ от технического средства.

По метрологическому назначению СИ делятся на эталоны (см. п. 4.3.1) и рабочие СИ.

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

Все СИ принято подразделять на меры, измерительные преобразователи, измерительные приборы, измерительные установки и измерительные системы.

Меры физической величины предназначены для воспроизведения и (или) хранения ФВ одного или нескольких заданных размеров, значения которых выражены в установленных единицах и известны с необходимой точностью. Различают однозначные и многозначные меры, а также наборы и магазины мер [10]. Меры, воспроизводящие ФВ одного размера, называются *однозначными*. *Многозначные меры* могут воспроизводить ряд размеров ФВ, часто даже непрерывно заполняющих некоторый промежуток между определенными границами. Наиболее распространенными многозначными мерами являются миллиметровая линейка, вариометр и конденсатор переменной емкости.

В наборах и магазинах отдельные меры могут объединяться в различных сочетаниях для воспроизведения некоторых промежуточных или суммарных, но обязательно дискретных размеров величин. В магазинах меры объединены в одно механическое целое, снабженное специальными переключателями, которые связаны с отсчетными устройствами. В противоположность этому набор состоит обычно из нескольких мер, которые могут выполнять свои функции как в отдельности, так и в различных сочетаниях друг с другом (набор концевых мер длины, набор гирь, набор мер индуктивности и т.д.).

К однозначным мерам относятся также образцы и образцовые вещества. *Стандартные образцы состава и свойств веществ и материалов* представляют собой специально оформленные тела или пробы вещества определенного и строго регламентированного содержания, одно из свойств которых при определенных условиях является величиной с известным значением. К ним относятся образцы твердости, шероховатости, белой поверхности, а также стандартные образцы, используемые при поверке приборов для определения механических свойств материалов. Образцовые вещества играют большую роль в создании реперных точек при построении шкал. Например, чистый цинк служит для воспроизведения температуры 419,58 °С, золото – 1064,43 °С.

При изготовлении, в зависимости от погрешности меры разделяют на *классы* (например, плоскопараллельные концевые меры длины выпускают классов точности 0, 1, 2, 3, 4 и 5). В зависимости от погрешности аттестации меры подразделяют на *разряды* (мера 1-го, 2-го и т.д. разрядов). Меры, которым присвоен тот или иной разряд, в соответствии с поверочной схемой используются для поверки измерительных средств и называются образцовыми (см. рис. 4.4).

Измерительный преобразователь – техническое средство с нормированными метрологическими характеристиками, служащее для преобразования измеряемой величины в другую величину или измерительный сигнал, удобный для обработки, хранения, дальнейших преобразований, индикации или передачи. К преобразователям относятся термопары, усилители, преобразователи давления.

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

Преобразуемая величина называется *входной*, а результат преобразования – *выходной* величиной. Соотношение между ними задается *функцией преобразования* (статической характеристикой). Если в результате преобразования физическая природа величины не изменяется, а функция преобразования является линейной, то преобразователь называется *масштабным*, или *усилителем* (усилители напряжения, измерительные микроскопы, электронные усилители).

Измерительный прибор – это СИ, предназначенное для получения значений измеряемой ФВ в установленном диапазоне.

По способу отсчета значений измеряемых величин приборы подразделяют на *показывающие (аналоговые и цифровые)* и *регистрирующие*. Широко распространены аналоговые приборы, отсчетные устройства которых состоят из двух элементов – шкалы и указателя, причем один из них связан с подвижной системой прибора, а другой – с корпусом. Например, у индикатора часового типа шкала связана с корпусом прибора, а указатель с его подвижной системой. В цифровых приборах отсчет осуществляется с помощью механических, электронных или других цифровых отсчетных устройств.

По способу записи измеряемой величины регистрирующие приборы делятся на *самопишущие* и *печатающие*. В самопишущих приборах (например, профилографе или шлейфовом осциллографе) запись показаний представляет собой график или диаграмму. В печатающих приборах информация о значении измеряемой величины выдается в числовой форме на бумажной или магнитной ленте.

Часто для измерения каких-либо ФВ одного измерительного прибора бывает недостаточно. В этом случае используют измерительные установки.

Измерительная установка – совокупность функционально объединенных мер, измерительных приборов, измерительных преобразователей и других устройств, предназначенных для измерения одной или нескольких ФВ и расположенная в одном месте.

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

В зависимости от назначения измерительные системы разделяют на информационные, контролирующие, управляющие и др.

Например, радионавигационная система для определения местонахождения различных объектов, состоит из ряда измерительно-вычислительных комплексов, разнесенных в пространстве на значительное расстояние друг от друга.

4.6.2. Метрологические характеристики средств измерения

Для обеспечения единства измерений и взаимозаменяемости СИ характеристики их метрологических свойств (метрологические характеристики) нормируются и регламентируются стандартами. *Метрологическая характеристика СИ* – это характеристика одного из свойств СИ, влияющая на результат измерения и на его погрешность. Метрологические характеристики, устанавливаемые нормативно-техническими документами, называют *нормируемыми метрологическими характеристиками*, а определяемые экспериментально

– действительными метрологическими характеристиками. На основании сравнения нормируемых и действительных метрологических характеристик при поверке дают заключение о пригодности СИ. Сравнение нормируемых метрологических характеристик различных СИ позволяет осуществить выбор СИ, необходимого для конкретных условий измерения.

Номенклатура метрологических характеристик зависит от назначения СИ, условий и режимов эксплуатации и других факторов. Наиболее широко используемые в практике технических измерений метрологические характеристики СИ приведены в табл. 4.11.

4.11. Метрологические характеристики средств измерения (по РМГ 29-99)

Наименование	Метрологические характеристики Определение	Примеры
<i>Цена деления шкалы</i>	Разность значений величины, соответствующих двум соседним отметкам шкалы СИ	См. рис. 4.12
<i>Диапазон показаний средства измерений</i>	Область значений шкалы прибора, ограниченная начальным и конечным делениями шкалы	См. рис. 4.12
<i>Диапазон измерений средства измерений</i>	Область значений величины, в пределах которой нормированы допускаемые пределы погрешности СИ	См. рис. 4.12
<i>Чувствительность средства измерений</i>	Свойство СИ, определяемое отношением изменения выходного сигнала этого СИ к вызывающему его изменению измеряемой величины	Абсолютную чувствительность определяют по формуле $S = \Delta \ell / \Delta x$, где $\Delta \ell$ – изменение сигнала на выходе, Δx – изменение измеряемой величины
<i>Погрешность средства измерения</i>	Разность между показанием СИ и истинным (действительным) значением измеряемой ФВ	–
<i>Класс точности средства измерения</i>	Обобщенная характеристика данного типа СИ отражающая, как правило, уровень их точности, выражаемая пределами допускаемых основной и дополнительной погрешностей, а также другими характеристиками, влияющими на точность	Например, микрометры гладкие типа МК выпускают 1 и 2-го классов точности

Основной метрологической характеристикой СИ является его погрешность. На погрешность измерения и погрешность СИ большое влияние оказывают условия измерений [16] – совокупность влияющих величин, описывающих состояние окружающей среды, объекта и средства измерений. *Влияющая величина* – это ФВ, не измеряемая данным СИ, но оказывающая влияние на размер измеряемой величины и (или) результат измерений.

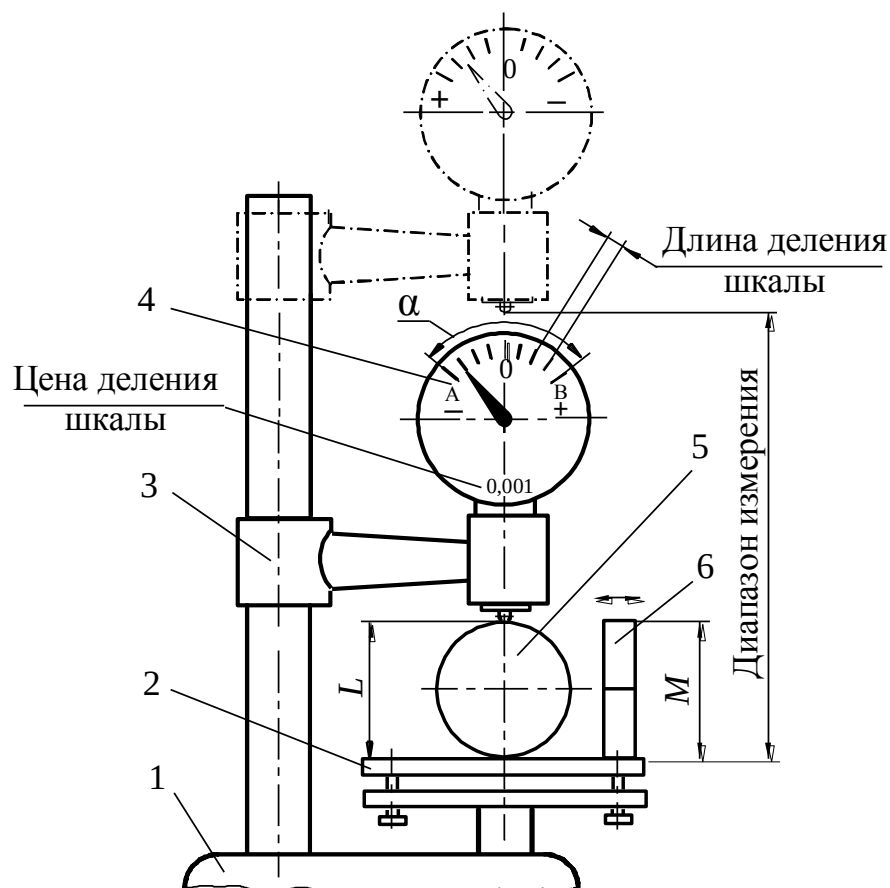


Рис. 4.12. Схема, поясняющая основные параметры средства измерения [22]:
 1 – основание; 2 – стол; 3 – кронштейн; 4 – измерительный прибор; 5 – объект измерения; 6 – блок концевых мер; L – размер объекта измерения; M – размер блока концевых мер; α – угол между начальным A и конечным B значениями шкалы; $(-A, +B)$ – диапазон показаний средства измерения

Изменение условий измерения приводит к изменению состояния объекта измерения и соответственно к изменению размера измеряемой величины. Влияние условий измерения на СИ проявляется в изменении его метрологических характеристик.

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

Нормальные условия измерений характеризуются совокупностью значений или областей значений влияющих величин, при которых изменением результата измерений пренебрегают вследствие его малости. Область значений влияющей величины, в пределах которой изменением результата измерения под ее воздействием можно пренебречь в соответствии с установленными нормами точности, называется *нормальной областью значений влияющей величины*. Нормальные условия измерений устанавливаются нормативными документами на СИ конкретного типа. Номинальные значения некоторых влияющих величин при нормальных условиях измерений, а также перечень основных влияющих величин при измерении линейных и угловых размеров, приведены в табл. 4.12 и 4.13.

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

Влияющая величина	Значение
1. Температура окружающей среды, °С	20
2. Атмосферное давление, кПа (мм рт. ст.)	101,3 (760)
3. Относительная влажность окружающего воздуха, %	58
4. Ускорение свободного падения, м/с ²	9,8
5. Направление линии измерения	
– линейных размеров у наружных поверхностей до 160 мм	Вертикальная
– линейных размеров у наружных поверхностей свыше 160 мм	Горизонтальная
– линейных размеров у внутренних поверхностей	Горизонтальная
6. Положение плоскости измерения углов	Горизонтальное
7. Относительная скорость движения внешней среды	0
8. Частота возмущающих гармонических вибраций, действующих на средства и объект измерения, не должна превышать, Гц	30

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

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

При нормальных условиях измерений определяется *основная погрешность СИ*.

Рабочие условия измерений – условия, при которых значения влияющих величин находятся в пределах рабочих областей. Область значений влияющей величины, в пределах которой нормируют дополнительную погрешность или изменение показаний СИ, называется *рабочей областью значений влияющей величины*.

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

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

Учет всех нормируемых метрологических характеристик СИ при оценивании погрешности результата измерений является сложной и трудоемкой процедурой, оправданной при измерениях повышенной точности. На практике такая точность, особенно в производственных условиях, не всегда нужна. Поэтому для получения информации о возможной погрешности СИ используют нормирование обобщенных метрологических характеристик СИ на основе классов точности (см. табл. 4.11).

Как правило, нормирование метрологических характеристик классами точности принято для электроизмерительных приборов. Класс точности позволяет судить лишь о том, в каких пределах находится погрешность СИ данного типа. Классы точности присваивают СИ при их разработке на основании исследований и испытаний представителей партии СИ данного типа. При этом пределы допускаемых погрешностей нормируют и выражают в форме абсолютных, приведенных или относительных погрешностей, в зависимости от характера изменения погрешностей в пределах диапазона измерений. Обозначение классов точности наносят на шкалы, щитки или корпуса приборов.

Классы точности СИ обозначаются условными знаками (буквами, цифрами). Для СИ, пределы допускаемой основной погрешности которых выражают в форме относительной погрешности или приведенной погрешности в соответствии с зависимостями (4.7) и (4.8), классы точности обозначаются числами, равными этим пределам в процентах. Чтобы отличить относительную погрешность от приведенной, обозначение класса точности в виде относительной погрешности обводят кружком, например, $\bigcirc 2,5$. Если погрешность нормирована в процентах от длины шкалы, то под обозначением класса ставят знак $\surd$. При дробном обозначении класса точности (например, 0,02/0,01) в числителе указывают приведенную погрешность, реализуемую в конце диапазона измерения, а в знаменателе – приведенную погрешность в нулевой точке диапазона. Как правило, так обозначают класс точности цифровых СИ. Тогда относительную погрешность измерения определяют по формуле

$$\delta_x = \pm \left[C + d \cdot \left(\frac{x_k}{x} - 1 \right) \right], \quad (4.44)$$

где x_k – больший по модулю из пределов измерений для СИ с нулем посередине); x – показание СИ; C и d – соответственно, приведенные погрешности, реализуемые в конце и в нулевой точке диапазона измерений (в процентах).

Пример 4.19

Отсчет по шкале прибора с пределами измерений 0-10 А и равномерной шкалой составил 5 А. Пренебрегая другими видами погрешностей измерения, необходимо определить пределы допускаемой абсолютной погрешности этого отсчета при использовании СИ классов точности 0,5 и 0,05/0,01.

1. Классом точности 0,5 задана приведенная погрешность измерения $\gamma = (\Delta / x_N) \cdot 100 = \pm 0,5 \%$. Для нормирующего значения $x_N = 10$ (бóльший по модулю из пределов измерений) абсолютная погрешность

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

2. Классом точности 0,5 задана относительная погрешность измерения $\delta_x = (\Delta / x) \cdot 100 = \pm 0,5 \%$. Для отсчета $x = 5$ А абсолютная погрешность

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

3. Классом точности 0,02/0,01 задана относительная погрешность измерения, определяемая по формуле (4.44):

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

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

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

В отличие от большинства электроизмерительных приборов для СИ геометрических параметров деталей пределы допускаемых погрешностей выражают в форме абсолютных погрешностей (см. п. 4.4.2), т.е. единицах измеряемой величины.

Пределы допускаемых абсолютных погрешностей для большинства станковых приборов (координатно-измерительные машины, длинномеры, компараторы и др.) устанавливают в соответствии с формулой

$$\Delta_{lim} = \pm (a + b |x|), \quad (4.45)$$

где Δ_{lim} – предел допускаемой абсолютной погрешности; a – положительное число, выраженное в единицах измеряемой величины; b – положительное число; x – измеряемая величина.

Например, для длинномера DigimarCX1 фирмы Mahr предел допускаемой погрешности измерения Δ_{lim} (мкм) определяется по формуле

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

где L – измеряемый размер, мм.

4.6.3. Выбор средств измерения геометрических параметров деталей

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

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

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

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

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

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

В мелкосерийном и единичном производстве преимущественно используют универсальные СИ, регулируемые калибры (скобы), поскольку применение специальных приспособлений и жестких калибров экономически невыгодно. Универсальные средства используют для измерения различных геометрических параметров либо непосредственно, либо в сочетании с предметными столиками, плитами, стойками, штативами и другими дополнительными приспособлениями.

Необходимым условием правильного выбора СИ является соответствие его метрологической характеристики следующим условиям:

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

Значения допускаемых погрешностей измерения δ установлены (табл. П.4.1) в зависимости от допусков и номинальных размеров измеряемых изделий ГОСТ 8.051 «Погрешности, допускаемые при измерении линейных размеров до 500 мм». В соответствии с этим стандартом, значения δ определены для квалитетов 2–17 и приняты равными: $0,2 T$ (T – допуск размера) – для $IT10$ – $IT17$, $0,3 T$ – для $IT6$ – $IT9$, $0,35 T$ – для $IT2$ – $IT5$. Расчетные значения доокруглены с учетом реальных значений погрешностей измерения измерительными средствами.

Допускаемые погрешности измерения δ , установленные ГОСТ 8.051, являются наибольшими и включают не только погрешности СИ, но и погрешности от других источников: погрешности установочных мер, погрешности базирования, погрешности, связанные с температурными деформациями, и т.п.

Допускаемые погрешности измерения ограничивают случайную и неучтенную систематическую погрешности измерения. При этом случайная составляющая погрешности измерения не должна превышать $0,6$ нормируемой погрешности.

Приемочные границы, т.е. значения размеров, по которым производится приемка изделий, устанавливают с учетом допускаемой погрешности измерения δ . При этом допуск на размер рассматривают как допуск на сумму погрешностей технологического процесса, которые не позволяют получить абсолютно точное значение размера, в том числе и из-за погрешности измерения. Приемочные границы устанавливают совпадающими с предельными размерами (рис. 4.13, а) или смещенными относительно них введением *производственного допуска* $T_{пр}$ (рис. 4.13, б).

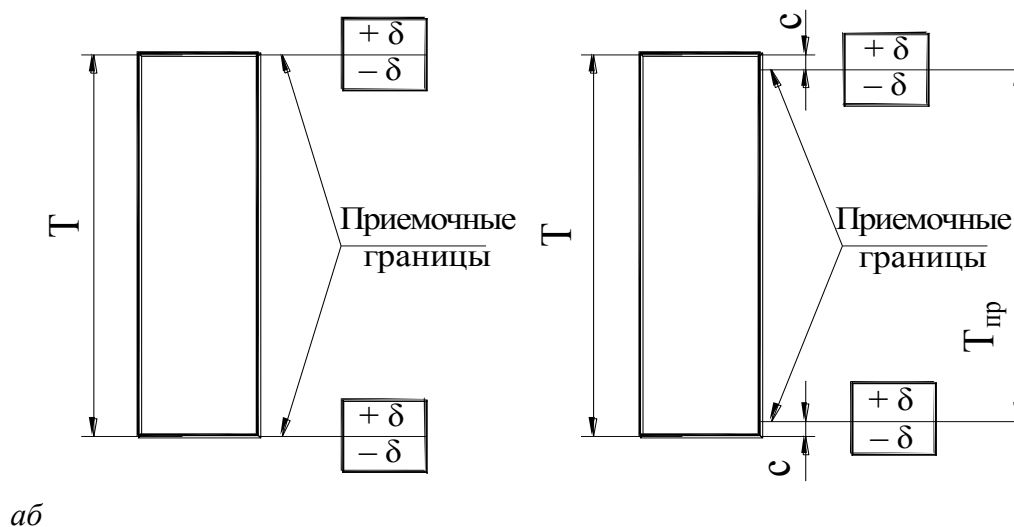


Рис. 4.13. Расположение приемочных границ: а – без назначения производственного допуска; б – производственный допуск определен в зависимости от параметра разбраковки C

Первый способ является технически и экономически целесообразным, и поэтому предпочтительным. Однако при этом из-за наличия погрешности измерения некоторые бракованные изделия могут быть ошибочно приняты как годные, а некоторые годные – отбракованы. Чтобы этого не случилось, приемочные границы смещают внутрь поля допуска изделия на величину, равную c (см. рис. 4.13, б). Величина смещения не должна превышать половины допускаемой погрешности измерения ($0,5 \delta$). При смещении приемочных границ говорят о введении производственного допуска $T_{пр}$. Этот вариант менее предпочтителен, чем первый, однако, хотя и редко, используется на практике.

На рис. 4.14 показаны кривые распределения размеров деталей ($y_{тех}$) и погрешностей измерения ($y_{мет}$) с центрами, совпадающими с границами допуска. В результате наложения кривых $y_{тех}$ и $y_{мет}$ происходит искажение кривой распределения $y(\sigma_{тех}, \sigma_{мет})$, появляются области вероятностей m и n , обуславливающие выход размера за границу допуска на величину c . Таким образом, чем точнее технологический процесс (меньше отношение $IT/\Delta_{мет}$), тем меньше неправильно принятых деталей по сравнению с неправильно забракованными.

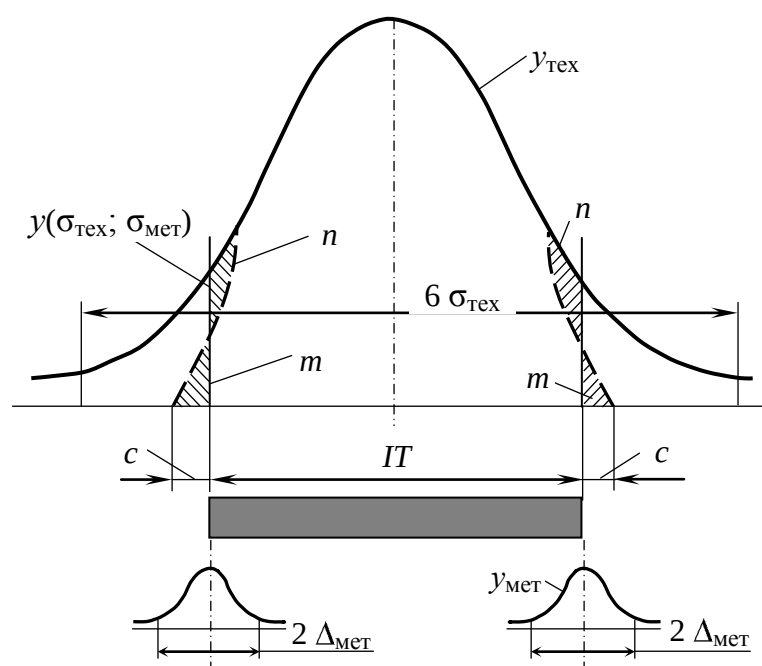
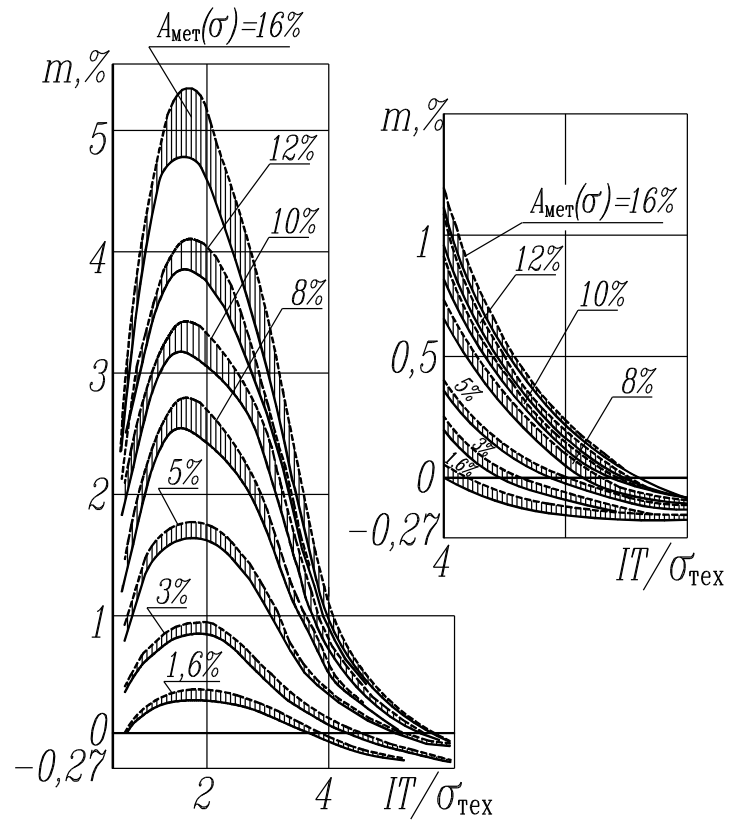
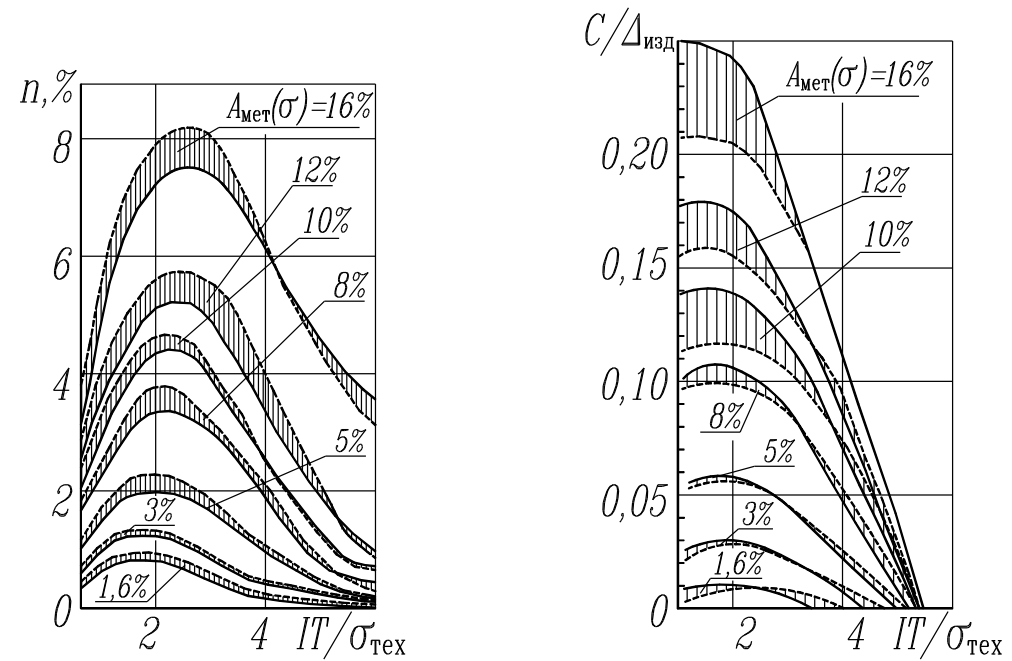


Рис. 4.14. Кривые распределения контролируемых параметров, построенные с учетом погрешностей измерения

Влияние погрешности измерения на результаты разбраковки деталей (по ГОСТ 8.051) показано на рис. 4.15, позволяющем определить вероятное количество неправильно принятых m и неправильно забракованных n деталей, а также переход за границы поля допуска размеров неправильно принятых деталей c .



аб



в

Рис. 4.15. Графики для определения: а– количества (в процентах от общего количества измеряемых деталей) неправильно принятых деталей m ; б– количества неправильно забракованных деталей n ; в– возможного перехода за границы поля допуска размеров неправильно принятых деталей c (ГОСТ 8.051)

На графиках, показанных на рис. 4.15, и приведенных в табл. 4.14 значения параметров m, n, c даны в процентах в зависимости от относительной погрешности измерения $A_{\text{мет}} = (\sigma_{\text{тех}} / IT) \cdot 100$, и относительной точности изготовления $IT / \sigma_{\text{тех}}$ (где $\sigma_{\text{тех}}$ – среднеквадратическое отклонение погрешности измерения; $\sigma_{\text{мет}}$ – среднеквадратическое отклонение погрешности изготовления; IT – допуск размера). Графики построены исходя из условия, что отклонения измеряемых размеров подчиняются нормальному закону распределения, а погрешность измерения изменяется согласно закону нормального распределения (сплошная линия на графиках), закону равной вероятности (штриховая линия) или промежуточным законам (область между сплошной и штриховой линией).

Для определения параметров m, n, c ГОСТ 8.051 рекомендует принимать $A_{\text{мет}}$, равным 16 % для квалитетов 2 – 7, 12 % – для квалитетов 8 и 9 и 10 % – для квалитетов 10 и грубее. Если точность технологического процесса изготовления детали неизвестна (неизвестно значение $\sigma_{\text{тех}}$), определяют предельное значение параметров m, n и c по рис. 4.15 или по табл. 4.14.

4.14. Предельные значения параметров разбраковки (ГОСТ 8.051)

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

В выборе СИ участвуют [6, 7] конструкторская, технологическая и метрологическая службы предприятия. Конструкторская служба ответственна за правильность назначения допускаемых отклонений на размер детали; технологическая служба обязана обеспечить наиболее экономичные технологические процессы изготовления деталей, включая их измерения; метрологическая служба осуществляет выбор конкретных СИ с учетом условий измерений.

Конструкторы первоначально назначают допуск на геометрический размер детали исходя из служебного назначения изделия. После этого находят допускаемую погреш-

ность измерения δ и далее по таблице или графикам определяют количество неправильно принятых деталей (риск потребителя). Если по условиям работы изделия количество неправильно принимаемых деталей и выход размеров этих деталей за границы поля допуска признается приемлемым, то оставляют выбранный допуск и этим устанавливают, что приемочными границами будут являться предельные размеры детали (см. рис. 4.13, *a*). Если конструктор признает влияние погрешности измерения существенным и недостаточным, то есть два способа уменьшения этого влияния: во-первых, можно выбрать более точный квалитет размера (уменьшить допуск), уменьшая тем самым допускаемую погрешность измерения, во-вторых, можно ввести производственный допуск, уменьшая допуск на изготовление и, соответственно, снижая у неправильно принимаемых деталей величину выхода размера за границу поля допуска.

Технологи оценивают технологический процесс по количеству действительного и ложного брака (количеству неправильно забракованных деталей), являющихся риском производителя. Если полученные результаты признаются удовлетворительными, то выбор конкретного СИ предоставляется метрологической службе, в чьи обязанности это входит. Если результаты признаны неудовлетворительными, то изменяют технологический процесс или вводят производственный допуск.

Метрологи осуществляют выбор конкретного СИ по РД 50-98-86 [6] с учетом условий измерения в зависимости от измеряемого размера, допуска на изготовление и допускаемой погрешности измерения δ . При проведении измерений в условиях, когда значения влияющих величин (см. табл. 4.12, 4.13) отличаются от установленных в ГОСТ 8.050 или нормативных документах на СИ конкретного вида, необходимо нормировать функции влияния, т.е. указывать зависимости показаний СИ от влияющих величин и на основе этого вносить поправки в показания СИ.

Пример 4.20

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

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

Для измерения вала 6-го квалитета рекомендуется принимать относительную погрешность $A_{мет(\sigma)} = 0,16\ T$. Тогда $m = (5 \dots 5,4)\ \%$, а $n = (7,8 \dots 8,25)\ \%$ в зависимости от

закона распределения погрешности измерения (см. табл. 4.14). При этом возможный выход за границы поля допуска размеров неправильно принятых деталей

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

Результаты разбраковки деталей заносим в таблицу по форме табл. 4.15.

4.15. Результаты разбраковки деталей

Допуск T , мм	0,013
Вероятный процент неправильно принятых деталей m	5 ... 5,4
Вероятный процент неправильно забракованных деталей n	7,8 ... 8,25
Вероятный выход размера за границы допуска у неправильно принятых деталей c , мм	0,0034

Если по условиям работы изделия количество неправильно принятых деталей $m = (5 \dots 5,4) \%$ и вероятный выход размера за границы поля допуска у этих деталей $c = 0,0034$ мм является недопустимым, вводим производственный допуск.

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

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

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

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

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

Пример 4.21

Необходимо выбрать универсальное СИ вала по условиям примера 4.20.

Устанавливаем допускаемую погрешность измерения (см. табл. П.4.1). Для $\varnothing 20 \text{ k}6\delta = 0,004$ мм.

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

Определяем метрологическую характеристику микрометра рычажного, а также предельную погрешность Δ_{lim} измерения им в принятых условиях, одновременно проверяя выполнение условий, изложенных в п. 4.6.3. Этим условиям удовлетворяет микрометр МР-25 (ГОСТ 4381), метрологическая характеристика и условия использования которого приведены в табл. 4.16. Диапазон измерения этого микрометра позволяет измерить размер

20 мм, диапазон показаний больше допуска размера: $0,28 > 0,013$ (мм); предельная погрешность измерения микрометром при принятых условиях измерения меньше допускаемой: $0,002 < 0,004$ (мм).

4.16. Метрологическая характеристика и условия использования микрометра рычажного МР-25

Наименование СИ, ГОСТ	Диапазон измерения, мм	Диапазон показаний, мм	Цена деления, мм	Предельная погрешность измерения, мм
Микрометр рычажный МР-25, ГОСТ 4381	0 ... 25	$\pm 0,14$	0,002	0,002
Вариант использования	Вид контакта	Условия измерения Участок шкалы, используемый для отсчета	Способ настройки	Температурный режим, °С
Микрометр закреплен на стойке	Линейный	± 10 делений шкалы	По концевым мерам длины 2 кл. точности	5

4.6.4. Контроль деталей гладких соединений

Контроль деталей в диапазоне размеров до 500 мм с допусками от *IT6* до *IT17*, особенно в массовом и крупносерийном производствах, наиболее часто осуществляют калибрами. Валы и отверстия с допусками точнее *IT6* не рекомендуется проверять калибрами, так как при этом вносится большая погрешность измерения. Такие изделия проверяют универсальными средствами.

Калибры разделяют на рабочие и контрольные (контркалибры).

Комплект рабочих предельных калибров для контроля размеров гладких цилиндрических деталей состоит из проходного калибра ПР (им контролируют предельный размер, соответствующий максимуму материала проверяемой детали) и непроходного калибра НЕ (им контролируют предельный размер, соответствующий минимуму материала проверяемой детали) (рис. 4.16).

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

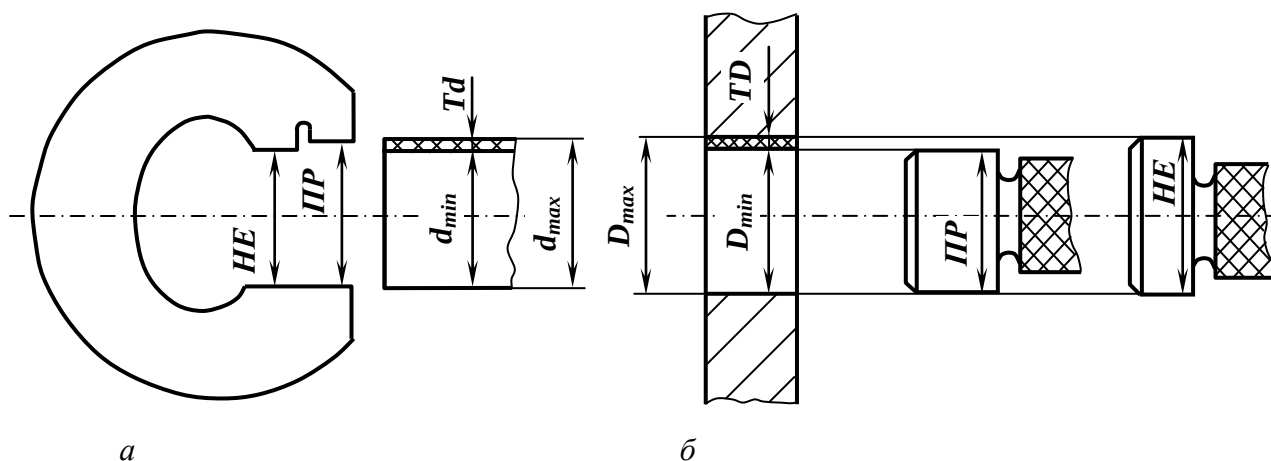


Рис. 4.16. Схемы контроля деталей: *а*– вала скобой; *б*– отверстия пробками

При контроле калибрами деталь считают годной, если проходной калибр (проходная сторона калибра) под действием собственного веса или усилия, примерно равного ему, но не менее 1 Н, проходит, а непроходной калибр (непроходная сторона) не проходит по контролируемой поверхности детали. Детали, не удовлетворяющие любому из этих двух условий, являются негодными, их отбраковывают.

Для установки регулируемых калибров-скоб и контроля нерегулируемых калибров-скоб применяют контрольные калибры К–И, которые являются непроходными и служат для изъятия из эксплуатации вследствие износа проходных рабочих скоб. Контрольные калибры к калибрам-пробкам не предусмотрены, так как их легко проверить универсальными измерительными средствами.

Для контроля валов в основном применяют калибры в виде скоб (см. рис. 4.16, *а*). Калибры в виде колец применяют только в особо ответственных случаях, когда требуется контролировать отклонения от цилиндричности (особенно при наличии огранки, имеющей форму псевдоокружности).

Конструктивно гладкие калибры выполняют регулируемыми и нерегулируемыми. Регулируемые калибры-скобы дороже и менее жестки, чем нерегулируемые, но могут быть перенастроены в некотором интервале размеров, к тому же они допускают быстрое восстановление размера, потерянного из-за изнашивания рабочих поверхностей. Нерегулируемые калибры более точны и дешевы, чем регулируемые.

Контроль размеров отверстий производят проходными и непроходными калибрами-пробками (см. рис. 4.16, *б*).

Допуски и координаты средин полей допусков гладких рабочих и контрольных калибров нормированы для размеров до 500 мм (табл. 4.17).

Координаты средин полей допусков калибров отсчитывают от соответствующих предельных размеров изделий (табл. 4.18). Так, координаты средин полей допусков про-

ходных калибров для отверстий отсчитывают от наименьшего предельного размера отверстия, а непроходных калибров – от наибольшего предельного размера отверстия. Соответственно координаты средин полей допусков проходных калибров для валов и контракалибров к ним отсчитывают от наибольшего предельного размера вала, а непроходных калибров – от наименьшего предельного размера вала.

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

Квали- тет допус- ка изде- лия	Обозна- чение	Интервалы размеров, мм									Допуск формы калибра
		до 3	св. 3 до 6	св. 6 до 10	св. 10 до 18	св. 18 до 30	св. 30 до 50	св. 50 до 80	св. 80 до 120	св. 120 до 180	
6	Z	1	1,5	1,5	2	2	2,5	2,5	3	4	IT1 IT2 IT1
	Y	1	1	1	1,5	1,5	2	2	3	3	
	Z ₁	1,5	2	2	2,5	3	3,5	4	5	6	
	Y ₁	1,5	1,5	1,5	2	3	3	3	4	4	
	H	1,2	1,5	1,5	2	2,5	2,5	3	4	5	
	H ₁	2	2,5	2,5	3	4	4	5	6	8	
	H _P	0,8	1	1	1,2	1,5	1,5	2	2,5	3,5	
7	Z, Z ₁	1,5	2	2	2,5	3	3,5	4	5	6	IT2 IT3 IT1
	Y, Y ₁	1,5	1,5	1,5	2	3	3	3	4	4	
	H, H ₁	2	2,5	2,5	3	4	4	5	6	8	
	H _P	0,8	1	1	1,2	1,5	1,5	2	2,5	3,5	
8	Z, Z ₁	2	3	3	4	5	6	7	8	9	IT2 IT3 IT1
	Y, Y ₁	3	3	3	4	4	5	5	6	6	
	H	2	2,5	2,5	3	4	4	5	6	8	
	H ₁	3	4	4	5	6	7	8	10	12	
	H _P	1,2	1,5	1,5	2	2,5	2,5	3	4	5	
9	Z, Z ₁	5	6	7	8	9	11	13	15	18	IT2 IT3 IT1
	Y, Y ₁	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	H	2	2,5	2,5	3	4	4	5	6	8	
	H ₁	3	4	4	5	6	7	8	10	12	
	H _P	1,2	1,5	1,5	2	2,5	2,5	3	4	5	
10	Z, Z ₁	5	6	7	8	9	11	13	15	18	IT2 IT3 IT1
	Y, Y ₁	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	H	2	2,5	2,5	3	4	4	5	6	8	
	H ₁	3	4	4	5	6	7	8	10	12	
	H _P	1,2	1,5	1,5	2	2,5	2,5	3	4	5	
Примечания: 1. Числовые значения стандартных допусков – по ГОСТ 25346. 2. Расшифровка обозначений допусков и координат средин полей допусков приведена в табл. 4.18.											

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

Контролируемый параметр	Квалитет	Схемы полей допусков калибров
Отверстие	6 – 8	
	9 – 17	
Вал	6 – 8	
	9 – 17	
Примечание. На схемах приняты следующие обозначения: D_{max}, d_{max} – наибольший предельный размер соответственно отверстия и вала; D_{min}, d_{min} – наименьший предельный размер соответственно отверстия и вала; T – допуск отверстия или вала; H, H_1 – допуск на изготовление калибров соответственно для отверстия и вала; H_p – допуск на изготовление контрольных калибров; Z, Z_1 – координата середины поля допуска проходного калибра; Y, Y_1 – допустимый выход размера изношенного проходного калибра за границу поля допуска соответственно отверстия и вала.		

Так как проходные калибры в процессе эксплуатации изнашиваются, для них, кроме допуска на изготовление, предусматривается допуск на износ. Для размеров до 500 мм износ калибров ПР для контроля деталей с допуском до *IT8* включительно может выходить за границу поля допуска детали на величину Y для пробок и Y_1 для скоб; для калибров ПР, предназначенных для контроля деталей с допусками от *IT9* до *IT17* износ ограничивается наибольшим предельным размером вала или наименьшим предельным размером отверстия, т. е., в этом случае, $Y = Y_1 = 0$.

Для компенсации погрешностей при контроле калибрами больших размеров (более 180 мм) предусмотрена зона надежности. При наличии этой зоны поле допуска непроходного калибра и граница гарантированного износа сдвигают внутрь поля допуска на изготовление детали на величину α для пробок и α_1 для скоб. Это приводит к тому, что в зависимости от качества производственный допуск оказывается меньше заданного на (10 ... 40) %. Однако при сравнительно больших допусках такие искажения не очень существенно снижают экономические показатели изделия.

Расчет предельных размеров калибров выполняют по формулам табл. 4.19.

Исполнительные размеры рабочих поверхностей калибров (размеры, проставляемые на чертежах калибров) назначают так, чтобы весь допуск на изготовление был направлен «в тело» калибра. Для этого за номинальный размер калибра-пробки принимают его наибольший предельный размер, а отклонения принимают равными: $es = 0, ei = -H$ или $ei = -H_p$; за номинальный размер калибра-скобы принимают его наименьший предельный размер, а отклонения $-EI = 0, ES = +H_1$ (см. табл. 4.19).

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

Калибр		Рабочий калибр		Контрольный калибр	
		размер	$ei, ES^{*)}$	размер	$ei^{*)}$
для отверстий	проходная сторона новая	$D_{min} + Z + H / 2$	$-H$	—	—
	проходная сторона изношенная	$D_{min} - Y$	—	—	—
	непроходная сторона	$D_{max} + H / 2$	$-H$	—	—
для валов	проходная сторона новая	$d_{max} - Z_1 - H_1 / 2$	$+H_1$	$d_{max} - Z_1 + H_p / 2$	$-H_p$
	проходная сторона изношенная	$d_{max} + Y_1$	—	$d_{max} + Y_1 + H_p / 2$	$-H_p$
	непроходная сторона	$d_{min} - H_1 / 2$	$+H_1$	$d_{min} + H_p / 2$	$-H_p$
Примечание. Размеры округляют до целого микрометра в сторону уменьшения производственного допуска.					
*) – Второе отклонение поля допуска калибра равно нулю.					

Пример 4.22

Необходимо рассчитать предельные и исполнительные размеры рабочих калибров для контроля деталей соединения $\varnothing 55 H8/js7$.

– По ГОСТ 25347 [15] находим предельные отклонения контролируемых отверстия и вала: $ES = +46$ мкм; $EI = 0$; $es = +15$ мкм; $ei = -15$ мкм.

– Строим схему полей допусков отверстия и вала (рис. 4.17).

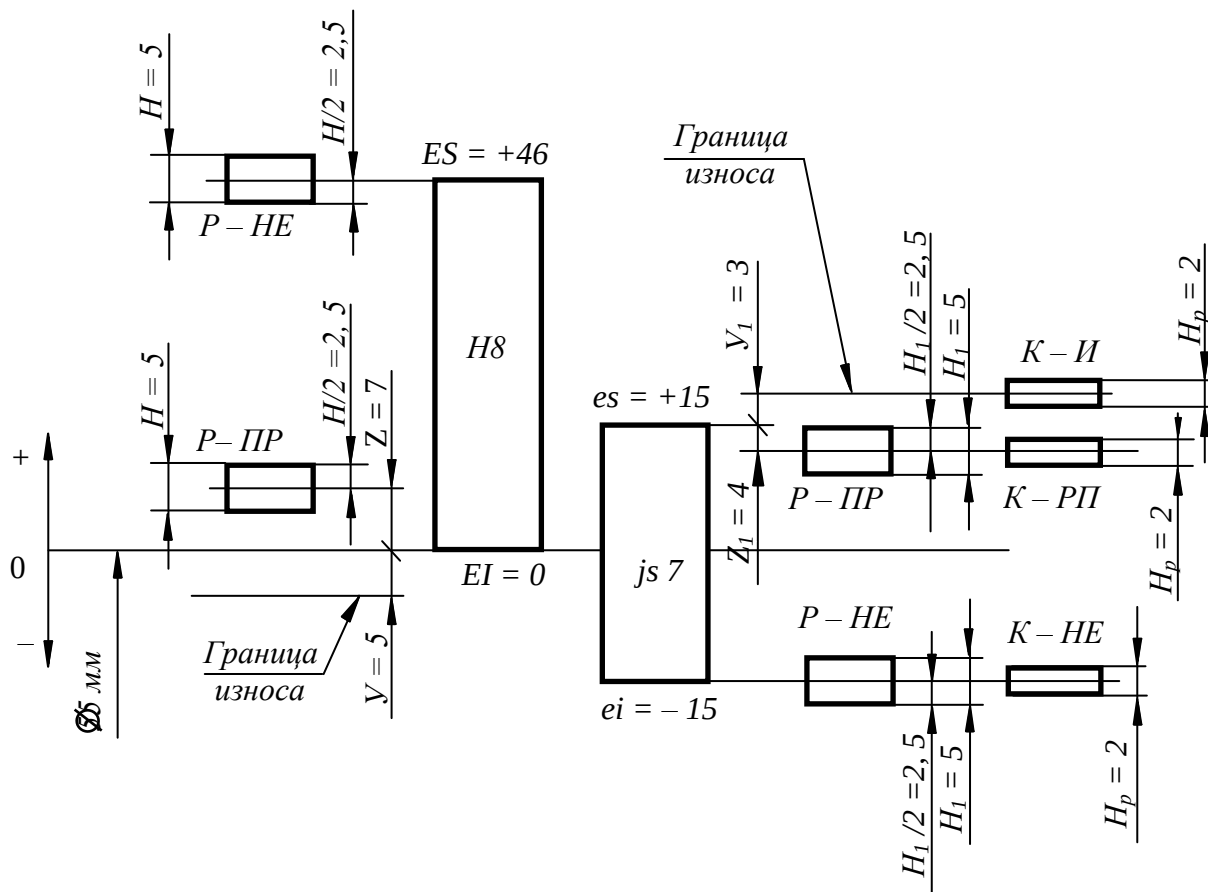


Рис. 4.17. Схемы полей допусков калибров для контроля деталей соединения $\varnothing 55 H8/js7$

– По табл. 4.17 для отверстия $\varnothing 55 H8$ определяем значения допусков и координат средин полей допусков калибров-пробок: $H = 5$ мкм, $Z = 7$ мкм, $Y = 5$ мкм; калибров-скоб и контракалибров к ним: $H_1 = 5$ мкм, $Z_1 = 4$ мкм, $Y_1 = 3$ мкм, $H_p = 2$ мкм.

– Строим схемы расположения полей допусков калибров (см. рис. 4.17).

– Рассчитываем предельные размеры отверстия и вала:

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

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

– Рассчитываем предельные и исполнительные размеры калибров-пробок (см. табл. 4.19):

наибольший размер проходного нового калибра-пробки

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

наименьший размер проходного нового калибра-пробки

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

наименьший размер изношенного проходного калибра-пробки

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

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

Наибольший размер непроходного нового калибра-пробки

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

Наименьший размер непроходного нового калибра-пробки

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

Исполнительные размеры калибров-пробок:

проходной – 55,0095_{-0,005} мм, округленный – 55,010_{-0,005} мм;

непроходной – 55,0485_{-0,005} мм, округленный – 55,048_{-0,005} мм.

– Рассчитываем предельные и исполнительные размеры калибров-скоб:

наименьший размер проходного нового калибра-скобы

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

наибольший размер проходного нового калибра-скобы

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

наибольший размер изношенного проходного калибра-скобы

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

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

Наибольший размер непроходного калибра-скобы

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

Наименьший размер непроходного калибра-скобы

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

Исполнительные размеры калибров-скоб:

проходной – 55,0085^{+0,005} мм, округленный – 55,008^{+0,005} мм;

непроходной – 54,9825^{+0,005} мм, округленный – 54,983^{+0,005} мм.

Контрольные вопросы

1. Дайте определение понятиям: измерение, точность измерения, погрешность измерения, метрологическое обеспечение, единство измерений.
2. Каковы назначение, основная цель и задачи ГСИ? Из каких подсистем состоит ГСИ?
3. Каковы задачи Росстандарта?
4. Какие международные метрологические организации Вы знаете?
5. Какие сферы деятельности подлежат государственному контролю и надзору?
6. В каких случаях органы ГМС проводят поверку СИ?
7. Назовите объекты государственного метрологического надзора.
8. Дайте определение ФВ. Как обозначается размерность ФВ? Что такое размер ФВ?
9. Приведите основное уравнение измерения.
10. Дайте определение шкалы ФВ. Назовите основные типы шкал.
11. Дайте определение системы единиц ФВ.
12. Назовите основные единицы международной системы единиц ФВ.
13. В чем заключается воспроизведение единицы ФВ?
14. Что такое эталон единицы ФВ? Какими признаками должен обладать эталон?
15. Назовите основные виды эталонов.
16. Что такое поверка СИ? Для чего предназначена поверочная схема?
17. Какие соотношения используют между допускаемыми погрешностями образцового (эталона) и поверяемого СИ?
18. Назовите виды поверок.
19. Что такое калибровка СИ? В чем отличие понятий калибровки и поверки?
20. Каковы назначение, цель и задачи Российской системы калибровки?
21. Сформулируйте основные аксиомы метрологии.
22. Дайте определение измерения ФВ.
24. Дайте определения основным видам и методам измерений.
25. Что такое контроль и чем он отличается от измерения?
26. Дайте определения и приведите примеры систематических и случайных погрешностей измерений, промахов.
27. Приведите формулы для определения абсолютной, относительной и приведенной погрешности измерения.
28. Назовите составляющие погрешности измерения геометрических параметров деталей.
29. Приведите основные методы исключения систематических погрешностей.

30. Приведите количественные оценки случайных погрешностей измерений.
31. Что такое доверительный интервал результата измерений?
32. Назовите критерии для исключения промахов.
33. Назовите основные характеристики погрешностей измерения, область их применения.
34. Назовите правила округления результатов измерений.
35. Приведите методику обработки многократных прямых равноточных измерений.
36. В каком виде представляются результаты многократных измерений?
37. Назовите условия, при которых возможны однократные измерения.
38. Приведите возможную форму записи результата однократного измерения.
39. Дайте определение СИ. Назовите основные виды СИ.
40. Назовите основные метрологические характеристики СИ.
41. В чем отличие нормальных и рабочих условий выполнения измерений?
42. Что определяет класс точности СИ?
43. Какие факторы учитывают при выборе СИ?
44. Что понимают под приемочными границами?
45. Каким образом осуществляют контроль валов и отверстий с помощью предельных калибров?
47. Для чего используют контрольные калибры?

Глава 5. ОСНОВЫ ПОДТВЕРЖДЕНИЯ СООТВЕТСТВИЯ

5.1. Сущность и содержание подтверждения соответствия

5.1.1. Термины и определения

Определение сертификации (от лат. *sertum* – верно и *facere* – делать) впервые разработано специальным Комитетом ИСО по вопросам сертификации СЕРТИКО (теперь КАСКО) и включено в Руководство №2 ИСО (ИСО/МЭК 2) версии 1982 г. «Общие термины и их определения в области стандартизации, сертификации и аккредитации испытательных лабораторий». В соответствии с этим Руководством «сертификация соответствия представляет собой действие, удостоверяющее посредством сертификата соответствия или знака соответствия, что изделие или услуга соответствует определенным стандартам или другому нормативно-техническому документу».

В дальнейшем определение сертификации скорректировали: под сертификацией соответствия стали понимать действие третьей стороны, доказывающее, что обеспечивается необходимая уверенность в том, что должным образом идентифицированная продукция, процесс или услуга соответствует конкретному стандарту или другому нормативному документу.

Термин «оценка соответствия» является более общим и универсальным, чем термин «сертификации», так как в настоящее время сертификация перестала быть единственной формой этой деятельности.

Оценка соответствия включает такие виды деятельности как испытания, контроль, подтверждение соответствия, а также аккредитацию органов по оценке соответствия.

Основополагающим документом РФ в области сертификации до 1 июля 2002 г. являлся закон «О сертификации продукции и услуг» от 10 июня 1993 г. Расширение международного сотрудничества России предъявляет новые требования к подтверждению соответствия товаров и услуг, отраженные в ФЗ «О техническом регулировании».

В этом законе приведены следующие термины и определения соответствующие стандарту ИСО/МЭК 17000:2004:

«аккредитация – официальное признание органом по аккредитации компетентности физического или юридического лица выполнять работы в определенной области оценки соответствия»;

«декларирование соответствия – форма подтверждения соответствия продукции требованиям технических регламентов;

декларация о соответствии – документ, удостоверяющий соответствие выпускаемой в обращение продукции требованиям технических регламентов;

заявитель – физическое или юридическое лицо, которое для подтверждения соответствия принимает декларацию о соответствии или обращается за получением сертификата соответствия, получает сертификат соответствия;

знак обращения на рынке – обозначение, служащее для информирования приобретателей о соответствии выпускаемой в обращение продукции требованиям технических регламентов;

знак соответствия – обозначение, служащее для информирования приобретателей о соответствии объекта сертификации требованиям системы добровольной сертификации или национальному стандарту»;

«идентификация продукции – установление тождественности характеристик продукции ее существенным признакам»;

«орган по сертификации – юридическое лицо или индивидуальный предприниматель, аккредитованные в установленном порядке для выполнения работ по сертификации;

оценка соответствия – прямое или косвенное определение соблюдения требований, предъявляемых к объекту;

подтверждение соответствия – документальное удостоверение соответствия продукции или иных объектов, процессов проектирования (включая изыскания), производства, строительства, монтажа, наладки, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации, выполнения работ или оказания услуг требованиям технических регламентов, положениям стандартов, сводов правил или условиям договоров»;

«сертификация – форма осуществляемого органом по сертификации подтверждения соответствия объектов требованиям, положениям стандартов, сводов правил или условиям договоров;

сертификат соответствия – документ, удостоверяющий соответствие объекта требованиям технических регламентов, положениям стандартов, сводов правил или условиям договоров;

система сертификации – совокупность правил выполнения работ по сертификации, ее участников и правил функционирования системы сертификации в целом»;

«схема подтверждения соответствия – перечень действий участников подтверждения соответствия, результаты которых рассматриваются ими в качестве доказательств соответствия продукции и иных объектов установленным требованиям»;

«форма подтверждения соответствия – определенный порядок документального удостоверения соответствия объектов технического регулирования требованиям технических регламентов, положениям стандартов или условиям договоров».

5.1.2. Цели и принципы подтверждения соответствия

Цели подтверждения соответствия одинаковы для всех объектов технического регулирования независимо от того, в какой форме осуществляется это подтверждение, и формулируются в ФЗ «О техническом регулировании»:

«Подтверждение соответствия осуществляется в целях:

удостоверения соответствия продукции, процессов, работ, услуг или иных объектов техническим регламентам, стандартам, сводам правил, условиям договоров;

содействия приобретателям в компетентном выборе продукции, работ, услуг;

повышения конкурентоспособности продукции, работ, услуг на российском и международном рынках;

создания условий для обеспечения свободного перемещения товаров по территории Российской Федерации, а также для осуществления международного экономического, научно-технического сотрудничества и международной торговли».

«Подтверждение соответствия осуществляется на основе принципов:

доступности информации о порядке осуществления подтверждения соответствия заинтересованным лицам;

недопустимости применения обязательного подтверждения соответствия к объектам, в отношении которых не установлены требования технических регламентов;

установления перечня форм и схем обязательного подтверждения соответствия в отношении определенных видов продукции в соответствующем техническом регламенте;

уменьшения сроков осуществления обязательного подтверждения соответствия и затрат заявителя;

недопустимости принуждения к осуществлению добровольного подтверждения соответствия, в том числе в определенной системе добровольной сертификации;

защиты имущественных интересов заявителей, соблюдения коммерческой тайны в отношении сведений, полученных при осуществлении подтверждения соответствия;

недопустимости подмены обязательного подтверждения соответствия добровольной сертификацией».

«Подтверждение соответствия разрабатывается и применяется равным образом и в равной мере независимо от страны и (или) места происхождения продукции, осуществления процессов, выполнения работ и оказания услуг, видов или особенностей сделок и (или) лиц, которые являются изготовителями, исполнителями, продавцами, приобретателями».

5.1.3. Формы подтверждения соответствия

Подтверждение соответствия на территории Российской Федерации может носить добровольный или обязательный характер.

Причем добровольное подтверждение соответствия осуществляется только в форме добровольной сертификации, а обязательное – как в форме принятия декларации о соответствии, так и в форме обязательной сертификации (рис. 5.1).

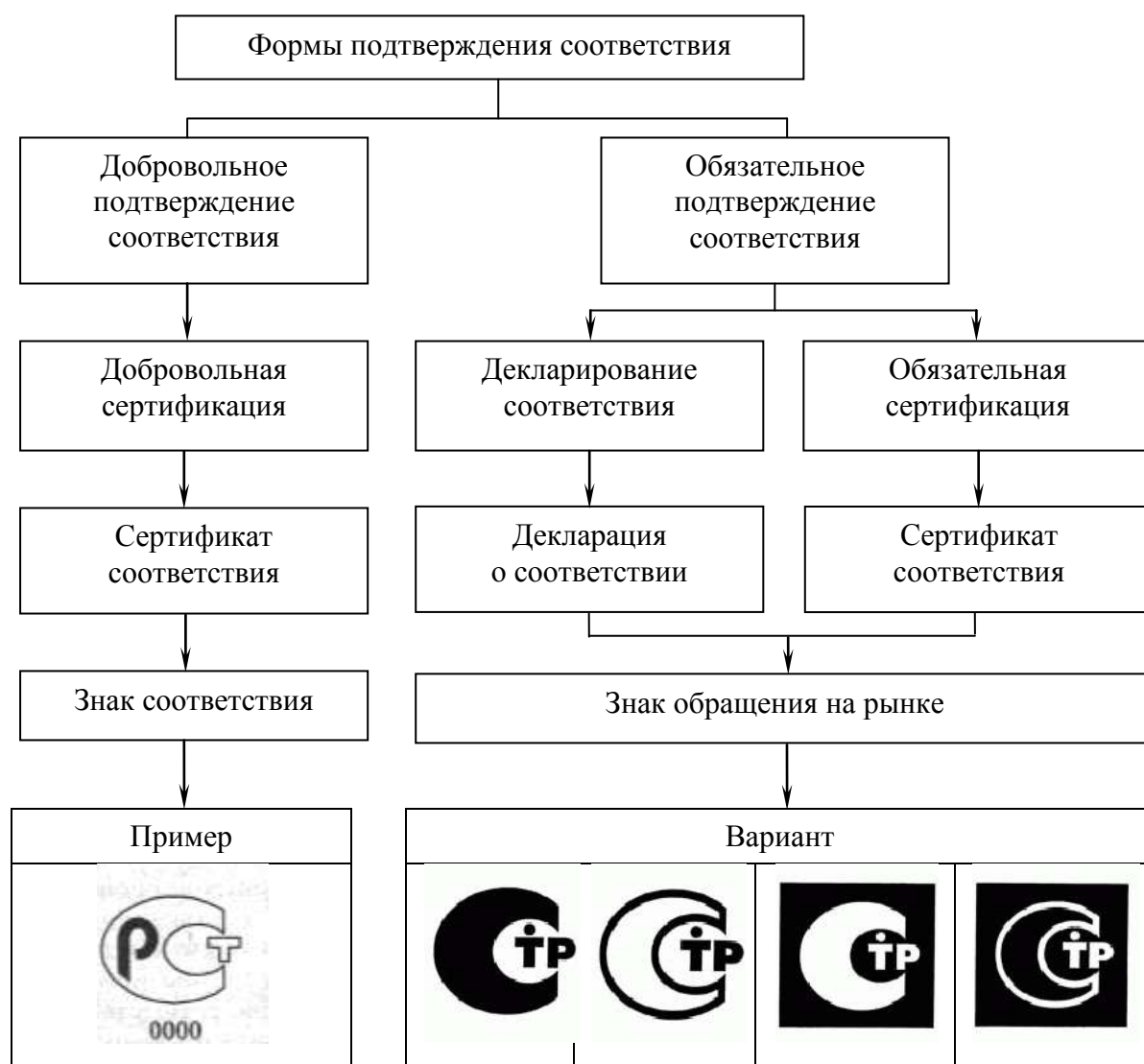


Рис. 5.1. Формы подтверждения соответствия

Добровольное подтверждение соответствия осуществляется по инициативе заявителя для установления соответствия объектов технического регулирования национальным стандартам, стандартам организаций, сводам правил, системам сертификации, условиям договоров.

Объектами добровольного подтверждения соответствия являются «продукция, процессы производства, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации, рабо-

ты и услуги, а также иные объекты, в отношении которых стандартами, системами добровольной сертификации и договорами устанавливаются требования».

Добровольное подтверждение соответствия проводится на условиях договора между заявителем и органом по сертификации.

«Система добровольной сертификации может быть создана юридическим лицом и (или) индивидуальными предпринимателями.

Лицо или лица, создавшие систему добровольной сертификации, устанавливают перечень объектов, подлежащих сертификации, и их характеристик, на соответствие которым осуществляется добровольная сертификация, правила выполнения предусмотренных данной системой сертификации работ и порядок их оплаты, определяют участников данной системы сертификации. Системой добровольной сертификации может предусматриваться применение знака соответствия».

Система добровольной сертификации может быть зарегистрирована федеральным органом исполнительной власти по техническому регулированию, который ведет единый реестр зарегистрированных систем добровольной сертификации. Сведения о зарегистрированных системах добровольной сертификации доступны всем заинтересованным лицам.

Добровольная сертификация может также проводится органами обязательной сертификации, входящими в систему обязательной сертификации, если это предусмотрено ее правилами и при наличии в системе знака соответствия добровольной сертификации, зарегистрированного в установленном порядке.

Объекты сертификации, сертифицированные в системе добровольной сертификации, могут маркироваться *знаком соответствия* системы добровольной сертификации (см. рис. 5.1). Порядок применения такого знака соответствия устанавливается правилами соответствующей системы добровольной сертификации.

Применение знака соответствия национальному стандарту осуществляется заявителем на добровольной основе любым удобным для заявителя способом в порядке, установленном национальным органом по стандартизации.

Обязательное подтверждение соответствия проводится только в случаях установленных соответствующими ТР, и исключительно на соответствие требованиям ТР.

Объектом обязательного подтверждения соответствия может быть только продукция, выпускаемая в России.

Форма и схемы обязательного подтверждения соответствия могут устанавливаться только ТР с учетом степени риска недостижения целей ТР.

Декларация о соответствии и сертификат соответствия имеют равную юридическую силу независимо от схем обязательного подтверждения соответствия и действуют на всей территории Российской Федерации.

Декларирование соответствия может быть осуществлено по одной из следующих схем:

- принятие декларации о соответствии на основании собственных доказательств (схема 1);

- принятие декларации о соответствии на основании собственных доказательств и доказательств третьей стороны (в качестве третьей стороны может выступать орган по сертификации и (или) аккредитованная испытательная лаборатория (центр)) (схема 2).

При декларировании соответствия на основании собственных доказательств заявитель самостоятельно формирует материалы, содержащие доказательства соответствия продукции требованиям ТР. В качестве таких материалов могут быть использованы: техническая документация, результаты собственных исследований (испытаний) и измерений и (или) другие документы. Состав доказательных материалов определяется соответствующим ТР.

При декларировании соответствия по схеме 2 заявитель в дополнение к собственным доказательствам по своему выбору включает в доказательные материалы: протоколы исследований (испытаний) и измерений, проведенных в аккредитованной испытательной лаборатории (центре), и (или) предоставляет сертификат системы менеджмента качества (СМК), в отношении которой предусматривается контроль (надзор) органа по сертификации, выдавшего данный сертификат, за объектом сертификации (за исключением случаев, в которых ТР предусматривает иную форму подтверждения соответствия).

Выбор схемы декларирования зависит от ряда факторов, к которым можно отнести [12]:

- степень потенциальной опасности продукции;
- чувствительность показателей безопасности к изменению производственных и (или) эксплуатационных факторов;
- степень сложности продукции;
- другие факторы.

В ФЗ «О техническом регулировании» говорится о том, что схема декларирования соответствия с участием третьей стороны устанавливается в ТР в случае, если отсутствие третьей стороны приводит к недостижению целей подтверждения соответствия.

При декларировании соответствия заявителем может быть юридическое лицо или физическое лицо в качестве индивидуального предпринимателя, являющиеся либо изго-

товителем или продавцом, либо выполняющие функции иностранного изготовителя на основании договора с ним.

Круг заявителей устанавливается соответствующим ТР.

Форма декларации о соответствии утверждается федеральным органом исполнительной власти по техническому регулированию.

Оформленная заявителем декларация соответствия, содержащая сведения о заявителе и изготовителе, информацию об объекте декларирования, наименование ТР, на соответствие требованиям которого подтверждается продукция, указание схемы декларирования соответствия и др. сведения, регистрируется в едином реестре деклараций в течение трех дней.

Срок действия декларации о соответствии определяется соответствующим ТР.

Обязательная сертификация осуществляется органом по сертификации на основании договора с заявителем. Схемы сертификации, применяемые для сертификации определенных видов продукции, устанавливаются соответствующим ТР.

Соответствие продукции требованиям ТР подтверждается сертификатом соответствия, выдаваемым заявителю органом по сертификации.

Сертификат соответствия содержит:

- наименование и местонахождение заявителя;
- наименование и местонахождение изготовителя продукции, прошедшей сертификацию;
- наименование и местонахождение органа по сертификации, выдавшего сертификат соответствия;
- информацию об объекте сертификации, позволяющую идентифицировать этот объект;
- наименование ТР, на соответствие требованиям которого проводилась сертификация;
- информацию о проведенных исследованиях (испытаниях) и измерениях;
- информацию о документах, представленных заявителем в орган по сертификации в качестве доказательств соответствия продукции требованиям ТР;
- срок действия сертификата соответствия (определяется соответствующим ТР).

Обязательная сертификация осуществляется органом по сертификации, аккредитованным в порядке, установленном Правительством РФ. Орган по сертификации выполняет следующие функции:

– привлекает на договорной основе для проведения исследований (испытаний) и измерений испытательные лаборатории (центры), аккредитованные в порядке установленном Правительством РФ;

– осуществляет контроль за объектами сертификации, если такой контроль предусмотрен соответствующей схемой обязательной сертификации и договором;

– ведет реестр выданных им сертификатов соответствия;

– информирует соответствующие органы государственного контроля (надзора) за соблюдением требований ТР о продукции, поступившей на сертификацию, но не прошедшей ее;

– выдает сертификаты соответствия, приостанавливает или прекращает действие выданных им сертификатов соответствия и информирует об этом федеральный орган исполнительной власти, организующий формирование и ведение единого реестра сертификатов соответствия, и органы государственного контроля (надзора) за соблюдением требований ТР;

– обеспечивает предоставление заявителям информации о порядке проведения обязательной сертификации;

– определяет стоимость работ по сертификации, выполняемых по договору с заявителем;

– в порядке, установленном соответствующим ТР, принимает решение о продлении срока действия сертификата соответствия, в том числе по результатам проведенного контроля за сертифицированными объектами.

Исследования (испытания) и измерения продукции при осуществлении обязательной сертификации проводятся аккредитованными испытательными лабораториями (центрами).

Продукция, соответствие которой требованиям ТР подтверждено в порядке, предусмотренном ФЗ «О техническом регулировании», маркируется знаком обращения на рынке (см. рис. 5.1). Изображение знака обращения на рынке устанавливается Правительством РФ. Этот знак не является специальным защищенным знаком и наносится в информационных целях.

Маркировка знаком обращения на рынке осуществляется заявителем любым удобным для него способом.

Продукция, соответствие которой требованиям ТР не подтверждено в порядке, установленном ФЗ «О техническом регулировании», не может быть маркирована знаком обращения на рынке.

5.1.4. Законодательная и нормативная базы подтверждения соответствия в России

Первым законодательным актом в области сертификации, принятым в России является ФЗ «О защите прав потребителей», предусматривающий, что товары (работы, услуги) на которые в законодательных актах или стандартах установлены требования, направленные на обеспечение безопасности жизни, здоровья потребителей и охраны окружающей среды, предотвращающие причинение вреда имуществу потребителей, и средства, обеспечивающие безопасность жизни и здоровья потребителей, подлежат обязательной сертификации. ФЗ вступил в силу с 1 мая 1992 г.

Структура современной законодательной и нормативной базы сертификации показана на рис. 5.2.



Рис. 5.2. Структура законодательной и нормативной базы сертификации [19]

5.2. Порядок проведения сертификации продукции

Проведение сертификации возможно только в рамках какой-либо системы добровольной или обязательной сертификации, признанной всеми ее участниками и зарегистрированной в обязательном порядке.

Определение системы сертификации дает ФЗ «О техническом регулировании» (см. п. 5.1.1), а типовая структура системы сертификации показана на рис. 5.3.

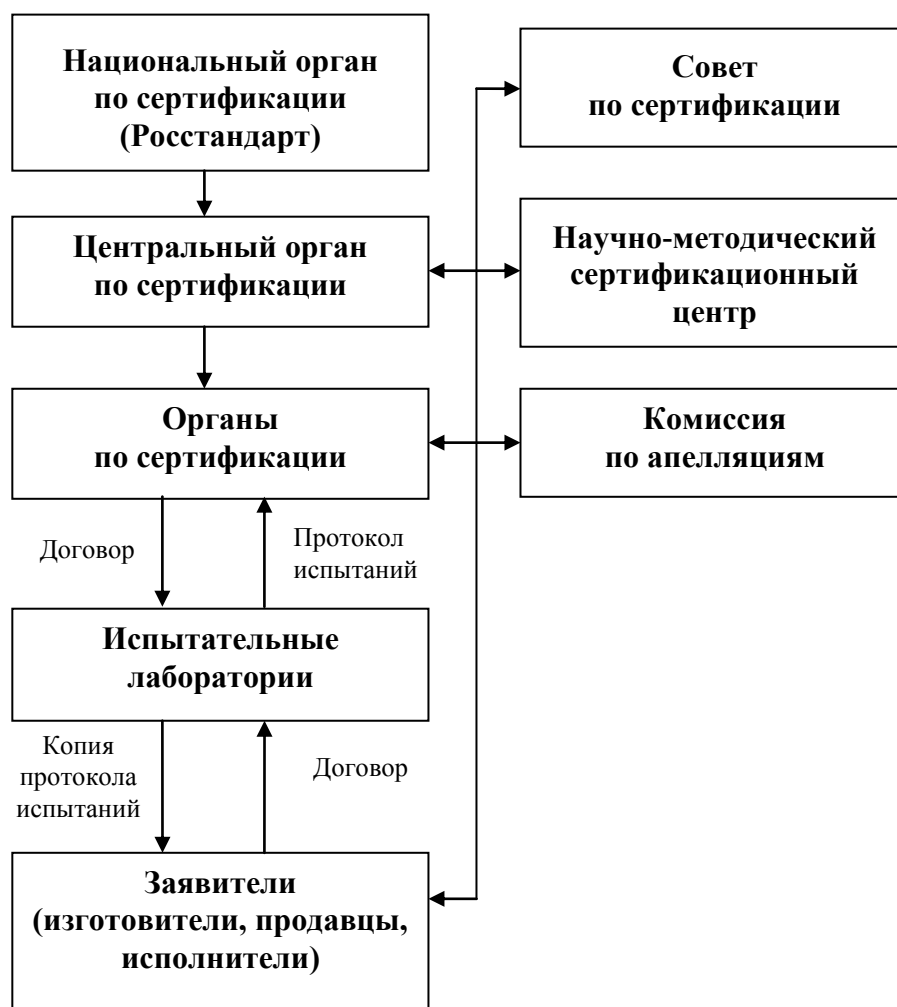


Рис. 5.3. Типовая структура взаимодействия участников системы сертификации [19]

Национальный орган по сертификации – Росстандарт, осуществляет свою деятельность как национальный орган по сертификации на основе прав, обязанностей и ответственности, предусмотренных действующим законодательством РФ, и как федеральный орган исполнительной власти, осуществляющий организацию и проведение работ по обязательной сертификации в соответствии с законодательными актами РФ.

Центральный орган по сертификации организует разработку систем (правил, порядков) сертификации однородной продукции, подготавливает предложения по номенклатуре продукции, подтверждающей обязательной сертификации в РФ, участвует в аккреди-

тации органов по сертификации и испытательных лабораторий, рассматривает апелляции, касающиеся деятельности органов по сертификации и испытательных лабораторий и т.д. [9]. Функции центрального органа по сертификации в Системе сертификации ГОСТ Р возложены на Всероссийский научно-исследовательский институт сертификации (ВНИИС).

Орган по сертификации – орган, проводящий сертификацию соответствия и являющийся третьей стороной, независимой от производителя и потребителя.

Орган по сертификации – это официально признанные путем аккредитации на компетентность и независимость организация или индивидуальный предприниматель, которые имеют право выполнять сертификацию однородной продукции в определенной области аккредитации. Область аккредитации устанавливается в соответствии с номенклатурой сертифицируемой продукции и нормативными документами, применяемыми при сертификации.

Если организация или индивидуальный предприниматель претендуют на аккредитацию в качестве органа по сертификации, они должны отвечать следующим требованиям:

- быть третьей стороной;
- быть технически компетентными в области сертификации в заявляемой области;
- иметь необходимые средства и документированные процедуры;
- располагать квалифицированным, специально обученным персоналом;
- обладать актуализированным фондом соответствующих стандартов и других нормативных документов;
- обеспечивать не только сертификацию и испытания, но и инспекционный контроль за сертифицированной продукцией.

Испытательная лаборатория осуществляет испытания конкретной продукции или конкретные виды испытаний и выдает протоколы испытаний для целей сертификации.

Основные требования, предъявляемые к испытательным лабораториям: независимость, беспристрастность, неприкосновенность и техническая компетентность. *Независимость* определяется статусом третьего лица. *Беспристрастность* выражается в деятельности при проведении испытаний, принятии решений по их результатам и оформлении протоколов испытаний. *Неприкосновенность* заключается в том, что испытательные лаборатории и их персонал не должны подвергаться коммерческому или другому давлению, способному оказать влияние на выводы или оценки. *Техническая компетентность* подтверждается соответствующей структурой организации, процедурами управления, наличием квалифицированного персонала, помещений и оборудования для испытаний, нормативных документов на методы испытаний и процедуры.

Системы сертификации услуг и СМК не предполагают участия испытательных лабораторий в процессе сертификации; всю практическую деятельность по оценке соответствия в них осуществляют органы по сертификации.

Совет по сертификации формируется центральным органом по сертификации по каждому направлению техники на основе добровольного участия из представителей Росстандарта, центрального органа по сертификации, министерств и ведомств, органов по сертификации, испытательных лабораторий, изготовителей сертифицируемой продукции, а также представителей общественных организаций.

Совет по сертификации анализирует функционирование систем, подготавливает рекомендации по их совершенствованию и содействует их реализации; содействует распространению информации об общих направлениях деятельности участников систем, их состоянии и развитии и выполняет некоторые другие функции. Совет по сертификации не может вмешиваться в деятельность других участников сертификации.

Научно-методический центр создается при Центральном органе, как правило, на базе одного из органов по сертификации.

Комиссия по апелляциям формируется центральным органом по сертификации для рассмотрения жалоб и решения спорных вопросов возникших при проведении сертификации.

К настоящему времени в России зарегистрировано множество систем сертификации, возглавляемых различными федеральными органами исполнительной власти. Перечень некоторых российских систем обязательной сертификации приведен ниже [18]:

- система сертификации ГОСТ Р;
- система сертификации авиационной техники и объектов гражданской авиации;
- система сертификации на воздушном транспорте;
- система сертификации продукции и услуг в области пожарной безопасности;
- система сертификации на федеральном железнодорожном транспорте;
- федеральная система сертификации космической техники научного и народно-хозяйственного значения;
- система сертификации безопасности взрывоопасных производств;
- система сертификации морских гражданских судов;
- система сертификации "Электросвязь".

Самой крупной системой обязательной сертификации является *Система сертификации ГОСТ Р*. В Систему сертификации ГОСТ Р входят порядка 40 систем сертификации однородной продукции и услуг, около 900 аккредитованных органов по сертификации и около 2000 испытательных лабораторий [18]. В Системе сертификации ГОСТ Р

за рубежом аккредитовано несколько органов по сертификации и испытательных лабораторий. Наличие этих органов по сертификации и испытательных лабораторий способствует процессу сертификации продукции, ввозимой на территорию Российской Федерации из-за рубежа.

Подтверждение соответствия продукции требованиям ТР (декларирование или обязательная сертификация) осуществляют по рекомендованным *схемам подтверждения соответствия*, каждая из которых определяет действия сторон, участвующих в процессе подтверждения соответствия.

В ФЗ «О техническом регулировании» записано: «*Схемы сертификации, применяемые для сертификации определенных видов продукции, устанавливаются соответствующим ТР*». То же записано и относительно схем декларирования.

Установлены следующие схемы обязательного подтверждения соответствия:

- схемы декларирования – 1д, 2д, 3д, 4д, 5д, 6д, 7д;
- схемы сертификации – 1с, 2с, 3с, 4с, 5с, 6с, 7с.

Содержание и области применения схем обязательного подтверждения соответствия приведены в [12, 14].

Упомянутый ФЗ допускает возможность устанавливать для одной и той же продукции несколько схем декларирования и сертификации равнозначных по степени доказательства, что дает возможность заявителю выбрать наиболее приемлемую схему. Например, в ТР «О безопасности колесных транспортных средств» приведены разрешенные к использованию (в зависимости от типов продукции) 5 схем декларирования и 6 схем сертификации продукции.

Выбор схем обязательного подтверждения соответствия должен проводиться исходя из целей ТР на продукцию с учетом [1]:

- форм подтверждения соответствия;
- рисков, связанных со степенью опасности продукции и не достижения целей ТР;
- категорий заявителя (изготовителей, продавцов);
- распространения документа, подтверждающего соответствие (на выпускаемую серийно продукцию, партию или единицу продукции);
- чувствительности процесса производства продукции к влиянию внешних факторов.

В ТР на конкретную продукцию, содержащих перечень возможных схем обязательного подтверждения соответствия приведены и рекомендуемые области применения этих схем.

Основные этапы добровольной и обязательной сертификации одинаковы и не зависят от объекта сертификации. Анализ схем сертификации позволяет выделить 5 основных этапов [19] (рис. 5.4):

- 1) заявка на сертификацию;
- 2) оценка соответствия объекта сертификации установленным требованиям;
- 3) анализ результатов оценки соответствия;
- 4) решение по сертификации;
- 5) инспекционный контроль за сертифицированным объектом.



Рис. 5.4. Основные этапы процесса сертификации

Описание этапов сертификации продукции, систем качества, персонала, работ и услуг подробно изложены в [19] и другой учебной литературе.

5.3. Сертификация систем менеджмента качества

В последние годы широкое распространение получила добровольная сертификация СМК (или систем качества).

Система качества – это совокупность организационной структуры, методик, процессов и ресурсов, необходимых для осуществления общего руководства качеством на всех этапах его формирования [18].

Стандарты на системы управления качеством впервые были разработаны в Великобритании в 70-х годах XX в. В 1987 г. ИСО утвердила стандарты ИСО серии 9000, соответствие которым оценивали при сертификации СМК предприятий и организаций. Список последних стандартов этой серии приведен в табл. 5.1.

5.1. Стандарты серии ИСО 9000

Обозначение стандарта	Наименование	Назначение
ISO 9000:2005 (российский аналог ГОСТ ISO 9000-2011)	Основные положения и словарь	Гармонизация терминов и определений по менеджменту качества
ISO 9001:2008 (российский аналог ГОСТ ISO 9001-2011)	Системы менеджмента качества. Требования	Определение единых требований к процессам СМК на предприятиях и в организациях
ISO 9004:2009 (российский аналог ГОСТ Р ИСО 9004-2010)	Менеджмент для достижения устойчивого успеха организации. Подход на основе менеджмента качества	Рекомендации организациям любого типа по достижению устойчивого успеха путем использования подхода, основанного на менеджменте качества

Ниже приведены базовые принципы менеджмента качества, сформулированные в ГОСТ Р ИСО 9000-2011.

Ориентация на потребителя. Организации зависят от своих потребителей и поэтому должны понимать их текущие и будущие потребности, выполнять их требования и стремиться превзойти их ожидания.

Лидерство руководителя. Руководители обеспечивают единство цели и направления деятельности организации. Им следует создавать и поддерживать внутреннюю среду, в которой работники могут быть полностью вовлечены в решение задач организации.

Вовлечение работников. Работники всех уровней составляют основу организации, и их полное вовлечение дает возможность организации с выгодой использовать их способности.

Процессный подход. Желаемый результат достигается эффективнее, когда деятельностью и соответствующими ресурсами управляют как процессом.

Базовая модель процессного подхода к менеджменту качества в соответствии со стандартами ИСО серии 9000 показана на рис. 5.5.



Рис. 5.5. Модель системы менеджмента качества, основанной на процессном подходе (ГОСТ ISO 9000-11):

- — деятельность, добавляющая ценность;
- -> — поток информации

Системный подход к менеджменту. Выявление, понимание и менеджмент взаимосвязанных процессов как системы содействуют результативности и эффективности организации при достижении ее целей.

Постоянное улучшение. Постоянное улучшение деятельности организации в целом следует рассматривать как ее неизменную цель.

Принятие решений, основанное на фактах. Эффективные решения основываются на анализе данных и информации.

Взаимовыгодные отношения с поставщиками. Организация и ее поставщики взаимозависимы, и отношения взаимной выгоды повышают способность обеих сторон создавать ценности.

Многие годы в развитых странах с рыночным типом экономики уделяют усиленное внимание к так называемому всеобщему менеджменту качества (ВМК – TQM), предполагающему интегрированный подход к обеспечению качества, когда вся система менеджмента (руководители, процессы, информация, сотрудники и поставщики) работает на качество как единое целое.

В управлении качеством существенную роль играют самооценка, аудит и сертификация СМК [14. 18].

В 1995 г. Госстандарт принял программу работ по развитию сертификации СМК в РФ. Тогда же была создана и зарегистрирована в государственном реестре система сертификации систем качества и производств, получившая название «*Регистр систем качества*» (далее Регистр).

Регистр – это система добровольной сертификации, однако она является составной частью системы обязательной сертификации ГОСТ Р. Введение системы добровольной сертификации в Систему ГОСТ Р обусловлено известностью последней, в том числе и за рубежом. Основными направлениями деятельности Регистра являются [18]: сертификация СМК; сертификация производств; инспекционный контроль за сертифицированными СМК и производствами; международное сотрудничество в интересах взаимного признания сертификатов на СМК.

В структуру Регистра входят: технический центр Регистра, совет по сертификации, комиссия по апелляциям, научно-методический центр Регистра, органы по сертификации СМК и производств [18].

Организационно-практическая деятельность в рамках Регистра базируется на национальных стандартах:

- ГОСТ Р 40.002–2000 «Система сертификации ГОСТ Р. Регистр систем качества»;
- ГОСТ Р 40.003–2008 «Система сертификации ГОСТ Р. Порядок проведения сертификации систем качества и сертификации производств»;

В качестве нормативных документов при оценке соответствия СМК используют национальные стандарты, приведенные в табл. 5.1.

Последовательность сертификации СМК показана на рис. 5.4.

5.4. Сертификация производств

Сертификация производств представляет собой действие третьей стороны, направленное на доказательство того, что соответствующим образом идентифицированное производство обеспечивает стабильность качественных характеристик продукции, услуг или работ, установленных в нормативных документах. Сертификация производства может являться самостоятельной процедурой или составной частью сертификации СМК.

При сертификации производства оценивают следующие объекты [18]:

- продукцию предприятия (оценивают качество продукции в сфере реализации и потребления, анализируют обнаруженные дефекты);
- технологию производства (ТП, процессы транспортировки, хранения, упаковки);
- технический контроль и испытания (входной, операционный, приемочный контроль, все виды испытаний);
- техническое обслуживание и ремонт оборудования;
- поверку контрольно-измерительных приборов.

Основными этапами сертификации производств являются: подача заявки на сертификацию, предварительная оценка исходных материалов; составление программы сертификации; проверка производства и оформление акта проверки; оформление сертификата соответствия; инспекционный контроль за сертифицированным производством.

5.5. Сертификация персонала

Добровольная сертификация персонала необходима для установления соответствия компетентности специалистов в той или иной области деятельности требованиям, предъявляемым к их работе. Интенсивное развитие производства и услуг требует от специалистов знаний новых техники и технологий, программного обеспечения и нормативных документов. В связи с этим возникает необходимость оценки соответствия специалистов установленным в данный момент требованиям. Такую оценку – объективную и независимую, обеспечивает сертификация специалистов (персонала). При этом требования к специалистам и порядок оценки соответствия устанавливаются все заинтересованные стороны. Так, например, сертификацию оценщиков автотранспорта в Германии инициировали страховые компании, банки и общества оценщиков. При обязательном страховании автомобилей качество оценки стоимости автомобиля или его повреждения непосредственно связано с экономическими интересами этих структур. Сертифицированный по общепринятым правилам оценщик признается всеми участниками названного процесса [19].

Есть различие между аттестацией персонала и его сертификацией. *Аттестацию персонала* проводит работодатель с целью определения квалификации работника и проверки его соответствия занимаемой должности.

Сертификацию персонала проводит третья сторона – орган по сертификации с целью установления уровня подготовки, профессиональных знаний, навыков и опыта работника (специалиста) для подтверждения его возможности надлежащим образом осуществлять конкретные действия в определенной сфере деятельности.

В Российской Федерации в настоящее время действует система сертификации компетентности персонала, являющегося экспертами по сертификации продукции, СМК, производств, услуг, по аккредитации испытательных и измерительных лабораторий и органов по сертификации [19]. Практика функционирования обязательной системы сертификации ГОСТ Р показала, что ее эффективность во многом зависит от компетентности экспертов, непосредственно влияющей на принятие решений о допуске безопасной продукции на потребительский рынок.

Последовательность сертификации персонала приведена на рис. 5.4.

После подачи заявки в орган по сертификации специалист получает комплект документов для заполнения. Эти документы необходимы органу для предварительной оценки возможности сертификации и содержат сведения об образовании специалиста, опыте работы в специальной области, физической пригодности и некоторые другие данные. Кроме того орган по сертификации может запросить отчеты о работе в рассматриваемой области, подготовленные специалистом в последнее время.

После положительного решения по предварительной экспертизе представленных документов с заявителем заключается договор, в котором указываются порядок проведения и сроки сертификационного экзамена, а также условия оплаты. Экзамен проводится в специальном, аккредитованном для этих целей, экзаменационном центре, который должен иметь необходимые площади, оборудование, документацию и персонал и быть независимым от структур обучения специалиста и органа по сертификации. Теоретическую часть экзамена сдают в письменной или (и) устной формах. Практическая часть экзамена должна имитировать профессиональную деятельность сертифицируемого специалиста. Результаты экзамена сообщаются заявителю после обсуждения и утверждения протокола экзамена в органе по сертификации.

Завершается сертификация специалиста оформлением сертификата соответствия (при положительном решении по результатам экзамена) или отказом в выдаче сертификата (если результаты экзамена окажутся неудовлетворительными).

5.6. Сертификация работ и услуг

Услуга – это результат непосредственного взаимодействия исполнителя и потребителя, а также собственной деятельности исполнителя по удовлетворению потребности потребителя [11].

Услуги разделяют на:

- материальные,
- нематериальные,
- производственные.

Под *материальной услугой* понимают деятельность ее исполнителя по удовлетворению материальных нужд потребителя. Результатом материальной услуги является, как правило, преобразованная продукция. Например, отремонтированный автомобиль (услуги по ремонту автомобилей), сшитая вещь (услуги пошива изделий), проданный товар (услуги торговли) и т.п.

Нематериальная или *социально-культурная услуга* – это деятельность исполнителя услуги по удовлетворению социально-культурных нужд потребителя. Объектом такой услуги является собственно потребитель. Например, пациент клиники (медицинские услуги); турист (туристические услуги); пассажир (услуги пассажирского транспорта); посетитель ресторана (услуги общественного питания), бассейна (услуги физической культуры), бани (услуги бань) и др.

Производственная услуга – это услуга по удовлетворению нужд предприятий и организаций. Понятие этой услуги выражается через термин «работа». Например, научно-исследовательская, опытно-конструкторская и технологическая работы; наладочные и пусковые эксплуатационные работы и т.п. Соответствующие процессы называют «выполнением работ», «оказанием услуг».

Объектами сертификации в сфере услуг могут быть:

- услуга;
- организация, предоставляющая услугу;
- персонал, выполняющий услугу;
- производственный процесс;
- СМК в организации, предоставляющей услуги.

В системе ГОСТ Р аккредитировано более 200 органов по сертификации услуг [11].

В качестве нормативной базы сертификации услуг применяют международные, региональные и национальные стандарты, действующие санитарно-гигиенические нормы и

правила, а также нормативные документы, утверждаемые органами государственного управления для конкретных видов услуг.

Добровольная сертификация работ и услуг осуществляется в той же последовательности, что и сертификация продукции (см. рис. 5.4).

При проверке результатов работ и услуг кроме инструментальных и лабораторных методов используются *экспертные* методы и *социологические опросы* (оценка качества услуги через опрос клиентов; дегустация блюд; контроль знаний обучающихся и др.)

5.7. Сертификация на соответствие экологическим требованиям

Сертификация на соответствие экологическим требованиям – одно из актуальных направлений сертификации, активно развивающееся в настоящее время. В этом случае проверке соответствия может подвергаться не только продукция, но и системы экологического управления (СЭУ) предприятия в целом.

СЭУ в стандартах ИСО 14000 определяется как составная часть общей системы административного управления предприятием. Она должна служить целям управления охраной окружающей среды в процессе хозяйственной деятельности предприятия или на всех стадиях жизненного цикла продукции.

Порядок проведения сертификации СЭУ на соответствие ИСО 14001 (ГОСТ Р ИСО 14001-2007) аналогичен процессу сертификации СМК по ИСО 9001. В настоящее время технические комитеты приступили к созданию стандарта по проведению совместной (одновременной) сертификации СМК и СЭУ.

Основные объекты проверки при сертификации СЭУ [19]:

- деятельность по обеспечению, управлению и улучшению охраны окружающей среды в организации в соответствии с требованиями ГОСТ Р ИСО 14001–2007;
- технологические этапы производства, при которых возможно появление продуктов, вызывающих загрязнение или оказывающих вредное воздействие на окружающую среду непосредственно своим появлением или за счет увеличения концентрации выбросов (сбросов) за определенный интервал времени;
- экологичность продукции на этапах маркетинга, разработки, изготовления, потребления и утилизации.

В РФ Система экологической сертификации была создана в 1996 г. Экологическая сертификация в этой Системе проводится как в обязательной, так и добровольной формах [19].

Обязательной сертификации в системе подлежат объекты, которые в соответствии с действующим законодательством должны отвечать требованиям по охране окружающей

среды, обеспечению экологической безопасности и сохранению биологического разнообразия. К таким объектам относятся [19]:

- системы управления охраной окружающей среды, регламентируемые международными стандартами, разрабатываемыми в ИСО/ТК 207 «Управление охраной окружающей среды», в котором Россия является активным членом.

- продукция, вредная для окружающей среды, включая озоноразрушающие вещества и содержащую их продукцию, предполагаемые к ввозу в РФ и вывозу из РФ, а также товары, ввозимые на таможенную территорию РФ;

- экологически вредные технологии, включая ввозимые на таможенную территорию РФ и используемые на промышленных и опытно-экспериментальных объектах предприятий и организаций оборонных отраслей промышленности;

- отходы производства и потребления, включая опасные и другие отходы, являющиеся объектом трансграничной перевозки, и деятельность в сфере обращения с отходами;

- виды животных и растений, их части или дериваты, подпадающие под действие Конвенции о международной торговле видами дикой фауны и флоры, находящимися под угрозой исчезновения, добытые в открытом море судами, плавающими под флагами РФ.

При положительных результатах проверки органы по сертификации выдают заявителям экологические сертификаты установленного образца и разрешение на право маркировки объектов сертификации знаком соответствия системы (рис. 5.6).



Рис. 5.6. Знак соответствия системы экологической сертификации

Добровольной сертификации могут быть подвергнуты другие объекты с учетом сложившейся международной и зарубежной практики.

5.8. Национальные системы сертификации

Ведущие экономические державы начали развивать процессы сертификации в 20-30-е годы XX в.

Общенациональная система сертификации в *Германии* включает несколько систем сертификации [11], в том числе перечисленные ниже.

Система A1 охватывает все виды продукции, на которую установлены требования в стандартах DIN (DIN – Германский институт стандартов) и является системой добровольной сертификации. К ней имеют одинаковый доступ как германские, так и зарубежные

организации, заинтересованные в сертификации своей продукции. Изделия, проверенные на соответствие стандартам DIN в системе маркируют знаком соответствия (рис. 5.7, а).

Система А2 – это система Союза электротехников (VDE), поддерживаемая Институтом сертификации и испытаний. В ней сертифицируют все виды электротехнических и электронных изделий, на которые распространяются правила VDE, а иногда – требования стандартов DIN. Сертификация в этой системе может быть и добровольной и обязательной.

Область распространения системы В (системы RAL) – сельскохозяйственные товары и строительные материалы. Система С – это система сертификации, подтверждающая соответствие изделий требованиям закона о безопасности приборов. Система Е действует в рамках законодательной метрологии. Сертификация в этой системе осуществляется и в обязательной, и в добровольной формах.

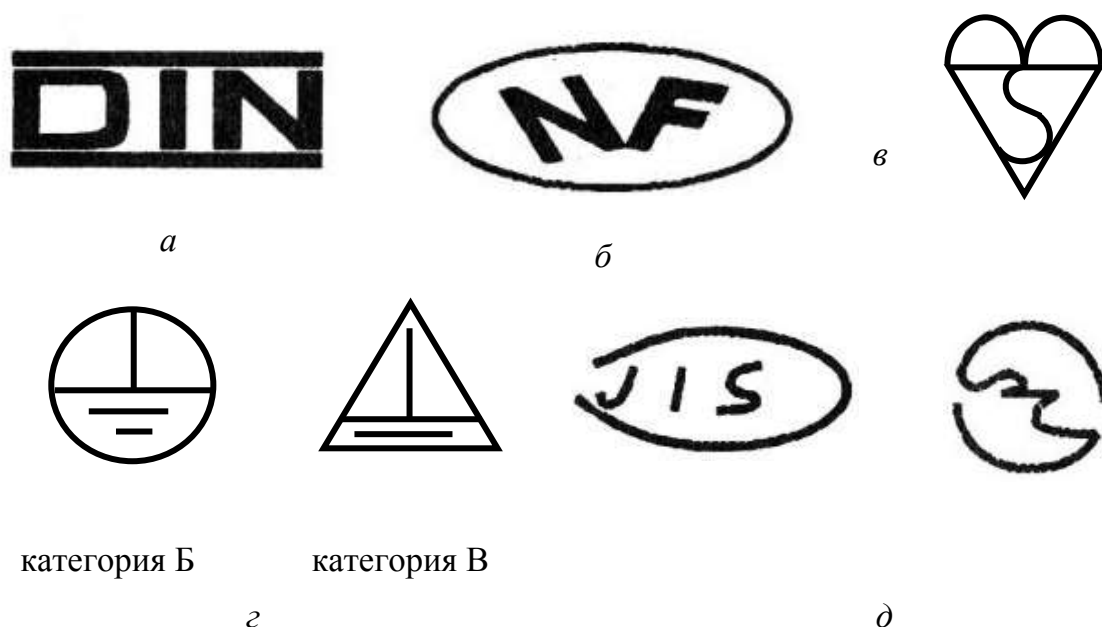


Рис. 5.7. Знаки соответствия зарубежных стран: а – Германии; б – Франции; в – Великобритании; г, д – Японии

Во Франции сертификация существует с 1939 г. В этом году был принят первый закон в этой области – закон о знаке соответствия (рис. 5.7, б) национальным стандартам NF, который с некоторыми дополнениями и изменениями действует и сегодня. Ответственность за общую организацию и руководство системой сертификации была возложена на Французскую ассоциацию по стандартизации AFNOR.

Сертификация на соответствие национальным стандартам построена по отраслевому принципу и является добровольной. Исключением является продукция медицинского направления (материалы, лекарства, оборудование), для которой испытания, в том числе

клинические, являются обязательными. Сертификация на знак NF осуществляется по строгой схеме, включающей испытания типового образца, сертификацию производства или СМК, контроль сертифицированных объектов (производства, СМК, продукции) [11, 18].

В *Великобритании* действует несколько национальных систем сертификации. Наиболее крупной и известной является система сертификации, созданная Британским институтом стандартов (BSI). Продукция, сертифицируемая в этой системе, маркируется знаком (рис. 5.7, в), называемым часто «бумажный змей», что связано с формой этого символа [19].

В *Великобритании* действует в числе других система сертификации электробытовых приборов и машин, созданная при Британской ассоциации приемки электротехнических изделий (BEAB). Эта система сертифицирует практически все виды бытовой техники на соответствие британскому стандарту «Требования безопасности электротехнических изделий для бытового и аналогичного применений». Продукция, сертифицируемая в этой системе, маркируется специальным знаком безопасности [18].

Сертификация в *Великобритании* в основном носит добровольный характер, за исключением областей, в которых по решению правительства соответствующие стандарты обязательны к применению, например, стандарты по обеспечению безопасности изделий. В этом случае знак безопасности имеет вид, показанный на рис. 5.8 и называется меткой безопасности [19].



В *Японии* действует три формы сертификации [11, 18]:

- обязательная сертификация, подтверждающая соответствие законодательным требованиям;
- добровольная сертификация на соответствие национальным стандартам JIS, проводимая органами, уполномоченными правительством;
- добровольная сертификация, осуществляемая частными органами по сертификации.

Рис. 5.8. Метка безопасности

Обязательная сертификация регламентируется действующими законами (их более 30). Обеспечение исполнения положений этих законов распределено между министерствами и другими органами государственного управления Японии. В соответствии с этими законами для некоторых видов продукции вводятся категории, характеризующие степень их опасности для пользователя. Например, для электротехнических изделий установлены категории А и В. При этом схемы сертификации изделий категорий А и В различны, отличаются и знаки соответствия (рис. 5.7, г).

Особенность обязательной сертификации в Японии заключается в необходимости получить разрешение на серийное производство продукции, подлежащей обязательной сертификации, другой особенностью является обязательная сертификация экспортируемых товаров.

Добровольная сертификация на соответствие стандартам JIS находится в ведении министерства внешней торговли и промышленности. Продукция и ТП, прошедшие такую сертификацию, маркируются знаком соответствия (рис. 5.7, д), гарантирующим обеспечение безопасности и здоровья потребителей и персонала предприятий, охрану окружающей среды, предотвращение несчастных случаев на производстве и т.д. Как правило, схема такой сертификации включает сертификацию СМК предприятия на соответствие стандартам серии ИСО 9000 [11].

Действуют и другие добровольные знаки соответствия, устанавливаемые ассоциациями и другими обществами для информирования потребителей о соответствии товара определенным требованиям. Наиболее часто такие знаки используют для продовольственных товаров.

Сертификацию СМК в Японии осуществляет Японская ассоциация по сертификации систем качества (JAB). Деятельность JAB строится на документах ИСО и МЭК.

В США обязательной сертификации подлежит продукция, на которую принят государственный стандарт, а также закупаемая государством на внутренних и внешних рынках. Такая сертификация контролируется государственными органами [18].

Добровольная сертификация проводится по заявлению потребителей или изготовителей продукции на соответствие предлагаемым или нормативным документам. В стране действует три основные категории программ сертификации (иначе – категории систем сертификации однородной продукции), которые утверждает Федеральное правительство [11]:

- 1-я категория – сертификация товаров и услуг на безопасность; программы этой категории носят обязательный характер;
- 2-я категория – программы по проверке образцов продукции и производств, заменяющие сплошной контроль;
- 3-я категория – программы оценки качества и условий производства до поступления продукции в торговлю.

Программы 2-й и 3-й категорий используют и для обязательной сертификации.

По программам 1-й категории сертифицируют в обязательном порядке автомобили, магистральные трубопроводы, суда и т.д.

В соответствии с программами 2-й категории сертифицируют товары, которые потребляются в государственных учреждениях (Департаменте обороны, Департаменте торговли, Управлении сельской электрофикации и др.).

Программы 3-й категории в основном добровольные, за исключением тех, которые предусматривают сертификацию отдельных видов изделий (например, яиц, табачных изделий и др.)

Кроме утвержденных правительством, в США есть и программы сертификации, образуемые в частном секторе [11].

5.9. Региональная сертификация

Наличие в странах Западной Европы большого числа национальных систем сертификации, регулируемых нормативными документами этих стран, обусловило нежелательное для потребителей разнообразие методов и показателей оценки соответствия однородной продукции. Это являлось препятствием в торговле между странами – членами Европейского союза. Преодолеть это препятствие можно было, повторив в стране-импортере процедуры сертификации, которые в стране-экспортере уже были проведены по действующим там правилам.

Решение этой проблемы было найдено на симпозиуме западноевропейских стран по созданию единых принципов сертификации и испытаний для всех участников ЕС, состоявшемся в 1988 г. в Брюсселе. В 1989 г. Совет ЕС принял документ «Глобальная концепция по сертификации и испытаниям», призванный гармонизировать правила по оценке соответствия.

Согласно директивам этой концепции соответствие может быть оценено самим изготовителем. Заявлением-декларацией изготовитель подтверждает соответствие товара требованиям директивы и удостоверяет это путем маркировки товара знаком соответствия (рис. 5.9).

Знак **CE** не свидетельствует о соответствии стандарту, но удостоверяет соответствие директиве ЕС. Фактически, продукция, маркированная знаком **CE**, соответствует европейским стандартам, т.к. директивы «Глобальной концепции» содержат ссылки на эти стандарты [11].

Директивы глобальной концепции содержат гармонизированные требования по безопасности, конкретизированные применительно к определенной стадии жизненного цикла продукции:



Рис. 5.9. Знак соответствия директиве ЕС

проектированию, производству, реализации, использованию. Эти директивы определяют также способы (модули) подтверждения соответствия, которые может использовать поставщик (изготовитель). Таких модулей предусмотрено 8: А, В, С, D, E, F, G, H, причем для разных стадий жизненного цикла продукции предусмотрены разные модули (рис. 5.10) [1].

На стадии проектирования предлагается модуль В, а на стадии производства – четыре модуля: С, D, E, F. Для объединенной стадии проектирования и производства предлагаются модули А, G, H.

Хотя все модули дополняют друг друга, их можно использовать независимо один от другого.

Проектирование	Модуль А Внутренний производственный контроль изготовителем	Модуль В Испытание образцов изделий по правилам ЕС с привлечением третьей стороны				Модуль G Поштучное испытание изделий третьей стороной	Модуль H Наличие системы обеспечения качества проектирования, производства, испытаний и контроля
		Модуль С Соответствие изделий испытанному образцу	Модуль D Наличие системы обеспечения качества	Модуль E Наличие системы обеспечения качества испытаний и контроля изделий	Модуль F Испытание изделий третьей стороне		

Рис. 5.10. Модульное построение оценки соответствия в ЕС [1]

К региональным организациям относится также учрежденный в 1992 г. государствами СНГ Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации (МГС). Высшим органом МГС является заседание МГС, проводимое два раза в год. Основным документом, определяющим направления деятельности по сертификации в СНГ, является «Соглашение о проведении согласованной политики в области стандартизации, метрологии и сертификации», подписанное в 1992 г., основные положения которого получили свое развитие в документе, названном «Соглашение о принципах проведения и взаимном признании работ по сертификации» от 1994г., установившим условия и процедуры признания в области сертификации [11].

Эти положения закрепляют:

- взаимное признание протоколов испытаний, сертификатов и знаков соответствия на продукцию, соответствующую утвержденному перечню и подлежащую обязательной сертификации;
- взаимное признание национальных систем сертификации и выданных ими сертификатов при условии соблюдения установленных процедур;
- аккредитацию органов по сертификации национальными органами по стандартизации, метрологии и сертификации с учетом мнения экспертов государств-участников соглашения;
- право государств-участников соглашения на осуществление инспекционного контроля за сертифицированной продукцией.

Развитию сертификации в СНГ способствует принятие ряда нормативных документов, устанавливающих единые требования для государств-участников Соглашения по стандартизации, метрологии и сертификации. Это межгосударственные нормативные документы, устанавливающие порядок сертификации однородной продукции.

Приоритетным направлением по сертификации в СНГ признано обеспечение безопасности взаимопоставляемой продукции, чему будет способствовать создание в будущем межгосударственных систем сертификации однородной продукции.

К региональным организациям, обеспечивающим взаимное признание результатов работ по стандартизации и сертификации, относятся [18]:

- Международная ассоциация государств Юго-Восточной Азии (АСЕАН) – межправительственная организация, объединяющая в настоящее время 6 стран и созданная с целью решения задач развития регионального сотрудничества в области стандартизации и сертификации, содействия развитию промышленности и торговли;
- Африканская региональная организация по стандартизации (АРСО), созданная в 1977 г. с целью содействия развитию стандартизации, сертификации и испытаний в 23 африканских государствах;
- Арабская организация по стандартизации и метрологии (АСМО), действующая с 1968 г. В ее работе принимают участие 17 арабских стран;
- Панамериканский комитет стандартов (КОПАНТ), учрежденный в 1961 г. 19 странами Центральной и Латинской Америки;
- Межскандинавская организация по стандартизации (ИНСТА), созданная в 1952 г. по инициативе национальных организаций по стандартизации Дании, Норвегии, Финляндии и Швеции, и ряд других европейских организаций по стандартизации, метрологии и сертификации.

5.10. Международная сертификация

В организации и развитии работ по сертификации, как на международном, региональном, так и на национальном уровнях особое место принадлежит таким международным организациям как ВТО, ИСО, МЭК и некоторым другим.

Крупнейшей международной организацией, разрабатывающей правила и условия мировой торговли, является ВТО (до 1993 г. – Генеральное соглашение по тарифам и торговле (ГАТТ)). Членами ВТО в настоящее время являются более 123 стран, в том числе РФ, на долю которых приходится около 90% мирового товарооборота. Целями присоединения РФ к ВТО являются:

- устранение дискриминационных ограничений в отношении российского экспорта и улучшение доступа на мировые рынки российских товаров и услуг;
- перевод торгово-экономических отношений России с третьими странами на равноправную, долгосрочную экономико-правовую основу и как следствие, повышение конкурентоспособности всех отраслей российской экономики;
- совершенствование внутренней законодательной базы и практики ее применения с целью дальнейшего развития экономических реформ.

Основные требования ВТО в области оценки соответствия сводятся к следующему: стороны должны гарантировать, что системы оценки соответствия разрабатываются и применяются так, чтобы не создавать препятствий в международной торговле.

Основная деятельность ИСО в области сертификации – это организационно-методическое обеспечение подтверждения соответствия. Этими вопросами занимается один из комитетов Совета ИСО – Комитет по качеству и сертификации (КАСКО). В работе КАСКО принимают участие около 50 стран. Россию представляет Росстандарт РФ.

Организационно-методические документы по сертификации, разработанные ИСО, способствуют гармонизации процедур подтверждения соответствия, что обеспечивает взаимное признание их результатов даже при различиях в национальных законодательных положениях.

В области сертификации ИСО сотрудничает с МЭК. Результатом этого сотрудничества являются многие совместные руководящие документы (руководства). основополагающим документом в области сертификации считается [11] Руководство 28 ИСО/МЭК «Общие правила типовой системы сертификации продукции третьей стороной», содержащее рекомендации по созданию национальных систем сертификации. В соответствии с принципами, разработанными ИСО и МЭК гармонизация национальных систем сертификации может быть достигнута двумя путями: использованием единых организационно-

методических принципов сертификации, предлагаемых ИСО, либо присоединением национальных систем сертификации к международным системам сертификации МЭК.

В рамках МЭК организованы две международные системы сертификации [18].

Международная система сертификации электротехнических изделий (МЭКСЭ), созданная в 1985 г., объединяет более 30 национальных сертификационных органа.

Цель создания этой системы – содействие международной торговле электрооборудованием, эксплуатация которого осуществляется обычными потребителями, а не специалистами в области электротехники. К такой продукции относятся: бытовые электроприборы, медицинская, вычислительная, информационная техника, электрооборудование офисов и предприятий и др.

Сертификат, подтверждающий соответствие этих изделий требованиям стандартов МЭК, позволяет без дополнительных испытаний получить национальный сертификат соответствия в любой стране-участнице МЭКСЭ.

Россия участвует в системе МЭКСЭ с 1989 г. В рамках этой Системы в нашей стране действует национальная система сертификации электрооборудования на соответствие стандартам безопасности (ССЭСБ).

Целью создания международной *Системы по сертификации изделий электронной техники (ИЭТ)* – второй системы сертификации МЭК, является содействие международной торговле изделиями электронной техники посредством установления единых требований к этим товарам и методам оценки их соответствия для того, чтобы эти изделия были одинаково приемлемы во всех странах-участницах Системы сертификации ИЭТ без повторных испытаний [11].

Россия участвует в Системе сертификации ИЭТ МЭК с 1982 г., как правопреемница СССР.

Официальными языками Системы сертификации ИЭТ являются английский, французский и русский.

Страны, заявляющие о проведении сертификации по Системе МЭК, согласно правилам Системы должны иметь национальную службу надзора, которая отвечает за соответствие порядка сертификации изделий электронной техники положениям Системы МЭК и правильность применения знака соответствия. Кроме того, в стране-заявителе должны действовать национальные службы поверки средств измерений, которыми пользуются испытательные лаборатории и национальный орган надзора [18].

При сертификации по Системе МЭК к нормативным документам предъявляются конкретные требования: Система базируется на стандартах МЭК; эти стандарты должны быть приняты в странах-участницах прямым или косвенным методом; содержание меж-

дународного стандарта должно обязательно сохраняться, хотя допускается оформлять принятый документ по национальным правилам [18].

5.11. Органы по сертификации и испытательные лаборатории

Качество сертификации определяется степенью компетентности и независимостью *органа по сертификации*, а также его способностью удовлетворять запросы заявителей и других заинтересованных лиц.

Организация, претендующая на аккредитацию в качестве органа по сертификации должна иметь [19]:

- юридический статус в соответствии с действующим законодательством;
- определенный опыт работы в области испытаний, оценки качества, работы с нормативными документами и авторитет в заявленной области;
- необходимые средства и документированные процедуры.

Функции и особенности конкретного органа по сертификации формируются в документации каждой системы сертификации однородной продукции. При этом основными, общими для всех органов по сертификации функциями являются:

- разработка организационно-методических документов по функционированию органа с обоснованными процедурами и схемами сертификации;
- формирование (комплектование) и актуализация фонда нормативных документов, используемых для сертификации в соответствии с областью аккредитации;
- сертификация продукции, выдача сертификатов соответствия и лицензии на применение знака соответствия в отношении сертифицируемой продукции;
- регистрация сертификатов соответствия;
- анализ и учет зарубежных сертификатов, протоколов испытаний и иных свидетельств соответствия продукции установленным требованиям;
- инспекционный контроль сертифицируемой продукции (по схеме сертификации);
- отмена или приостановление действия выданных сертификатов, участие в разработке корректирующих мероприятий, контроль их выполнения;
- другие функции.

Для выполнения этих функций орган по сертификации должен иметь:

- соответствующую административную и организационную структуру;
- квалифицированный персонал;
- систему управления документацией;
- систему обеспечения качества работ по сертификации.

Независимость органа по сертификации определяется его административной структурой (рис. 5.11).

Рис. 5.11. Структура органа по сертификации [19]

Техническая компетентность органа по сертификации должна быть достаточной для выполнения всего комплекса работ по сертификации в соответствии с Правилами системы сертификации, Положением об органе по сертификации и Руководством по качеству. В связи с этим орган по сертификации должен иметь [19]:

- квалифицированный персонал;
- фонд нормативных документов;
- разработанные и документированные процессы всех стадий проведения сертификации, включая инспекционный контроль за объектом сертификации, внутренние и внешние аудиты систем качества и т.д.;
- технические средства, необходимые для обработки и оформления результатов сертификации, а также для осуществления информационной деятельности;
- помещения для проведения сертификации, в том числе способные обеспечить конфиденциальность и коммерческую тайну;
- испытательное оборудование, если в состав органа входит испытательная лаборатория.

При проведении сертификации испытательная лаборатория должна обеспечивать *беспристрастность* в работе с заявителем, *независимость* при принятии решений, обладать *неприкосновенностью* со стороны высших руководителей, если таковые имеются, а также обладать *технической компетентностью*.

Эти требования к испытательной лаборатории, как и у органов по сертификации обеспечиваются юридическим статусом, административной и организационной структурой испытательной лаборатории.

Юридический статус испытательной лаборатории должен соответствовать действующему законодательству. Она может быть самостоятельным юридическим лицом или подразделением в его составе.

Испытательные лаборатории и их персонал не должны подвергаться коммерческому, финансовому, административному и другому давлению, способному оказывать влияние на выводы и оценки.

Типовая структура испытательной лаборатории включает руководителя, секретариат, заместителя руководителя по испытаниям, в подчинении которого находится группа специалистов по испытаниям, ответственного за систему обеспечения качества испытаний.

Техническая компетентность испытательной лаборатории определяется наличием в ней квалифицированного персонала, необходимых средств измерений, испытаний и контроля; помещений с соответствующими условиями окружающей среды; документированных рабочих процессов; нормативно-методических документов на методы и средства испытаний; системы обеспечения качества испытаний.

Как правило, испытательные лаборатории проводят испытания самостоятельно. Однако в исключительных случаях испытательная лаборатория может передать часть испытаний на условиях субподряда другой лаборатории, отвечающей критериям компетентности, установленным для испытательных лабораторий.

5.12. Аккредитация органов по сертификации и испытательных лабораторий

Взаимное признание результатов испытаний и сертификации, способствующее устранению технических барьеров в торговле, базируется на доверии к органам по сертификации и испытательным лабораториям. Это доверие обеспечивается их *аккредитацией*.

Аккредитация органов по сертификации и испытательных лабораторий осуществляется в целях:

«подтверждения компетентности органов по сертификации и испытательных лабораторий, выполняющих работы по подтверждению соответствия;

обеспечения доверия изготовителей, продавцов и потребителей к деятельности органов по сертификации и аккредитированных испытательных лабораторий;

создания условий для признания результатов деятельности органов по сертификации и аккредитированных испытательных лабораторий».

Аккредитация органов по сертификации и испытательных лабораторий, выполняющих работы по подтверждению соответствия, осуществляется на основе принципов:

«добровольности;

открытости и доступности правил аккредитации;

компетентности и независимости органов, осуществляющих аккредитацию;

недопустимости ограничения конкуренции и создания препятствий пользованию услугами органов по сертификации и аккредитованных испытательных лабораторий;

обеспечение равных условий лицам, претендующим на получение аккредитации;

недопустимости совмещения полномочий на аккредитацию и подтверждения соответствия;

недопустимости установления пределов действия документов об аккредитации на отдельных территориях».

Порядок и критерии аккредитации органов по сертификации и испытательных лабораторий, выполняющих работы по подтверждению соответствия определяются Правительством РФ на основании национальных стандартов ГОСТ Р серии 51000, принятых с учетом международных норм, к которым в первую очередь относятся руководства ИСО/МЭК, европейские стандарты серии EN 45000, положения Международной конференции по аккредитации испытательных лабораторий (ИЛАК) и др. Такой подход обеспечивает возможность международного сотрудничества, в первую очередь в сфере торговли.

Аккредитация, как и сертификация, проводится в законодательно регулируемой и нерегулируемой областях.

Аккредитация органов по сертификации и испытательных лабораторий, работающих в системах обязательной сертификации относится к регулируемой законом области. Это связано с обеспечением требований законодательства по безопасности товаров и услуг и их влиянию на окружающую среду. Такую аккредитацию организуют и проводят Росстандарт и другие федеральные органы исполнительной власти, на которые законодательными актами РФ возлагается эта работа в пределах их компетенции.

Аккредитация в законодательно нерегулируемой области координирует деятельность органов по сертификации и испытательных лабораторий в системах добровольной сертификации.

Российская система аккредитации (РОСА) представляет собой совокупность организаций, участвующих в деятельности по аккредитации, аккредитованных органов по сер-

тификации, испытательных лабораторий, других субъектов, а также установленных норм, правил, процедур, которые определяют действие этой системы.

Участниками РОСА являются: Совет по аккредитации в РФ, органы по аккредитации и их технические центры по видам деятельности, объекты аккредитации [19].

Процесс аккредитации включает четыре основных этапа: 1 – подача заявки на аккредитацию; этап завершается заключением договора между органом аккредитации и ее объектом; 2 – проведение экспертизы объекта аккредитации; 3 – решение по аккредитации; этап завершается оформлением аттестата аккредитации и регистрацией ее в реестре; 4 – инспекционный контроль за соблюдением требований аккредитации [19].

Контрольные вопросы

1. Каковы цели подтверждения соответствия?
2. Каковы основные принципы подтверждения соответствия?
3. В каких формах осуществляется добровольное и обязательное подтверждение соответствия?
4. Для чего предназначен знак соответствия?
5. В каких случаях проводится обязательное подтверждение соответствия?
6. Каковы объекты обязательного подтверждения соответствия?
7. Что называется схемой подтверждения соответствия?
8. Каким нормативным документом устанавливается форма и схема обязательного подтверждения соответствия?
9. Какие две схемы обязательного подтверждения соответствия Вы знаете?
10. Какой нормативный документ устанавливает схемы обязательной сертификации?
11. Какую информацию содержит сертификат соответствия?
12. Какая продукция маркируется знаком обращения на рынке?
13. Какие органы проводят испытания продукции при обязательной сертификации?
14. Назовите национальный орган по сертификации в РФ.
15. Какие требования предъявляются к организации, претендующей на аккредитацию в качестве органа по сертификации?
16. Как называется наиболее представительная система сертификации в РФ? Какой орган осуществляет руководство этой системой?
17. Каковы основные этапы процесса сертификации?
18. Перечислите базовые принципы менеджмента качества.

19. Как называется Российская система сертификации систем качества и производств?
20. Является ли сертификация СМК обязательной?
21. Что понимают под сертификацией производств? Каковы основные этапы этой сертификации?
22. Какова последовательность сертификации персонала?
23. Что такое услуга? Какие виды услуг Вы знаете? Каковы объекты сертификации в сфере услуг? Какие методы оценки услуг Вы знаете?
24. Является ли сертификация услуг обязательной?
25. Назовите основные этапы сертификации услуг.
26. С какой целью на предприятиях организуются СЭУ? Каков порядок сертификации СЭУ?
27. Какие национальные системы сертификации Вы знаете? Какие знаки соответствия используются в этих системах?
28. Какой знак удостоверяет соответствие объекта сертификации директиве ЕС?
29. Каковы области деятельности ИСО и МЭК?
30. Каковы основные функции органов по сертификации и испытательных лабораторий?
31. Каким требованиям должны удовлетворять орган по сертификации и испытательная лаборатория?
32. Что понимают под аккредитацией? Каковы ее цели и принципы?
33. Какой орган проводит аккредитацию в законодательно регулируемой области?
34. Что представляет собой РОСА? Какова ее структура?
35. Назовите основные этапы аккредитации органов по сертификации и испытательных лабораторий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Авгушевич И.В. От государственной системы нормирования к национальной системе технического регулирования. – М.: НТК «Трек», 2006. – 136 с.
2. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя. В 3 т. 8-е изд., перераб. и доп. / под ред. И.Н. Жестковой. – М.: Машиностроение, 2006. – Т. 1 – 927 с.; Т. 2 – 959 с.; Т. 3 – 927 с.
3. Анухин В.И. Допуски и посадки : учебное пособие для вузов. – СПб.: Питер, 2004. – 207 с.
4. Базров Б.М. Основы технологии машиностроения : учебник для вузов. – М.: Машиностроение, 2005. – 736 с.
5. Белкин И.М. Допуски и посадки (Основные нормы взаимозаменяемости): учебное пособие. – М.: Машиностроение, 1992. – 528 с.
6. Выбор универсальных средств измерения линейных размеров до 500 мм (по применению ГОСТ 8.051-81) : РД 50-98-86. – М.: Изд-во стандартов, 1987. – 84 с.
7. Димов Ю.В. Метрология, стандартизация и сертификация : учебник для вузов. 2-е изд. – СПб.: Питер, 2004. – 432 с.
8. Дойников А.С., Брянский Л.М., Крупин Б.Н. Справочник по метрологии. – М.: ФГУП «Стандартинформ», 2010. – 144 с.
9. Дунаев П.Ф., Леликов О.П. Расчет допусков размеров. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 2006. – 100 с.
10. Единая система допусков и посадок СЭВ в машиностроении и приборостроении : справочник. В 2 т. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во стандартов, 1989. – Т. 1 – 263 с.; Т. 2 – 207 с.
11. Крылова Г.Д. Основы стандартизации, сертификации и метрологии : учебник для вузов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2007. – 671 с.
12. Метрология, стандартизация и сертификация : учебник для студ. высш. учеб. заведений / А.И. Аристов, Л.И. Карпов, В.М. Приходько [и др.]. – 3-е изд. перераб. – М.: Издательский центр «Академия», 2008. – 384 с.
13. Муслина Г.Р., Правиков Ю.М. Нормирование точности и технические измерения : учебное пособие по курсовой работе / под общ. ред. д-ра техн. наук, проф. Л.В. Худобина. – 2-е изд., перераб. и доп. – Ульяновск: УлГТУ, 2013. – 256 с.
14. Основы стандартизации, метрологии и сертификации : учебник для студентов вузов, обучающихся по направлениям стандартизации, сертификации и метрологии (200400), направлениям экономики (080100) и управления (080500) / А.В. Архипов, Ю.М.

Берновский, А.Г. Зекунов [и др.] / под редакцией В.М. Мишина. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2007. – 447 с.

15. Палей М.А., Романов А.Б., Брагинский В.А. Допуски и посадки: справочник. В 2 ч. 8-е изд., перераб. и доп. – СПб.: Политехника, 2001. – Ч. 1. – 576 с.; Ч. 2 – 608 с.

16. Подшипниковые узлы современных машин и приборов: энциклопедический справочник / В.Б. Носов, И.Н. Карпунин, Н.Н. Федотов [и др.] / под общ. ред. В.Б. Носова. – М.: Машиностроение, 1997. – 640 с.

17. Правиков Ю.М., Муслина Г.Р. Метрологическое обеспечение производства: учебное пособие. – М.: КНОРУС, 2009. – 240 с.

18. Радкевич Я.М. Метрология, стандартизация, сертификация: учебник для вузов / Радкевич Я.М., Схиртладзе А.Г., Лактионов Б.Л. – М.: Высшая школа, 2006 – 800 с.; 2007 – 791 с.

19. Сергеев А.Г., Латышев М.В., Терегеря В.В. Метрология, стандартизация и сертификация : учебное пособие. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Логос, 2005. – 560 с.

20. Соотношение между допусками размера, формы, расположения и шероховатости поверхностей : РТМ2 НЗ1-4-81. – М.: НИИМаш, 1981. – 55 с.

21. Шишкин И.Ф. Лекции по метрологии. Учебное пособие по курсу «Теоретическая метрология» / И.Ф. Шишкин. – М.: Татьяна день, 1993. – 54 с.

22. Якушев А.И., Воронцов Л.Н., Федотов Н.Н. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения : учебник для вузов. – 6-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1987. – 352 с.

ОСНОВНЫЕ ГОСУДАРСТВЕННЫЕ ЗАКОНЫ И ГОСУДАРСТВЕННЫЕ СТАНДАРТЫ В ОБЛАСТИ МЕТРОЛОГИИ, СТАНДАРТИЗАЦИИ И СЕРТИФИКАЦИИ

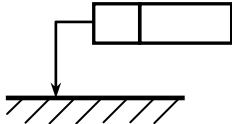
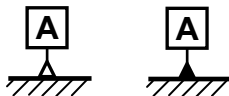
1. Закон Российской Федерации «О защите прав потребителей» от 07.02.1992 г. № 2300-1 в редакции от 01.09.2013 г.
2. Закон Российской Федерации «Об обеспечении единства измерений» от 26.06.2008 г. № 102-ФЗ в редакции от 02.12.2013 г.
3. Закон Российской Федерации «О техническом регулировании» от 27.12.2002 г. № 184-ФЗ в редакции от 01.09.2013 г.
4. ГОСТ 2.308-2011. ЕСКД. Указание допусков формы и расположения поверхностей.
5. ГОСТ 2.309-73. ЕСКД. Обозначение шероховатости поверхностей.
6. ГОСТ 2.320-82. ЕСКД. Правила нанесения размеров, допусков и посадок конусов.
7. ГОСТ 8.016-81. ГСИ. Государственный первичный эталон и государственная поверочная схема для средств измерения плоского угла.
8. ГОСТ 8.050-73. ГСИ. Нормальные условия выполнения линейных и угловых измерений.
9. ГОСТ 8.051-81. ГСИ. Погрешности, допускаемые при измерении линейных размеров до 500 мм.
10. ГОСТ 8.057-80. ГСИ. Эталоны единиц физических величин. Основные положения.
11. ГОСТ 8.061-80. ГСИ. Поверочные схемы. Содержание и построение.
12. ГОСТ 8.207-76. ГСИ. Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдений. Основные положения.
13. ГОСТ 8.417-2002. ГСИ. Единицы физических величин.
14. ГОСТ 1139-80. ОНВ. Соединения шлицевые прямобочные. Размеры и допуски.
15. ГОСТ 1643-81. ОНВ. Передачи зубчатые цилиндрические. Допуски.
16. ГОСТ 2789-73. Шероховатость поверхности. Параметры и характеристики.
17. ГОСТ 3325-85. Подшипники качения. Поля допусков и технические требования к посадочным поверхностям валов и корпусов. Посадки.
18. ГОСТ 3478-79. Подшипники качения. Основные размеры.
19. ГОСТ 4608-81. ОНВ. Резьба метрическая. Посадки с натягом.

20. ГОСТ 6033-80. Соединения шлицевые эвольвентные с углом профиля 30 °. Размеры, допуски и измеряемые величины.
21. ГОСТ 6636-69. ОНВ. Нормальные линейные размеры.
22. ГОСТ 8593-81. ОНВ. Нормальные конусности и углы конусов.
23. ГОСТ 8790-79. ОНВ. Соединения шпоночные с призматическими направляющими шпонками и креплением на валу. Размеры шпонок и сечений пазов. Допуски и посадки.
24. ГОСТ 8908-81. ОНВ. Нормальные углы и допуски углов.
25. ГОСТ 9150-2002 (ИСО 68-1-98). Резьба метрическая. Профиль.
26. ГОСТ 11708-82. ОНВ. Резьба. Термины и определения.
27. ГОСТ 14140-81. ОНВ. Допуски расположения осей отверстий для крепежных деталей.
28. ГОСТ 16093-2004. ОНВ. Резьба метрическая. Допуски. Посадки с зазором.
29. ГОСТ 23360-78. ОНВ. Соединения шпоночные с призматическими шпонками. Размеры шпонок и сечений пазов. Допуски и посадки.
30. ГОСТ 24071-97. ОНВ. Сегментные шпонки и шпоночные пазы.
31. ГОСТ 24643-81. ОНВ. Допуски формы и расположения поверхностей. Числовые значения.
32. ГОСТ 24705-2004 (ИСО 724:1993). ОНВ. Резьба метрическая. Основные размеры.
33. ГОСТ 24834-81. ОНВ. Резьба метрическая. Переходные посадки.
34. ГОСТ 24851-81. Калибры гладкие для цилиндрических отверстий и валов. Виды.
35. ГОСТ 24853-81. Калибры гладкие для размеров до 500 мм. Допуски.
36. ГОСТ 25142-82. ОНВ. Шероховатость поверхности. Термины и определения.
37. ГОСТ 25256-82. Подшипники качения. Допуски. Термины и определения.
38. ГОСТ 25307-82. ОНВ. Система допусков и посадок для конических соединений.
39. ГОСТ 25346-89. ОНВ. ЕСДП. Общие положения, ряды допусков и основных отклонений.
40. ГОСТ 25347-82. ОНВ. ЕСДП. Поля допусков и рекомендуемые посадки.
41. ГОСТ 25348-82. ОНВ. ЕСДП. Ряды допусков, основных отклонений и поля допусков для размеров свыше 3150 мм.
42. ГОСТ 25349-82. ОНВ. ЕСДП. Поля допусков деталей из пластмасс.
43. ГОСТ 25548-82. ОНВ. Конусы и конические соединения. Термины и определения.

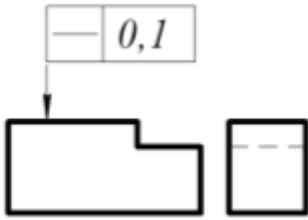
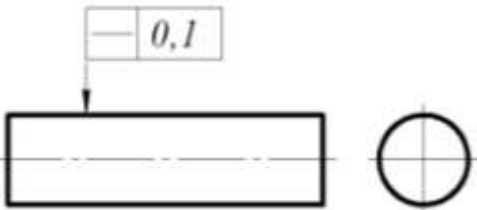
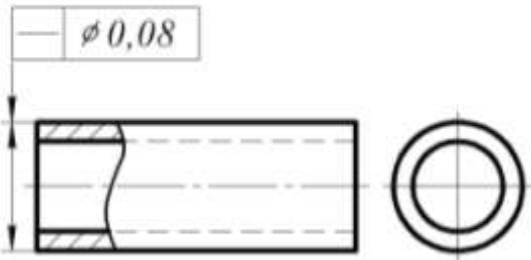
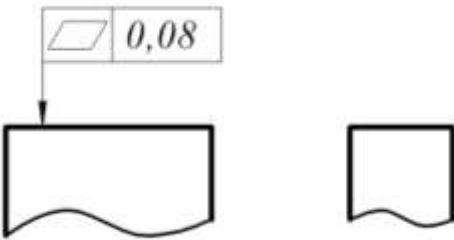
44. ГОСТ 30893.1-2002. ОНВ. Общие допуски. Предельные отклонения линейных и угловых размеров с неуказанными допусками.
45. ГОСТ 30893.2-2002. ОНВ. Общие допуски. Допуски формы и расположения поверхностей, не указанные индивидуально.
46. ГОСТ 30987-2003 (ИСО 10579:1993). ОНВ. Назначение размеров и допусков для нежестких деталей.
47. ГОСТ 31254-2004 (ИСО 14660:1999). ОНВ. Геометрические элементы. Общие термины и определения.
48. ГОСТ Р 1.0-2004. Стандартизация в РФ. Основные положения.
49. ГОСТ Р 1.2-2004. Стандартизация в РФ. Стандарты национальные РФ. Правила разработки, утверждения, обновления и отмены.
50. ГОСТ Р 40.002-2000. Система сертификации ГОСТ Р. Регистр систем качества. Основные положения.
51. ГОСТ Р 40.003-2008. Система сертификации ГОСТ Р. Регистр систем качества. Порядок сертификации систем менеджмента качества на соответствие ГОСТ Р ИСО 9001-2008.
52. ГОСТ Р 50056-92. Зависимые допуски формы, расположения и координирующих размеров. Основные положения по применению.
53. ГОСТ Р 50460-92. Знак соответствия при обязательной сертификации. Форма, размеры и технические требования.
54. ГОСТ Р 51000.4-2011. Общие требования к аккредитации испытательных лабораторий.
55. ГОСТ Р 51000.6-2011. Общие требования к аккредитации органов по сертификации продукции и услуг.
56. ГОСТ Р 53090-2008 (ИСО 2692:2006). ОНВ. Характеристики изделий геометрические. Требования максимума материала, минимума материала и взаимодействия.
57. ГОСТ Р 53440-2009. ОНВ. Характеристики изделий геометрические. Нормальные конусности и углы конусов.
58. ГОСТ Р 53441-2009. ОНВ. Характеристики изделий геометрические. Нормальные углы и уклоны призм.
59. ГОСТ Р 53442-2009 (ИСО 1101:2004). ОНВ. Характеристики изделий геометрические. Допуски формы, ориентации, месторасположения и биения.

НОРМЫ ТОЧНОСТИ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ДЕТАЛЕЙ

П.1.1. Дополнительные условные знаки, используемые при указании геометрических допусков на чертежах (ГОСТ 53442)

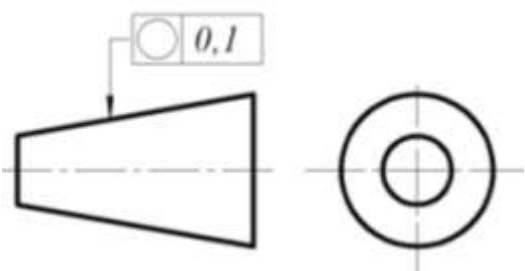
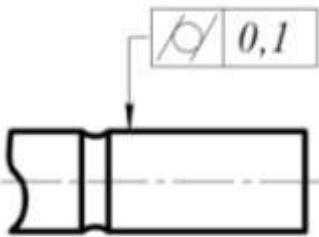
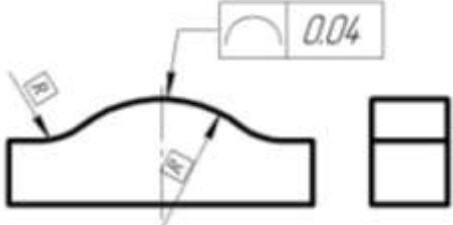
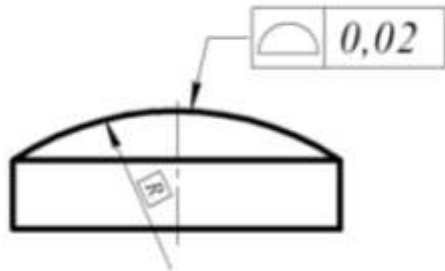
Описание обозначения	Обозначение
Указание элемента, для которого установлен допуск	
Указание базового элемента	
Указание базового участка	
Теоретически точный размер	
Выступающее поле допуска	
Требование максимума материала	
Требование минимума материала	
Требование взаимодействия размерного и геометрического допусков	
Условие свободного состояния (нежесткие детали)	
Со всех сторон (профиль)	
Требование к внешней границе	
Общее поле допуска	CZ
Внутренний диаметр	LD
Наружный диаметр	MD
Делительный диаметр	PD
Элемент – линия	LE
Невыпуклый	NC
Любое поперечное сечение	ASC

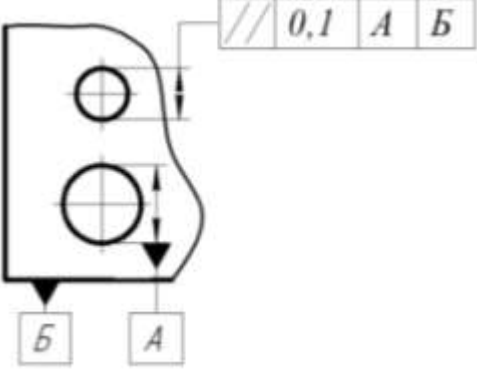
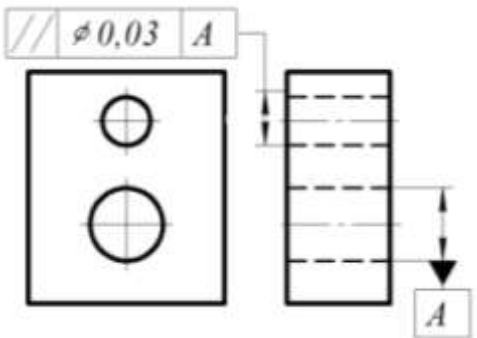
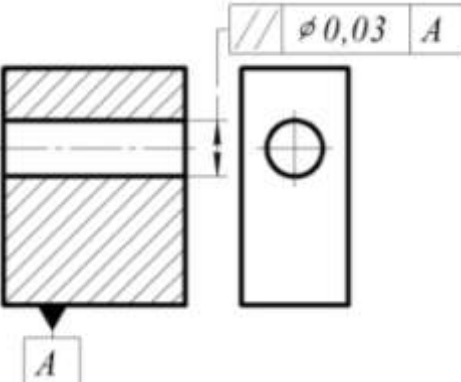
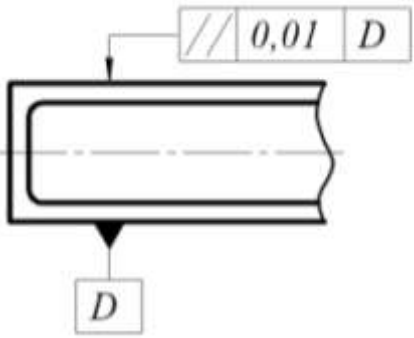
П. 1. 2. Примеры указания геометрических допусков на чертежах деталей

Наименование	Указание на чертеже	Пояснения
1	2	3
Допуски формы		
Допуск прямолинейности		Любая выявленная линия на верхней поверхности в любой плоскости, параллельной плоскости проекции, в которой показано обозначение, должна быть расположена между двумя параллельными прямыми линиями, расстояние между которыми равно 0,1 мм
Допуск прямолинейности		Любая выявленная образующая цилиндрической поверхности должна быть расположена между двумя параллельными плоскостями, расстояние между которыми равно 0,1 мм
Допуск прямолинейности		Выявленная средняя линия (ось) наружной цилиндрической поверхности должна быть расположена в пределах цилиндра диаметром 0,08 мм
Допуск плоскостности		Выявленная поверхность должна быть расположена между двумя параллельными плоскостями, расстояние между которыми равно 0,08 мм

Продолжение прил. 1

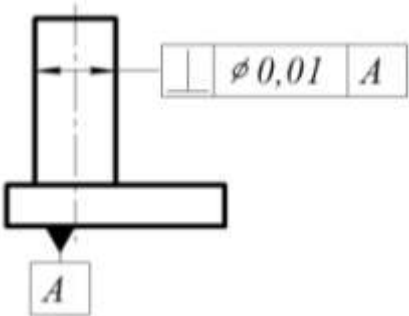
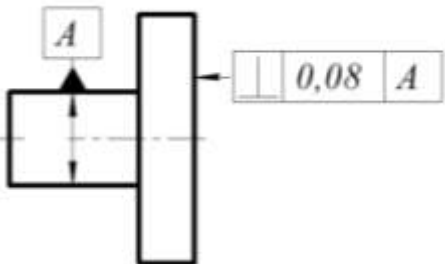
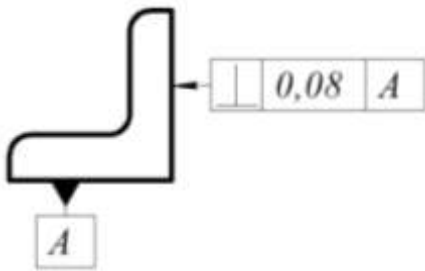
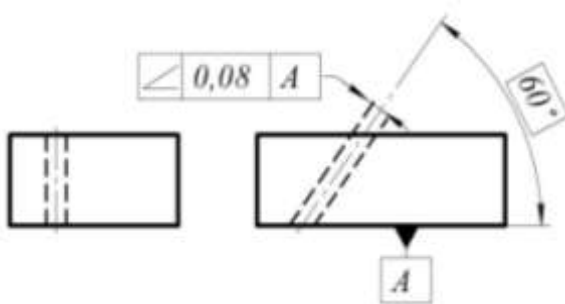
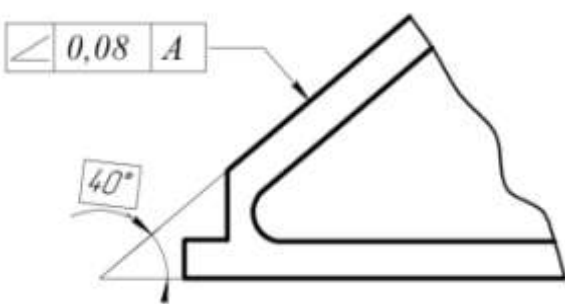
Продолжение табл. П. 1. 2.

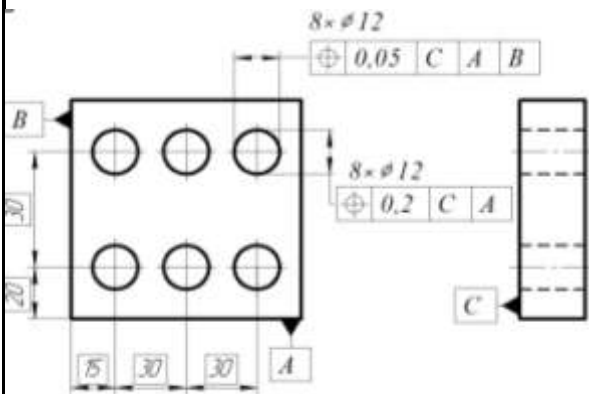
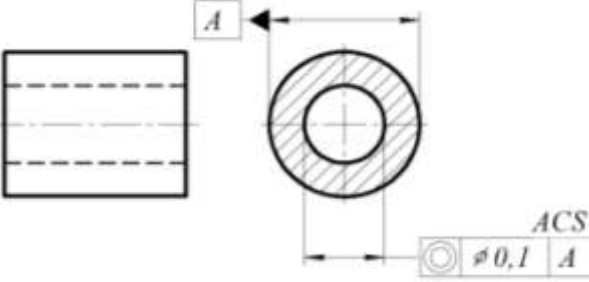
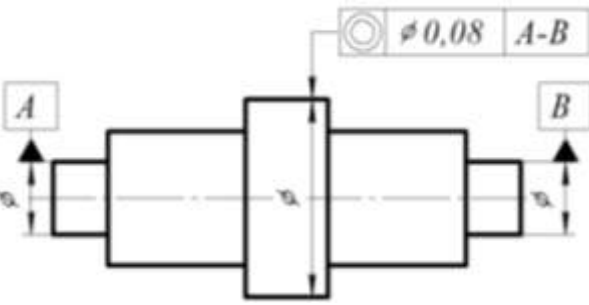
1	2	3
Допуск круглости		Выявленная круговая линия в любом поперечном сечении конической поверхности должна быть расположена между двумя компланарными (лежащими в одной плоскости) концентрическими окружностями, разность радиусов которых равна 0,1 мм.
Допуск цилиндричности		Выявленная цилиндрическая поверхность должна быть расположена между двумя соосными цилиндрами, разность радиусов которых равна 0,1 мм.
Допуск формы заданного профиля безотносительно базы		Любая выявленная линия на верхней поверхности в любой плоскости, параллельной плоскости проекции, в которой показано обозначение, должна быть расположена между двумя равноотстоящими линиями, огибающими семейство окружностей диаметром 0,04 мм, центры которых находятся на линии, имеющей теоретически точную геометрическую форму.
Допуск формы заданной поверхности и безотносительно базы		Выявленная поверхность должна быть расположена между двумя равноотстоящими поверхностями, огибающими семейство сфер диаметром 0,02 мм, центры которых находятся на поверхности, имеющей теоретически точную геометрическую форму.

1	2	3
Допуски ориентации		
Допуск параллельности линии (оси) относительно комплекта баз		Выявленная средняя линия (ось) должна быть расположена между двумя параллельными плоскостями, которые находятся друг от друга на расстоянии 0,1 мм, параллельны базовой оси А и ориентированы относительно базовой плоскости В в указанном направлении.
Допуск параллельности линии (оси) относительно базовой линии (оси)		Выявленная средняя линия (ось) должна быть расположена в пределах цилиндра диаметром 0,03 мм, ось которого параллельна базовой оси А.
Допуск параллельности линии (оси) относительно базовой поверхности		Выявленная средняя линия (ось) должна быть расположена между двумя параллельными плоскостями, находящимися друг от друга на расстоянии 0,01 мм и параллельными базовой плоскости В.
Допуск параллельности поверхности относительно поверхности		Выявленная поверхность должна быть расположена между двумя параллельными плоскостями, находящимися друг от друга на расстоянии 0,01 мм и параллельными базовой плоскости D.

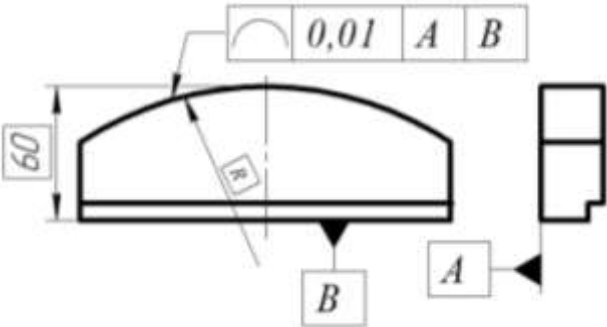
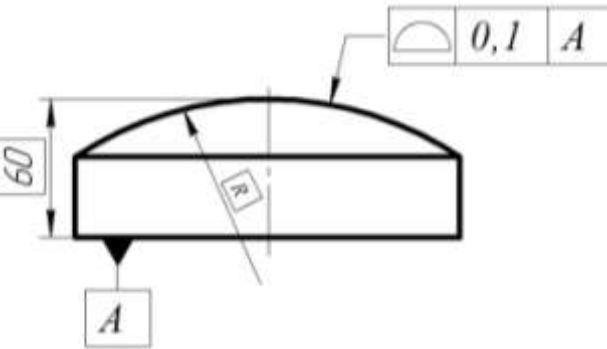
Продолжение прил. 1

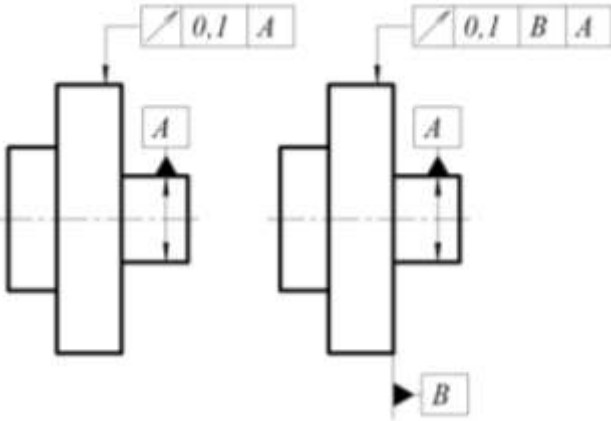
Продолжение табл. П. 1. 2.

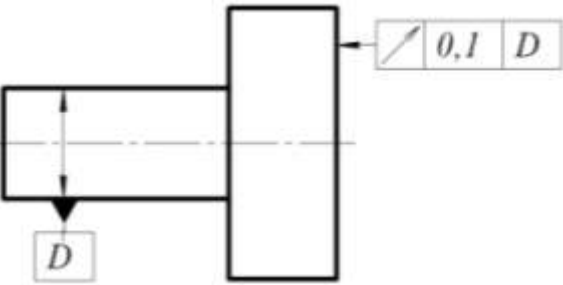
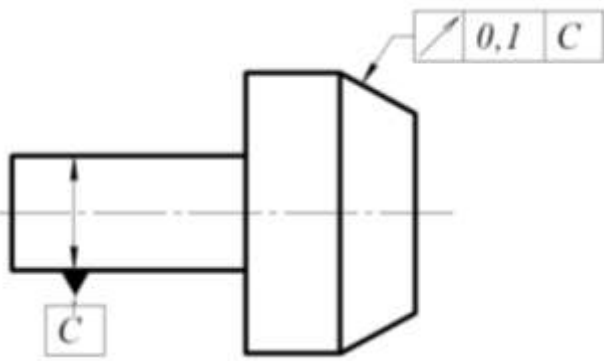
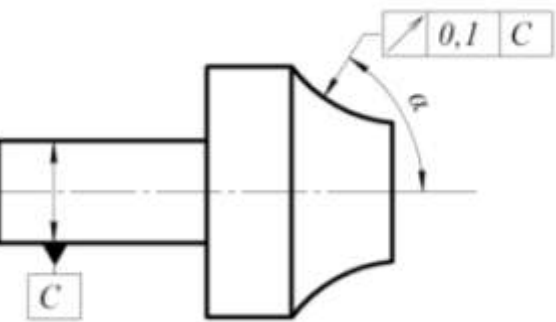
1	2	3
Допуск перпендикулярности линии (ось) относительно базовой поверхности		Выявленная средняя линия (ось) должна быть расположена в пределах цилиндра диаметром 0,1 мм, ось которого перпендикулярна базовой плоскости А.
Допуск перпендикулярности поверхности относительно базовой линии (оси)		Выявленная поверхность должна быть расположена между двумя параллельными плоскостями, находящимися друг от друга на расстоянии 0,08 мм и перпендикулярными к базовой оси А.
Допуск перпендикулярности поверхности относительно базовой поверхности		Выявленная поверхность должна быть расположена между двумя параллельными плоскостями, находящимися друг от друга на расстоянии 0,08 мм и перпендикулярными к базовой плоскости А.
Допуск наклона линии (оси) относительно базовой поверхности		Выявленная средняя линия (ось) должна находиться между двумя параллельными плоскостями, расстояние между которыми равно 0,08 мм, расположенными под теоретически точным углом 60° к базовой плоскости А.
Допуск наклона поверхности относительно базовой поверхности		Выявленная средняя линия должна находиться между двумя параллельными плоскостями, расстояние между которыми равно 0,08 мм, расположенными под теоретически точным углом 40° к базовой плоскости А.

1	2	3
Допуски месторасположения		
Позиционный допуск линии (оси)		Выявленная средняя линия (оси) каждого отверстия должна находиться между парами двумя параллельных плоскостей, находящихся друг от друга на расстоянии 0,05 мм и 0,2 мм соответственно, и перпендикулярных друг к другу. Каждая пара параллельных плоскостей ориентирована в заданном направлении относительно комплекта баз и расположена симметрично относительно теоретически точного положения рассматриваемого отверстия по отношению к базовым плоскостям С, А и В.
Допуск концентричности точки		Выявленный центр внутренней окружности должен быть расположен в пределах окружности диаметром 0,1 мм, концентричной с базовой точкой А в поперечном сечении.
Допуск соосности		Выявленная средняя линия (ось) нормируемого цилиндра должна быть расположена внутри цилиндрической зоны диаметром 0,08 мм, ось которой является общей базовой прямой линией А – В.

1	2	3
Допуск соосности		Выявленная средняя линия (ось) нормируемого цилиндра должна быть расположена внутри цилиндрической зоны диаметром 0,1 мм, ось которой является базовой осью А.
Допуск соосности		Выявленная средняя линия (ось) цилиндра должна быть расположена внутри цилиндрической зоны диаметром 0,1 мм, ось которой является базовой осью В, перпендикулярной к базовой плоскости А.
Допуск симметричности плоскости симметрии		Выявленная средняя поверхность должна быть расположена между двумя параллельными плоскостями, расстояние между которыми равно 0,08 мм, расположенными симметрично относительно базовой плоскости симметрии А.
Допуск симметричности плоскости симметрии		Выявленная средняя поверхность должна находиться между двумя параллельными плоскостями, расстояние между которыми равно 0,08 мм, расположенными симметрично относительно общей базовой плоскости А – В.

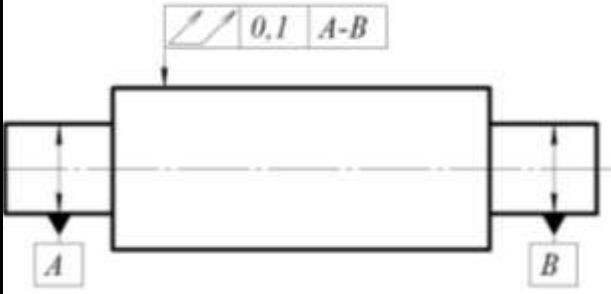
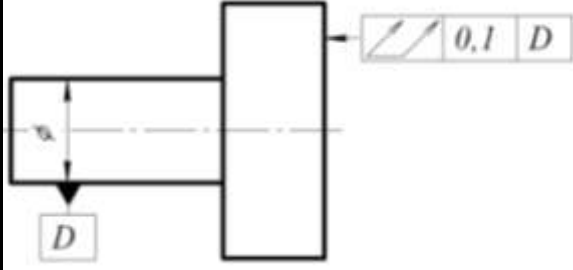
1	2	3
Допуск формы заданного профиля относительно комплекта баз		Любая выявленная линия на верхней поверхности в любой плоскости, параллельной плоскости проекции, в которой показано обозначение, должна быть расположена между двумя равноотстоящими линиями, огибающими семейство окружностей диаметром 0,04 мм, центры которых находятся на линии, имеющей теоретически точную геометрическую форму относительно базовой плоскости A и базовой плоскости B.
Допуск формы заданной поверхности относительно базы		Выявленная поверхность должна быть расположена между двумя равноотстоящими поверхностями, огибающими семейство сфер диаметром 0,1 мм, центры которых находятся на поверхности, имеющий теоретически точную геометрическую форму относительно базовой плоскости A.

1	2	3
Допуски биения		
Допуск радиального биения		Выявленная линия в любой плоскости поперечного сечения, перпендикулярной к базовой оси A должна быть расположена между двумя лежащими в этой плоскости концентрическими окружностями, разность радиусов которых равна 0,1 мм (а). Выявленная линия в любой плоскости поперечного сечения, параллельной базовой плоскости B, должна быть расположена между двумя лежащими в этой плоскости концентрическими окружностями, разность радиусов которых равна 0,1 мм, и концентрическими с базовой осью A (б).
Допуск радиального биения		Выявленная линия в любой плоскости поперечного сечения, перпендикулярной к общей базовой прямой линии A – B, должна быть расположена между двумя лежащими в этой плоскости концентрическими окружностями, разность радиусов которых равна 0,1 мм.

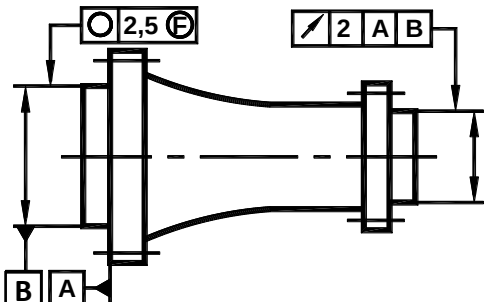
1	2	3
Допуск торцового биения		Выявленная линия должна быть расположена в пределах боковой поверхности цилиндра любого диаметра, ось которого совпадает с базовой осью D, ограниченной по длине двумя окружностями, расстояние между которыми равно 0,1 мм.
Допуск биения в любом направлении		Выявленная линия должна быть расположена в пределах боковой поверхности конуса, образующая которого перпендикулярна к заданной геометрии детали и ось которого совпадает с базовой осью C, ограниченной по длине двумя окружностями, находящимися друг от друга вдоль образующей конуса на расстоянии 0,1 мм.
Допуск биения в заданном направлении		Выявленная линия должна быть расположена в пределах боковой поверхности конуса, образующая которого имеет заданное направление (угол α) и ось которого совпадает с базовой осью C, ограниченной по длине двумя окружностями, находящимися друг от друга вдоль образующей конуса на расстоянии 0,1 мм.

Продолжение прил. 1

Окончание табл. П. 1. 2.

1	2	3
Допуск полного радиального биения		Выявленная поверхность должна быть расположена между соосными цилиндрами, разность радиусов которых равна 0,1 мм и оси которых совпадают с общей базовой прямой линией А – В.
Допуск полного торцового биения		Выявленная поверхность должна быть расположена между двумя параллельными плоскостями, находящимися друг от друга на расстоянии 0,1 мм, перпендикулярными к базовой оси D.

П.1.3. Указание на чертежах геометрических допусков нежестких деталей
(ГОСТ 30987)

Указания на чертежах	Пример	
	указания геометрических допусков	интерпретация
1. В основной надписи чертежа или вблизи от нее – указание «ГОСТ – NR» (NR – “non rigid” – нежесткая деталь) 2. В технических требованиях чертежа – условия, при которых деталь должна быть закреплена, чтобы удовлетворять требованиям чертежа 3. Допуски формы и (или) расположения, относящиеся к свободному состоянию, должны указываться в соответствии с ГОСТ 2.308 с дополнением значения допуска символом (F) 4. Условия, при которых должны достигаться допуски формы и расположения в свободном состоянии: направление силы тяжести, ориентация детали и т.д.	 ГОСТ – NR <i>Условие закрепления</i> Поверхность, указанная как база A, присоединяется 64 болтами М6 с крутящим моментом затяжки 9...15 Н·м, а элемент, указанный как база B, закреплен при соответствующем пределе максимума материала	Допуск круглости, сопровождаемый символом (F), должен быть обеспечен в свободном состоянии. Допуск радиального биения применяется при условиях, указанных текстом.

П.1.4. Допуски параллельности, перпендикулярности, наклона, торцового биения, полного торцового биения, плоскостности и прямолинейности (по ГОСТ 24643)

Отклонения		Номинальный размер, мм										
параллельности, перпендикулярности, наклона, торцового биения и полного торцового биения	плоскостности, прямолинейности	до 10	Св. 10 до 16	Св.16 до 25	Св.25 до 40	Св.40 до 63	Св.63 до 100	Св.100 до 160	Св. 160 до 250	Св.250 до 400	Св.400 до 630	Св.630 до 1000
Степень точности		Допуск, мкм										
—	1	0,25	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1,0	1,2	1,6	2,0	2,5
1	2	0,4	0,5	0,6	0,8	1,0	1,2	1,6	2,0	2,5	3,0	4,0
2	3	0,06	0,8	1,0	1,2	1,6	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0	6,0
3	4	1,0	1,2	1,6	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0	6,0	8,0	10
4	5	1,6	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0	6,0	8,0	10	12	16
5	6	2,5	3,0	4,0	5,0	6,0	8,0	10	12	16	20	25
6	7	4,0	5,0	6,0	8,0	10	12	16	20	25	30	40
7	8	6,0	8,0	10	12	16	20	25	30	40	50	60
8	9	10	12	16	20	25	30	40	50	60	80	100
9	10	16	20	25	30	40	50	60	80	100	120	160
10	11	25	30	40	50	60	80	100	120	160	200	250
11	12	40	50	60	80	100	120	160	200	250	300	400
12	—	60	80	100	120	160	200	250	300	400	500	600
		Допуск, мм										
—	13	0,06	0,08	0,10	0,12	0,16	0,20	0,25	0,30	0,4	0,5	0,6
13	14	0,10	0,12	0,16	0,20	0,25	0,30	0,40	0,50	0,6	0,8	1,0
14	15	0,16	0,20	0,25	0,30	0,40	0,50	0,60	0,80	1,0	1,2	1,6
15	16	0,25	0,30	0,40	0,50	0,60	0,80	1,00	1,20	1,6	2,0	2,5
16	—	0,40	0,50	0,60	0,80	1,00	1,20	1,60	2,00	2,5	3,0	4,0

**П.1.5. Допуски соосности, симметричности и пересечения осей в диаметральной выражении,
радиального биения и полного радиального биения, цилиндричности, круглости
и профиля продольного сечения (по ГОСТ 24643)**

Отклонения		Степень точности																
соосности, симмет- ричности и пересе- чения осей, радиаль- ного и полного радиального биений	цилиндричности, круглости, про- филя продольного сечения	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
		Допуск																
Номинальный размер , мм		мкм												мм				
	До 3	0,3	0,5	0,8	1,2	2,0	3,0	5,0	8,0	12	20	30	50	0,08	0,12	0,20	0,30	
	Св.3 до 10	0,4	0,6	1,0	1,6	2,5	4,0	6,0	10	16	25	40	60	0,10	0,16	0,25	0,40	
	" 10 " 18	0,5	0,8	1,2	2,0	3,0	5,0	8,0	12	20	30	50	80	0,12	0,20	0,30	0,50	
	" 18 " 30	0,6	1,0	1,6	2,5	4,0	6,0	10	16	25	40	60	100	0,16	0,25	0,40	0,60	
	До 3	" 30 " 50	0,8	1,2	2,0	3,0	5,0	8,0	12	20	30	50	80	120	0,20	0,30	0,50	0,80
	Св.3 до 10	"50 " 120	1,0	1,6	2,5	4,0	6,0	10	16	25	40	60	100	160	0,25	0,40	0,60	1,00
	" 10 " 18	"120" 250	1,2	2,0	3,0	5,0	8,0	12	20	30	50	80	120	20	0,30	0,50	0,80	1,20
	" 18 " 30	"250" 400	1,6	2,5	4,0	6,0	10	16	25	40	60	100	160	250	0,40	0,60	1,00	1,60
	" 30 " 50	"400" 630	2,0	3,0	5,0	8,0	12	20	30	50	80	120	200	300	0,50	0,80	1,20	2,00
	" 50 " 120	"630"1000	2,5	4,0	6,0	10	16	25	40	60	100	160	250	400	0,60	1,00	1,60	2,50
" 120" 250		3,0	5,0	8,0	12	20	30	50	80	120	200	300	500	0,80	1,20	2,00	3,00	

П.1.6. Нормирование отклонений формы цилиндрических поверхностей [15]

Степень точности	Примеры применения	Способ обработки
1 – 2	Шарики и ролики для подшипников. Дорожки качения и посадочные поверхности подшипников качения особо высокой точности и сопрягаемые с ними посадочные поверхности валов и корпусов. Подшипниковые шейки шпинделей прецизионных станков. Детали особо точных плунжерных и золотниковых пар	Доводка, тонкое шлифование и алмазное растачивание повышенной точности
3 – 4	Дорожки качения и посадочные поверхности подшипников качения особо высокой точности и сопрягаемые с ними посадочные поверхности валов и корпусов. Подшипники жидкостного трения при больших нагрузках. Подшипниковые шейки коленчатых валов; поршневые пальцы и сопрягаемые с ними отверстия в деталях авиационных и автомобильных двигателей. Плунжеры, золотники, поршни гидравлической аппаратуры, работающие при высоких давлениях без уплотнений	Доводка, хонингование, тонкое шлифование, алмазное растачивание; тонкое обтачивание, растачивание повышенной точности
5 – 6	Посадочные поверхности колец подшипников качения нормальной точности и сопрягаемые с ними посадочные поверхности валов и корпусов. Подшипниковые шейки и вкладыши коленчатых валов двигателей, валов редукторов, паровых турбин, крупных насосов. Поршневые пальцы дизелей и газовых двигателей. Золотники, поршни, гильзы и другие детали гидравлической и пневматической аппаратуры, работающие при средних и низких давлениях без уплотнений или при высоких и средних давлениях с уплотнениями	Шлифование, хонингование, чистовое обтачивание и растачивание, тонкое развертывание, протягивание
7 – 8	Подшипники скольжения крупных гидротурбин, тихоходных двигателей, редукторов. Цилиндры, гильзы, поршни и поршневые кольца автомобильных и тракторных двигателей. Отверстия под втулки шатуна двигателей в гидравлических устройствах средних давлений	Чистовые обтачивание и растачивание, развертывание, протягивание; зенкерование, сверление повышенной точности
9 – 10	Подшипники скольжения при малых скоростях и давлениях. Поршни и цилиндры насосов низкого давления с мягким уплотнением. Поршневые кольца дизелей и газовых двигателей	Обтачивание и растачивание, сверление, литье под давлением

П.1.7. Нормирование отклонений формы плоских поверхностей [15]

Степень точности	Примеры применения	Способ обработки
1 – 2	Измерительные и рабочие поверхности особо точных средств измерения (концевых мер длины, лекальных линеек и т.д.). Направляющие прецизионных координатно-расточных, шлифовальных станков	Доводка, суперфиниширование, тонкое шабрение
3 – 4	Измерительные и рабочие поверхности средств измерения нормальной точности (поверочных линеек и плит, микрометров и др.). Опорные поверхности уровней. Направляющие станков повышенной точности. Базовые, установочные и измерительные поверхности контрольных приспособлений повышенной точности	Доводка, шлифование и шабрение повышенной точности
5 – 6	Направляющие и столы станков нормальной точности. Базовые и установочные поверхности технологических приспособлений повышенной точности. Направляющие точных машин и приборов. Поверхности плоских соединений в шестеренчатых и винтовых насосах. Упорные подшипники турбин большой мощности	Шлифование, шабрение, обтачивание повышенной точности
7 – 8	Разметочные плиты. Направляющие кривошипных и гидравлических прессов. Ползуны. Упорные подшипники машин малой мощности. Базовые поверхности кондукторов и других технологических приспособлений. Опорные поверхности корпусов подшипников и станин двигателей и паровых машин. Разъемы турбин и корпусов редукторов, масляных насосов, опорных подшипников валопроводов	Грубое шлифование, фрезерование, строгание, протягивание, обтачивание
9 – 10	Стыковые поверхности траверс и станин прокатных станов. Кронштейны и основания вспомогательных ручных механизмов. Опорные поверхности машин, устанавливаемых на клиньях и амортизирующих прокладках. Присоединительные поверхности арматуры, фланцев (с использованием мягких прокладок)	Фрезерование, строгание, обтачивание, долбление
11 – 12	Неответственные рабочие поверхности механизмов пониженной точности. Базовые поверхности столов, рам, рольгангов, планок в литейных машинах	Грубая механическая обработка всех видов

П.1.8. Нормирование отклонений от параллельности [15]

Степень точности	Примеры применения	Способ обработки
1 – 2	Направляющие и базовые поверхности прецизионных станков. Направляющие станины оптической делительной головки. Рабочие поверхности синусных линеек и угольников высокой точности	Доводка, суперфиниширование, алмазная обработка повышенной точности, шабрение повышенной точности
3 – 4	Направляющие поверхности станков высокой и повышенной точности. Особо точные направляющие приборов управления и регулирования. Измерительные и рабочие поверхности поверочных линеек, штриховых мер длины, призм	Доводка, шлифование, шабрение, хонингование
5 – 6	Рабочие поверхности станков нормальной точности. Измерительные поверхности микрометров и штангенциркулей. Рабочие поверхности технологических приспособлений высокой точности. Направляющие пазы и планки механизмов высокой точности. Торцы подшипников качения высокой точности. Оси отверстий и торцы корпусов рабочих шестерен и винтов в насосах. Базовые плоскости блока цилиндров двигателей	Шлифование, координатное растачивание, фрезерование, повышенной точности
7 – 8	Рабочие поверхности прессов и молотов. Плоскости плит штампов. Рабочие поверхности кондукторов. Торцы фрез. Опорные торцы крышек и колец для подшипников качения нормальной точности. Оси отверстий в головках шатуна. Оси расточек под гильзы в блоке цилиндров двигателя. Оси отверстий в корпусах зубчатых передач нормальной точности	Фрезерование, строгание, протягивание, шлифование, растачивание
9 – 10	Торцы крышек подшипников в тяжелом машиностроении. Шатунные шейки и ось коленчатого вала дизелей и газовых двигателей. Оси передач в лебедках, в ручных приводах	Фрезерование и растачивание, сверление и развертывание по кондуктору
11 – 12	Плоскости разъема и опорная плоскость в корпусах редукторов подъемно-транспортных машин. Оси и поверхности в вилках включения сельскохозяйственных машин	Грубая механическая обработка всех видов
13 – 16	Поверхности низкой точности	Все виды обработки

П.1.9. Нормирование отклонений от соосности и радиального биения [15]

Степень точности	Примеры применения	Способ обработки
1 – 2	Рабочие поверхности шпинделей и планшайб станков высокой точности. Опорные и посадочные шейки шпинделей измерительных приборов и оптических делительных головок. Рабочие поверхности колец прецизионных подшипников качения. Шейки валов и отверстий вкладышей подшипников высокоскоростных шпинделей	Доводка, тонкое шлифование, хонингование, алмазная обработка повышенной точности
3 – 4	Рабочие поверхности шпинделей станков повышенной и нормальной точности. Кольца подшипников качения высокой точности. Опорная и посадочная поверхности вкладышей подшипников насосов и гидротурбин. Конец вала электрических машин малой мощности (повышенной и нормальной точности). Посадочные шейки валов под зубчатые колеса высокой точности	Тонкое шлифование и точение, внутреннее шлифование с одного установа, хонингование
5 – 6	Втулки станочные повышенной точности. Отрезные алмазные круги. Кольца подшипников качения нормальной точности. Посадочные отверстия валов под зубчатые колеса повышенной точности. Опорные шейки коленчатого и распределительного валов автомобильных двигателей. Быстроходные валы повышенной точности	Шлифование, обтачивание повышенной точности, внутреннее шлифование и растачивание с одного установа
7 – 8	Рабочие кромки зенкеров, конических разверток, метчиков. Коренные шейки коленчатых валов дизелей и газовых двигателей. Отверстия под торцовые крышки и вкладыши в корпусах подшипников насосов и средних гидротурбин. Быстроходные валы нормальной точности (до 1000 об/мин). Трансмиссионные валы длиной до 1000 мм. Поверхности качения ходовых колес и посадочные поверхности барабанов подъемно-транспортных машин	Грубое шлифование; обтачивание и растачивание нормальной точности, протягивание, развертывание
9 – 10	Режущие кромки плашек, метчиков, сверл, фрез. Посадочные шейки валов под зубчатые колеса пониженной точности. Трансмиссионные валы длиной до 1000 – 4000 мм. Шейки валов и осей с допусками по 11 – 12 квалитетам	Обтачивание и растачивание, сверление
11 – 16	Поверхности низкой точности. Поверхности с неуказанными допусками	Все виды обработки

**П.1.10. Нормирование отклонений от перпендикулярности
и торцового биения [15]**

Степень точности	Примеры применения	Способ обработки
1 – 2	Основные направляющие и базовые поверхности прецизионных станков. Шпиндели и оправки зубоизмерительных приборов, оптической делительной головки. Кольца прецизионных подшипников качения	Доводка, тонкое шлифование, алмазная обработка повышенной точности
3 – 4	Основные направляющие и базовые поверхности станков высокой и повышенной точности. Рабочие поверхности угольников. Фланцы крупных турбин и генераторов. Заплечики валов под прецизионные подшипники качения	Доводка, шлифование и шабрение повышенной точности, тонкое точение
5 – 6	Рабочие поверхности станков нормальной точности. Опорные торцы долбяков и шеверов. Торцы корпусов, рабочих шестерен, винтов, рабочих роторов насосов высокого давления. Заплечики валов и корпусов под подшипники качения высокой точности. Фланцы валов и соединительных муфт двигателей. Торцы планшайб и патронов станков	Шлифование, шабрение, хонингование; фрезерование, строгание и растачивание повышенной точности
7 – 8	Рабочие поверхности прессов. Торцы станочных втулок. Заплечики валов и корпусов под подшипники качения нормальной точности. Торцы ступиц и распорных втулок. Оси отверстий в корпусах конических редукторов. Ось отверстий под палец в автомобильных и тракторных поршнях	Шлифование, фрезерование, строгание, долбление, растачивание
9 – 10	Торцы подшипников в ручных лебедках и приводах. Оси резьбовых шпилек относительно опорных плоскостей в двигателе. Зубчатые венцы колес с обработанными зубьями в с/х машинах	Обтачивание, грубое фрезерование, строгание и растачивание
11 – 12	Уплотнительные поверхности присоединительных фланцев вентиляей. Зубчатые венцы звездочек с обработанными зубьями в с/х машинах	Грубая механическая обработка всех видов
13 – 16	Поверхности низкой точности. Поверхности с неуказанными допусками	Все виды обработки

**П.1.11. Минимальные требования к шероховатости поверхности
в зависимости от допусков размера и формы [5, 15]**

Допуск размера по квалитетам	Допуск формы, % от допуска размера	Номинальные размеры, мм			
		до 18	св. 18 до 50	св. 50 до 120	св. 120 до 500
		Значения Ra , мкм, не более			
<i>IT3</i>	100	0,2	0,4	0,4	0,8
	60	0,1	0,2	0,2	0,4
	40	0,05	0,1	0,1	0,2
<i>IT4</i>	100	0,4	0,4	0,8	1,6
	60	0,2	0,2	0,4	0,8
	40	0,1	0,1	0,2	0,4
<i>IT5</i>	100	0,4	0,4	1,6	1,6
	60	0,2	0,2	0,8	0,8
	40	0,1	0,1	0,4	0,4
<i>IT6</i>	100	0,8	1,6	1,6	3,2
	60	0,4	0,8	0,8	1,6
	40	0,2	0,4	0,4	0,8
<i>IT7</i>	100	1,6	3,2	3,2	3,2
	60	0,8	1,6	1,6	3,2
	40	0,4	0,8	0,8	1,6
<i>IT8</i>	100	1,6	3,2	3,2	3,2
	60	0,8	1,6	3,2	3,2
	40	0,4	0,8	1,6	1,6
<i>IT9</i>	100 и 60	3,2	3,2	6,3	6,3
	40	1,6	3,2	3,2	6,3
	25	0,8	1,6	1,6	3,2
<i>IT10</i>	100 и 60	3,2	6,3	6,3	6,3
	40	1,6	3,2	3,2	6,3
	25	0,8	1,6	1,6	3,2
<i>IT11</i>	100 и 60	6,3	6,3	12,5	12,5
	40	3,2	3,2	6,3	6,3
	25	1,6	1,6	3,2	3,2
<i>IT 12</i> и <i>IT13</i>	100 и 60	12,5	12,5	25	25
	40	6,3	6,3	12,5	12,5
<i>IT 14</i> и <i>IT15</i>	100 и 60	12,5	25	50	50
	40	12,5	12,5	25	25
<i>IT 16</i> и <i>IT17</i>	100 и 60	25	50	100	100
	40	25	25	50	50
Примечания: 1. Если относительный допуск формы меньше значений, указанных в таблице, то значение Ra следует назначить не более $0,15 TF$. 2. При необходимости по функциональным требованиям допускается устанавливать значения Ra менее указанных в таблице.					

**П.1.12. Требования к точности размеров вала и отверстия корпуса,
сопрягаемых с подшипниками качения (ГОСТ 3325)**

Квалитет	Класс точности подшипника		
	0, 6	5, 4	2
вала	[6], 7, 8	[5]	3, [4]
отверстия	[7], 8, 9	[6]	4, [5]
Примечание. В квадратных скобках указаны квалитеты валов и отверстий для основных типов соединений.			

**П.1.13. Допускаемое торцовое биение заплечиков (выступов) валов и отверстий
корпусных деталей при установке подшипников качения (ГОСТ 3325)**

Номинальный диаметр, мм	Классы точности подшипников				
	0	6	5	4	2
	Допускаемое биение, мкм, не более				
Биение заплечиков вала					
Св. 10 до 18	18	11	5	3	2
Св. 18 до 30	21	13	6	4	2,5
Св. 30 до 50	25	16	7	4	2,5
Св. 50 до 80	30	19	8	5	3
Св. 80 до 120	35	22	10	6	4
Св. 120 до 180	40	25	12	8	5
Св. 180 до 250	46	29	14	10	7
Св. 250 до 315	52	32	16	—	—
Св. 315 до 400	57	36	18	—	—
Биение заплечиков отверстия в корпусе					
Св. 10 до 18	27	18	8	5	3
Св. 18 до 30	33	21	9	6	4
Св. 30 до 50	39	25	11	7	4
Св. 50 до 80	46	30	13	8	5
Св. 80 до 120	54	35	15	10	6
Св. 120 до 180	63	40	18	12	8
Св. 180 до 250	72	46	20	14	10
Св. 250 до 315	81	52	23	16	12
Св. 315 до 400	89	57	25	21	13

**П.1.14. Допуски соосности поверхностей и допустимые углы
взаимного перекоса колец подшипников (ГОСТ 3325)**

Тип подшипника	Допуск соосности посадочных поверхностей, мкм		Допустимый угол взаимного перекоса колец подшипника θ_{max} , мин
	вала $\varnothing TPC^B$	корпуса $\varnothing TPC^K$	
Радиальный однорядный шариковый с радиальным зазором: нормальным по седьмому ряду по восьмому ряду	4,0	8,0	8
	6,0	12,0	12
	8,0	16,0	16
Радиально-упорный шариковый с углом контакта α : 12° 26° 36°	3,0	6,0	6
	2,4	4,8	5
	2,0	4,0	4
Радиальный с цилиндрическими роликами: без модифицированного контакта с модифицированным контактом	1,0	2,0	2
	3,0	6,0	6
Конический с роликами: без модифицированного контакта с модифицированным контактом	1,0	2,0	2
	2,0	4,0	4
Упорный с цилиндрическими или коническими роликами	0,5	1,0	1
Игольчатый роликовый: без модифицированного контакта с модифицированным контактом	0,5	1,0	1
	2,0	4,0	4
Шариковый радиальный сфериче- ский двухрядный	6,0	12,0	4°
Примечания: 1. Допуски соосности посадочных поверхностей TPC^B и TPC^K даны в диаметральном выражении относительно общей оси для посадочной поверхности (ширины подшипника) $B = 10$ мм. Если длина посадочной поверхности иная (например, B_2), то для определения допуска соосности табличное значение следует умножить на $B_2/10$. 2. В чертежах вала и корпуса разрешается вместо соосности указывать допуски радиального биения.			

П.1.15. Допуски формы посадочных поверхностей валов и отверстий в корпусе (ГОСТ 3325)

Интервалы номинальных диаметров, мм	Допуски формы посадочных поверхностей, мкм, не более											
	круглости			профиля продольного сечения			непостоянства диаметра					
							в поперечном сечении			в продольном сечении		
	Классы точности подшипника											
0 и 6	5 и 4	2	0 и 6	5 и 4	2	0 и 6	5 и 4	2	0 и 6	5 и 4	2	
Посадочные поверхности вала												
От 10 до 18	3,0	1,3	0,6	3,0	1,3	0,6	6,0	2,6	1,2	6,0	2,6	1,2
Св. 18 до 30	3,5	1,5	0,8	3,5	1,5	0,8	7,0	3,0	1,6	7,0	3,0	1,6
Св. 30 до 50	4,0	2,0	1,0	4,0	2,0	1,0	8,0	4,0	2,0	8,0	4,0	2,0
Св. 50 до 80	5,0	2,0	1,0	5,0	2,0	1,0	10,0	4,0	2,0	10,0	4,0	2,0
Св. 80 до 120	6,0	2,5	1,2	6,0	2,5	1,2	12,0	5,0	2,4	12,0	5,0	2,4
Св. 120 до 180	6,0	3,0	1,5	6,0	3,0	1,5	12,0	6,0	3,0	12,0	6,0	3,0
Св. 180 до 250	7,0	3,5	1,7	7,0	3,5	1,7	14,0	7,0	3,4	14,0	7,0	3,4
Св. 250 до 315	8,0	4,0	–	8,0	4,0	–	16,0	8,0	–	16,0	8,0	–
Св. 315 до 400	9,0	4,0	–	9,0	4,0	–	18,0	8,0	–	18,0	8,0	–
Посадочные поверхности отверстия												
От 10 до 18	4,5	2,0	1,0	4,5	2,0	1,0	9,0	4,0	2,0	9,0	4,0	2,0
Св. 18 до 30	5,0	2,0	1,0	5,0	2,0	1,0	10,0	4,0	2,0	10,0	4,0	2,0
Св. 30 до 50	6,0	2,5	1,4	6,0	2,5	1,4	12,0	5,0	2,8	12,0	5,0	2,8
Св. 50 до 80	7,5	3,0	1,6	7,5	3,0	1,6	15,0	6,0	3,2	15,0	6,0	3,2
Св. 80 до 120	9,0	3,5	2,0	9,0	3,5	2,0	18,0	7,0	4,0	18,0	7,0	4,0
Св. 120 до 180	10,0	4,0	2,2	10,0	4,0	2,2	20,0	8,0	4,4	20,0	8,0	4,4
Св. 180 до 250	11,5	5,0	2,5	11,5	5,0	2,5	23,0	10,0	5,0	23,0	10,0	5,0
Св. 250 до 315	13,0	5,3	3,0	13,0	5,3	3,0	26,0	10,6	6,0	26,0	10,6	6,0
Св. 315 до 400	14,0	6,0	4,0	14,0	6,0	4,0	28,0	12,0	8,0	28,0	12,0	8,0
Примечание. Допускается измерять диаметральные отклонения формы в виде непостоянства диаметра посадочных поверхностей валов и отверстий в поперечном и продольном сечениях.												

**П.1.16. Шероховатость посадочных поверхностей валов и отверстий
в корпусе под подшипники качения (ГОСТ 3325)**

Подшипник качения		Посадочные поверхности		
Класс точности	Номинальный размер, мм	валов	отверстий корпусов	опорных торцов заплечиков
		<i>Ra</i> , мкм		
0	До 80	1,25 0,8	1,25 0,8	2,5 1,6
	80 – 500	2,5 1,6	2,5 1,6	2,5 1,6
6 и 5	До 80	0,63 0,4	0,63 0,4	1,25 0,8
	80 – 500	1,25 0,8	1,25 0,8	2,5 1,6
4	До 80	0,32 0,2	0,63 0,4	1,25 0,8
	80 – 500	0,63 0,4	1,25 0,8	2,5 1,6
2	До 80	0,16 0,1	0,32 0,2	0,63 0,4
	80 – 500	0,32 0,2	0,63 0,4	0,63 0,4
Примечания: 1. Для подшипников на закрепительных или стяжных втулках <i>Ra</i> не должно превышать 2,5 мкм. 2. Для посадочных поверхностей и опорных торцов заплечиков в чугунных корпусах допускается принимать <i>Ra</i> не более 2,5 мкм для диаметров сопряжений до 80 мм и не более 3,2 мкм – для диаметров свыше 80 мм при установке подшипников классов точности 0 и 6 и обеспечении заданного ресурса работы подшипникового узла. 3. Для посадочных поверхностей и опорных торцов заплечиков на валах и корпусах, выполненных из стали, для малонагруженных подшипников класса точности 0 допускается принимать <i>Ra</i> не более 2,5 мкм для диаметров сопряжений до 80 мм и не более 3,2 мкм для диаметров более 80 мм. 4. В рамках указаны предпочтительные значения <i>Ra</i>.				

ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МАТЕРИАЛОВ

П.2.1. Модуль упругости, коэффициент Пуассона и коэффициент линейного расширения некоторых материалов [2]

Материал	Модуль упругости E	Коэффициент Пуассона μ	Коэффициент линейного расширения α
Сталь углеродистая	2,0 – 2,1	0,24 – 0,28	11 – 12
Сталь легированная	2,1	0,25 – 0,30	11 – 12
Чугун серый	0,8 – 1,5	0,23 – 0,27	9 – 11
Чугун высокопрочный	1,2 – 1,6	0,23 – 0,27	10 – 12
Бронза оловянная	0,75 – 1,24	0,32 – 0,35	17 – 18
Бронза безоловянная	1,05 – 1,2	0,32 – 0,35	16 – 18
Латунь марганцовая	1,1	0,36	17 – 22
Латунь алюминиевая	1,0 – 1,05	0,32 – 0,34	17 – 22
Алюминиевые сплавы	0,70 – 0,72	0,32	20 – 26
Магниеые сплавы	0,40 – 0,45	0,34	24 – 27
Титановые сплавы	1,05 – 1,25	0,30	8 – 10

П.2.2. Средние значения коэффициентов трения покоя при распрессовке [2]

Материал		Коэффициент трения при сборке			
втулки	вала	под прессом со смазкой	под прессом без смазки	с нагревом втулки без смазки	с охлаждением вала без смазки
При действии продольной осевой силы					
Сталь	Сталь	0,2	–	0,4	0,4
Сталь	Чугун	0,14	–	0,28	0,21
Сталь	Бронза	0,11	–	–	0,27
Чугун	Сталь	0,17	–	0,18	0,18
Бронза	Сталь	–	0,07	–	–
Латунь	Сталь	–	0,1	0,25	0,25
Магниеые или алюминиевые сплавы	Сталь	–	0,09	0,15	0,15
При действии крутящего момента					
Сталь	Сталь	0,08	–	0,35	0,16
Чугун	Сталь	0,09	–	0,13	0,13
Бронза	Сталь	–	0,04	–	–
Латунь	Сталь	–	0,04	0,25	0,17
Магниеые или алюминиевые сплавы	Сталь	–	0,03	0,1	0,1

П.2.3. Значения предела текучести σ_T некоторых материалов [2]

Наименование материала	Термообработка	σ_T , МПа
Сталь Ст.5	-	290
Сталь 15	Нормализация	230
Сталь 20	Нормализация	250
Сталь 25	Нормализация	280
Сталь 30	Нормализация	300
Сталь 35	Нормализация	320
	Закалка	650
Сталь 40	Нормализация	340
	Закалка	650
Сталь 45	Нормализация	360
	Закалка	650
Сталь 20Х	Нормализация	300
	Цементация, закалка	630
Сталь 40Х	Нормализация	330
	Закалка	900
Сталь 18ХГТ	Нормализация	430
	Цементация, закалка	800
Чугун СЧ 28	—	274
Чугун ВЧ 45	—	330
Бронза Бр.ОФ10-1	—	196
Бронза Бр. АЖН10-4-4	—	392
Латунь ЛМц ОС58-2-2	—	343
Латунь ЛАЖ 60-1-1Л	—	250
Титановый сплав ВТ3-1	—	860

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

ЗНАЧЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ РАДИАЛЬНОЙ X И ОСЕВОЙ Y НАГРУЗКИ

П.3.1. Коэффициенты X и Y для роликовых радиально-упорных подшипников (ГОСТ 18855)

Конструктивная разновидность подшипника	X	Y	X	Y	e
	при $\frac{F_a}{V \cdot F_r} \leq e$		при $\frac{F_a}{V \cdot F_r} > e$		
Однорядный	1	0	0,40	$0,4 \cdot \operatorname{ctg} \alpha$	$1,5 \cdot \operatorname{tg} \alpha$
Двухрядный	1	$0,45 \cdot \operatorname{ctg} \alpha$	0,67	$0,67 \cdot \operatorname{ctg} \alpha$	$1,5 \cdot \operatorname{tg} \alpha$

П.3.2. Коэффициенты X и Y для шариковых радиальных и радиально-упорных однорядных подшипников (ГОСТ 18855)

Конструктивная разновидность подшипника	Угол контакта α , град	Относительная осевая нагрузка $\frac{F_a}{C_{or}^*}$	X	Y	X	Y
			для однорядного подшипника			
			$\frac{F_a}{V \cdot F_r} \leq e$		$\frac{F_a}{V \cdot F_r} > e$	
Радиальный подшипник	0	0,014	1	0	0,56	2,30
		0,028				1,99
		0,056				1,71
		0,084				1,55
		0,110				1,45
		0,170				1,31
		0,280				1,15
		0,420				1,04
		0,560				1,00
Радиально- упорный подшипник	12	0,014	1	0	0,45	1,81
		0,029				1,62
		0,057				1,46
		0,086				1,34
		0,110				1,22
		0,170				1,13
		0,290				1,04
		0,430				1,01
		0,570				1,00
	26	—	1	0	0,41	0,87
	36	—	1	0	0,37	0,66

* – базовая статическая радиальная грузоподъемность, Н [2, 16].

**РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРИМЕНЕНИЮ СТЕПЕНЕЙ ТОЧНОСТИ
ДЛЯ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС ($m > 1$)**

Сте- пень точно- сти	Условия работы и применения зубчатых колес (ЗК)	Окружная скорость, м/с	
		прямо- зубые колеса	непрямо- зубые колеса
3	ЗК передач с особо прецизионной согласованностью вращения* или работающих при особо высоких скоростях с наибольшей плавностью и бесшумностью; ЗК особо прецизионных механизмов, особо высокоскоростных передач (турбинных); измерительные колеса для контроля ЗК 5, 6 степени точности	Св. 40	Св. 75
4	ЗК для особо прецизионных делительных механизмов*, передач, работающих при весьма высоких скоростях и требующих наибольшей плавности и бесшумности**, особо прецизионных механизмов, высокоскоростных турбинных передач; измерительные колеса для ЗК 7 степени точности	Св. 35	Св. 70
5	ЗК для прецизионных делительных механизмов*, передач, работающих при высоких скоростях, требующих высокой плавности и бесшумности**, прецизионных механизмов, турбинных передач; измерительные колеса для ЗК 8, 9 степени точности	Св. 20	Св. 40
6	ЗК при высоких требованиях к плавности работы передач на высоких скоростях, требующих наиболее высокого КПД и бесшумности**; ЗК делительных механизмов*; особо ответственные ЗК передач автомобилей и самолетов, особо точных отсчетных передач	До 15	До 30
7	ЗК передач, работающих при повышенных скоростях и умеренных мощностях или наоборот**; ЗК механизмов металлорежущих станков, требующих согласованности движений*; ЗК скоростных передач автомобилей и самолетов, отсчетные передачи	До 10	До 15
8	ЗК передач, не требующих особой точности (общее машиностроение); ЗК передач металлорежущих станков, не входящие в делительные цепи; ЗК неответственных передач автомобилей и самолетов, грузоподъемных механизмов, ответственных передач сельскохозяйственных машин, редукторов нормальной точности	До 6	До 10
9	ЗК передач, к которым не предъявляют особых требований; ненагруженные передачи, выполняемые по конструктивным соображениям большими, чем следует из расчета	До 2	До 4
* – Степень точности по нормам плавности может быть на одну степень грубее. ** – Степень точности по нормам кинематической точности может быть на одну степень грубее.			

ПРИЛОЖЕНИЕ 5

ЗНАЧЕНИЯ ИНТЕГРАЛА ВЕРОЯТНОСТЕЙ $\Phi_0(z)$

z	$\Phi_0(z)$	z	$\Phi_0(z)$	z	$\Phi_0(z)$	z	$\Phi_0(z)$
0,01	0,0040	0,31	0,1217	0,72	0,2642	1,80	0,4641
0,02	0,0080	0,32	0,1255	0,74	0,2703	1,85	0,4678
0,03	0,0120	0,33	0,1293	0,76	0,2764	1,90	0,4713
0,04	0,0160	0,34	0,1331	0,78	0,2823	1,95	0,4744
0,05	0,0199	0,35	0,1368	0,80	0,2881	2,00	0,4772
0,06	0,0239	0,36	0,1406	0,82	0,2939	2,05	0,4798
0,07	0,0279	0,37	0,1443	0,84	0,2995	2,10	0,4821
0,08	0,0319	0,38	0,1480	0,86	0,3051	2,15	0,4842
0,09	0,0359	0,39	0,1517	0,88	0,3106	2,20	0,4861
0,10	0,0398	0,40	0,1554	0,90	0,3159	2,25	0,4878
0,11	0,0438	0,41	0,1591	0,92	0,3212	2,3	0,48928
0,12	0,0478	0,42	0,1628	0,94	0,3264	2,35	0,49061
0,13	0,0517	0,43	0,1664	1,96	0,3315	2,40	0,49180
0,14	0,0557	0,44	0,1700	1,98	0,3365	2,45	0,49286
0,15	0,0596	0,45	0,1736	1,00	0,3413	2,50	0,49379
0,16	0,0636	0,46	0,1772	1,05	0,3531	2,55	0,49461
0,17	0,0675	0,47	0,1808	1,10	0,3643	2,60	0,49534
0,18	0,0714	0,48	0,1844	1,15	0,3749	2,65	0,49598
0,19	0,0753	0,49	0,1879	1,20	0,3849	2,70	0,49653
0,20	0,0793	0,50	0,1915	1,25	0,3944	2,75	0,49702
0,21	0,0832	0,52	0,1985	1,30	0,4032	2,85	0,49781
0,22	0,0871	0,54	0,2054	1,35	0,4115	2,95	0,49841
0,23	0,0910	0,56	0,2123	1,40	0,4192	3	0,49865
0,24	0,0948	0,58	0,2190	1,45	0,4262	3,1	0,49918
0,25	0,0987	0,60	0,2257	1,50	0,4332	3,2	0,49931
0,26	0,1020	0,62	0,2324	1,55	0,4394	3,4	0,49966
0,27	0,1064	0,64	0,2389	1,60	0,4452	3,6	0,49984
0,28	0,1103	0,66	0,2454	1,65	0,4505	3,8	0,499928
0,29	0,1141	0,68	0,2517	1,70	0,4554	4	0,4999683
0,30	0,1179	0,70	0,2580	1,75	0,4599	4,5	0,4999966
						5	0,499999713

Примечание: В таблице приведены значения функции Лапласа для положительных аргументов. Значения функции для отрицательных аргументов определяются по формуле $\Phi(-z) = -\Phi(z)$.

**ЗНАЧЕНИЯ КРИТЕРИЯ ФИШЕРА ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ
УРОВНЕЙ ЗНАЧИМОСТИ**

k_2	F_q при k_1 , равном									
	1	2	3	4	5	6	8	12	16	∞
	$q = 0,05$									
2	18,51	19,00	19,16	19,25	19,30	19,33	19,37	19,41	19,43	19,50
4	7,71	6,94	6,59	6,39	6,26	6,16	6,04	5,91	5,84	5,63
6	5,99	5,14	4,76	4,53	4,39	4,28	4,15	4,00	3,92	3,67
8	5,32	4,46	4,07	3,84	3,69	3,58	3,44	3,28	3,20	2,93
10	4,96	4,10	3,71	3,48	3,33	3,22	3,07	2,91	2,82	2,54
12	4,75	3,88	3,49	3,26	3,11	3,00	2,85	2,69	2,60	2,30
14	4,60	3,74	3,34	3,11	2,96	2,85	2,70	2,53	2,44	2,13
16	4,49	3,63	3,24	3,01	2,85	2,74	2,59	2,42	2,33	2,01
18	4,41	3,55	3,16	2,93	2,77	2,66	2,51	2,34	2,25	1,92
20	4,35	3,49	3,10	2,87	2,71	2,60	2,45	2,28	2,18	1,64
30	4,17	3,32	2,92	2,69	2,53	2,42	2,27	20,9	1,99	1,62
∞	3,84	2,99	2,60	2,37	2,21	2,09	19,4	1,75	1,64	1,00
	$q = 0,01$									
2	98,49	99,00	99,17	99,25	99,30	99,33	99,36	99,42	99,44	99,50
4	21,20	18,00	16,69	15,98	15,52	15,21	14,80	14,37	14,15	13,46
6	13,74	10,92	9,78	9,15	8,75	8,47	8,10	7,72	7,52	6,88
8	11,26	8,65	7,59	7,01	6,63	6,37	6,03	5,67	5,48	4,86
10	10,04	7,56	6,55	5,99	5,64	5,39	5,06	4,71	4,52	3,91
12	9,33	6,93	5,95	5,41	5,06	4,82	4,50	4,16	3,98	3,36
14	8,86	6,51	5,56	5,03	4,69	4,46	4,14	3,80	3,62	3,00
16	8,53	6,23	5,29	4,77	4,44	4,20	3,89	3,55	3,37	2,75
18	8,28	6,01	5,09	4,58	4,25	4,01	3,71	3,37	3,20	2,57
20	8,10	5,85	4,94	4,43	4,10	3,87	3,56	3,23	3,05	2,42
30	7,56	5,39	4,51	4,02	3,70	3,47	3,17	2,84	2,66	2,01
∞	6,64	4,60	3,78	3,32	3,02	2,80	2,51	2,18	1,99	1,00
Примечание: k_1 – число степеней свободы большей дисперсии; k_2 – число степеней свободы меньшей дисперсии.										

ДОПУСКАЕМЫЕ ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ

П.7.1. Допускаемые погрешности измерения линейных размеров (ГОСТ 8.051)

Номинальные размеры, мм	Допуски размеров <i>IT</i> и допускаемые погрешности измерения δ , мкм для квалитетов													
	6		7		8		9		10		11		12	
	<i>IT</i>	δ	<i>IT</i>	δ	<i>IT</i>	δ	<i>IT</i>	δ	<i>IT</i>	δ	<i>IT</i>	δ	<i>IT</i>	δ
До 3	6	1,8	10	3,0	14	3,0	25	6	40	8	60	12	100	20
Св. 3 до 6	8	2,0	12	3,0	18	4,0	30	8	48	10	75	16	120	30
Св. 6 до 10	9	2,0	15	4,0	22	5,0	36	9	58	12	90	18	150	30
Св. 10 до 18	11	3,0	18	5,0	27	7,0	43	10	70	14	110	30	180	40
Св. 18 до 30	13	4,0	21	6,0	33	8,0	52	12	84	18	130	30	210	50
Св. 30 до 50	16	5,0	25	7,0	39	10,0	62	16	100	20	160	40	250	50
Св. 50 до 80	19	5,0	30	9,0	46	12,0	74	18	120	30	190	40	300	60
Св. 80 до 120	22	6,0	35	10,0	54	12,0	87	20	140	30	220	50	350	70
Св. 120 до 180	25	7,0	40	12,0	65	16,0	100	30	160	40	250	50	400	80
Св. 180 до 250	29	8,0	46	12,0	72	18,0	115	30	185	40	290	60	460	100
Св. 250 до 315	32	10,0	52	14,0	81	20,0	130	30	210	50	320	70	520	120
Св. 315 до 400	36	10,0	57	16,0	89	24,0	140	40	230	50	360	80	570	120
Св. 400 до 500	40	12,0	63	18,0	97	26,0	155	40	250	50	400	80	630	140

**П.7.2. Допускаемые погрешности измерения линейных размеров
с неуказанными допусками (ГОСТ 8.549)**

Номинальные размеры, мм	Допускаемые погрешности измерения размеров с допусками, назначенными по			
	квалитету 12 или классу точности «точный»	квалитетам 13, 14 или классу точности «средний»	квалитетам 15, 16 или классу точности «грубый»	квалитету 17 или классу точности «очень грубый»
Св. 1 до 3	50	100	150	150
» 3 » 6	50	100	200	500
» 6 » 30	100	200	300	500
» 30 » 120	150	250	400	800
» 120 » 315	200	300	600	1000
» 315 » 500	300	500	1000	1500

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

**П.7.3. Допускаемые погрешности измерений отклонений формы
и расположения поверхностей, мкм (ГОСТ 28187)**

Допуск формы или располо- жения поверхности	Допускаемая погрешность измерений	Допуск формы или располо- жения поверхности	Допускаемая погрешность измерений	Допуск формы или располо- жения поверхности	Допускаемая погрешность измерений
0,1	0,04	2,5	0,9	60	18
0,12	0,04	3	1	80	20
0,16	0,06	4	1,4	100	25
0,2	0,07	5	1,8	120	30
0,25	0,09	6	2	160	40
0,3	0,1	8	3	200	50
0,4	0,14	10	3,5	250	50
0,5	0,18	12	4	300	60
0,6	0,2	16	6	400	80
0,8	0,3	20	7	500	100
1	0,35	25	9	600	120
1,2	0,4	30	9	800	160
1,6	0,6	40	12	1000	200
2	0,7	50	15	1200	240

Примечание: Для допусков соосности, симметричности, пересечения осей, позиционных допусков, допусков формы заданного профиля или заданной поверхности числовые значения, указанные в табл., относятся к допускам в радиусном выражении. Если числовые значения этих допусков заданы в диаметральной выражении, то их следует разделить пополам, после чего определить допускаемую погрешность измерений.

ТЕМЫ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

1. Выбор посадок гладких соединений деталей методами аналогов и подобия.
2. Расчет и выбор посадки с зазором в гидродинамическом подшипнике скольжения.
3. Расчет и выбор посадки с натягом.
4. Нормирование точности узлов с подшипниками скольжения.
5. Нормирование точности типовых деталей машин и приборов.
6. Нормирование точности цилиндрических зубчатых колес и передач.
7. Обработка результатов многократных прямых равноточных и неравноточных измерений.
8. Обработка результатов косвенных измерений.
9. Выбор универсальных средств измерений линейных размеров.
10. Расчет исполнительных размеров калибров.

СОСТАВ И СОДЕРЖАНИЕ РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКИХ РАБОТ

№ п/п	Название работы	Содержание графической части	Содержание пояснительной части
1.	Выбор посадок гладких соединений методами аналогов и подоби	Чертеж узла с указанием выбранных посадок. Схемы полей допусков посадок	Обоснование выбора посадок. Расчет предельных размеров, зазоров, натягов; допусков размеров, зазоров, натягов
2.	Нормирование точности узлов с подшипниками качения	Чертеж узла с указанием назначенных посадок, схемы полей допусков посадок	Обоснование выбора посадок и установленных требований к точности элементов деталей
3.	Нормирование точности типовых деталей машин	Чертеж детали с указанием требований к точности размеров, формы, расположения и шероховатости поверхностей	Обоснование принятых решений по нормированию точности детали
4.	Расчет зависимых допусков формы, расположения и координирующих их размеров	Чертеж детали с указанием зависимого допуска. График изменения допуска формы, расположения или координирующего размера в зависимости от действительного размера рассматриваемого или базового элементов	Расчеты предельных и промежуточных значений зависимых допусков
5.	Выбор универсального средства измерения параметра точности детали (по работе 3)	Схемы полей допусков: назначенного конструктором и производственного	Обоснование выбора средства измерения. Метрологическая характеристика средства измерения. Результаты разбраковки деталей по принятому в работе параметру точности

ТЕСТОВЫЕ ЗАДАНИЯ

ОСНОВЫ ТЕХНИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ И СТАНДАРТИЗАЦИИ

1. Система технического регулирования РФ приведена в соответствие с требованиями международных организаций по стандартизации с целью ...
 - а) устранения технических барьеров в торговле;
 - б) упразднения национальных стандартов;
 - в) устранения специализации при изготовлении продукции;
 - г) содействия взаимопониманию в деловых отношениях.
2. Обязательные требования к объектам технического регулирования сформулированы в ...
 - а) государственных стандартах;
 - б) национальных стандартах;
 - в) технических регламентах;
 - г) рекомендациях.
3. Технический регламент, утвержденный правительственным органом РФ по техническому регулированию, носит характер ...
 - а) рекомендательный для стран СНГ;
 - б) рекомендательный для РФ;
 - в) обязательный для стран СНГ;
 - г) обязательный для РФ.
4. Федеральным органом исполнительной власти, осуществляющим функции по выработке государственной политики в области стандартизации, является ...
 - а) Госстандарт;
 - б) Росстандарт;
 - в) Ростехрегулирование;
 - г) Ростехстандарт.
5. Деятельность по установлению правил и характеристик в целях их добровольного многократного использования – это ...
 - а) симплификация;
 - б) унификация;
 - в) стандартизация;
 - г) типизация.
6. Одной из целей стандартизации является ...
 - а) повышение качества и конкурентоспособности продукции;
 - б) поощрение создания систем аккредитации;
 - в) гармонизация инфраструктуры испытаний;
 - г) обеспечение требуемой точности измерений.

7. Одним из принципов стандартизации согласно ГОСТ Р 1.0–2004 является ...
- а) ограничение применения международных стандартов;
 - б) недопустимость использования международных стандартов в качестве базы для разработки национальных стандартов;
 - в) использование международных стандартов в крайних случаях;
 - г) использование международных стандартов в качестве основы при разработке национальных стандартов.
8. Целью деятельности Международной организации по стандартизации (ИСО) является ...
- а) упразднение национальных стандартов;
 - б) содействие взаимопониманию в деловых отношениях;
 - в) содействие развитию стандартизации в мировом масштабе для облегчения товарообмена и взаимопомощи;
 - г) устранение специализации при изготовлении продукции.
9. Правовые основы стандартизации в РФ обеспечиваются ...
- а) Федеральным законом «О техническом регулировании»;
 - б) Федеральным законом «О стандартизации и ее методах»;
 - в) международными стандартами;
 - г) руководящими указаниями Правительства РФ.
10. Стандарты ГОСТ Р – это ...
- а) стандарты, требования которых не носят обязательный характер для стран СНГ;
 - б) стандарты, требования которых носят обязательный характер для стран СНГ;
 - в) стандарты, требования которых не носят обязательный характер для РФ;
 - г) стандарты, требования которых носят обязательный характер для РФ.
11. Гармонизированные стандарты – это ...
- а) стандарты предприятий;
 - б) стандарты научно-технических и инженерных обществ;
 - в) стандарты, относящиеся к одному и тому же объекту и утвержденные различными органами, занимающимися стандартизацией;
 - г) стандарты, относящиеся к разным объектам и утвержденные органом, занимающимся стандартизацией.
12. Консенсус всех заинтересованных сторон при разработке и принятии стандартов достигается процедурой ...
- а) публичного обсуждения проекта стандарта;
 - б) ограничений по публичности обсуждения проекта стандарта;
 - в) закрытого обсуждения проекта стандарта;
 - г) обсуждения проекта стандарта ограниченным кругом квалифицированных специалистов.

13. Систематизация, оптимизация и увязка всех взаимодействующих факторов, обеспечивающих оптимальный уровень качества продукции, достигается ...

- а) комплексной стандартизацией;
- б) полной взаимозаменяемостью;
- в) техническими измерениями;
- г) опережающей стандартизацией.

14. Опережающая стандартизация заключается в ...

- а) разработке новых стандартов на основе имеющихся;
- б) разработке новых стандартов на основе международных;
- в) установлении повышенных норм требований к стандартам;
- г) установлении повышенных норм требований к объектам стандартизации (ранее существующим).

15. Метод стандартизации, заключающийся в простом ограничении количества типов или других разновидностей изделий до числа, достаточного для удовлетворения существующих в данное время потребностей, называется:

- а) симплификацией;
- б) стандартизацией;
- в) унификацией;
- г) оптимизацией.

16. Для рационального сокращения номенклатуры изделий (типов, видов, моделей) широко используются ... ряды (ГОСТ 8032-84).

- а) параметрические;
- б) гармонизированные;
- в) логарифмические;
- г) математические.

17. В России действует система предпочтительных чисел, построенных по геометрической прогрессии со знаменателями ...

- а) 0,6; 0,25; 0,12; 0,06;
- б) 6; 25; 12; 6;
- в) 1,6; 1,25; 1,12; 1,06;
- г) 16; 125; 112; 106.

18. Деятельность, по приведению объектов одинакового функционального назначения к единообразию по установленному принципу и рациональное сокращение числа этих объектов, называется...

- а) систематизацией;
- б) сертификацией;
- в) симплификацией;
- г) унификацией.

19. Метод конструирования машин и оборудования путем применения ограниченного числа унифицированных и стандартных деталей и сборочных единиц, обладающих функциональной и геометрической взаимозаменяемостью, называется ...

- а) типизацией;
- б) унификацией;
- в) агрегатированием;
- г) симплификацией.

20. Знак СЕ, которым маркирована продукция, означает ...

- а) селективную сборку изделия;
- б) высокое качество изделия;
- в) соблюдение требований директив ЕС;
- г) соблюдение требований стандартов СЕ.

СТАНДАРТИЗАЦИЯ НОРМ ТОЧНОСТИ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ДЕТАЛЕЙ

21. Свойство изделий и их частей равномерно заменять при использовании любой из множества экземпляров изделий или их частей другим однотипным экземпляром называется ...

- а) стандартизацией;
- б) сертификацией;
- в) типизацией;
- г) взаимозаменяемостью.

22. Взаимозаменяемость по присоединительным размерам узла и его эксплуатационным параметрам называется ...

- а) внутренней взаимозаменяемостью;
- б) внешней взаимозаменяемостью;
- в) полной взаимозаменяемостью;
- г) неполной взаимозаменяемостью.

23. Взаимозаменяемость деталей и сборочных единиц, входящих в изделие, называется ...

- а) внутренней взаимозаменяемостью;
- б) внешней взаимозаменяемостью;
- в) полной взаимозаменяемостью;
- г) неполной взаимозаменяемостью.

24. Точность размера – это ...

- а) степень приближения истинного значения размера к его заданному значению;
- б) числовое значение величины в выбранных единицах измерения;
- в) термин, условно применяемый для погрешности изготовления;
- г) разность между наибольшим и наименьшим предельными размерами.

25. Отношение допуска к погрешности изготовления называется ...
- а) погрешностью размера;
 - б) точностью размера;
 - в) технологическим запасом точности;
 - г) технологическим запасом погрешности.
26. Номинальный размер – это размер, который ...
- а) всегда больше наибольшего предельного размера детали;
 - б) всегда меньше наименьшего предельного размера детали;
 - в) равен действительному размеру детали;
 - г) служит началом отсчета отклонений.
27. Действительный размер детали – это размер ...
- а) указанный на чертеже;
 - б) служит началом отсчета отклонений;
 - в) установлен измерением с допускаемой погрешностью;
 - г) получен расчетом на прочность.
28. Предельные размеры детали – это два размера ...
- а) между которыми не может находиться действительный размер годной детали;
 - б) которым должен быть равен номинальный размер годной детали;
 - в) которые не допускаются превышать при изготовлении;
 - г) между которыми должен находиться или которым может быть равен действительный размер годной детали.
29. Допуск размера детали – это ...
- а) разность между наибольшим и наименьшим предельными размерами детали;
 - б) алгебраическая сумма предельных отклонений;
 - в) алгебраическая разность между наибольшим и номинальными размерами детали;
 - г) разность между номинальным и наименьшим предельным размерами детали.
30. Посадкой называют характер соединения двух деталей, определяемый величиной ...
- а) предельных размеров деталей;
 - б) номинальных размеров деталей;
 - в) получающихся в нем зазоров или натягов;
 - г) квалитетов размеров.
31. Единица допуска i зависит от ...
- а) наименьшего граничного значения рассматриваемого интервала размеров;
 - б) среднего геометрического размера D граничных значений рассматриваемого интервала размеров;
 - в) номинального размера D ;
 - г) большего граничного значения рассматриваемого интервала размеров.

32. Допуск размера для квалитетов 5-7 определяют по формуле ...

- а) $IT = i \cdot D$;
- б) $IT = a \cdot D$;
- в) $IT = i \cdot a$;
- г) $IT = \sqrt{i \cdot D}$.

33. Число единиц допуска a зависит от ...

- а) номинального размера;
- б) допуска размера;
- в) квалитета;
- г) величины интервала рассматриваемых размеров.

34. Для квалитетов 6-17 допуск размера изменяется по ...

- а) геометрической прогрессии со знаменателем 1,25;
- б) по геометрической прогрессии со знаменателем 1,6;
- в) арифметической прогрессии со знаменателем 12 мкм;
- г) арифметической прогрессии со знаменателем 10 мкм.

35. В ЕСДП установлены квалитеты...

- а) 1, 2, 3, ..., 18;
- б) 02, 01, 1, 2, ..., 18;
- в) 01, 0, 1, 2, ..., 18;
- г) 1, 2, 3, ..., 20.

36. Допуск размера $20r6$... допуска размера $80r6$

- а) больше;
- б) меньше;
- в) незначительно больше;
- г) равен.

37. Допуск размера $20k6$ по сравнению с допуском размера $20p6$...

- а) больше;
- б) меньше;
- в) равен;
- г) незначительно больше.

38. За основное отклонение принято отклонение ...

- а) ближайшее к нулевой линии;
- б) наиболее удаленное от нулевой линии;
- в) "лежащее" на нулевой линии;
- г) действительное отклонение.

39. В ЕСДП установлено ...

- а) 20 основных отклонений валов;
- б) 16 основных отклонений валов;

- в) 18 основных отклонений валов;
 - г) 27 основных отклонений валов.
40. Верхнее отклонение поля допуска $h7$ равно ...
- а) нулю;
 - б) верхнему отклонению поля допуска $H7$;
 - в) нижнему отклонению поля допуска $F7$;
 - г) верхнему отклонению поля допуска $F7$.
41. Допуск размера $80 \pm 0,008$ равен ...
- а) нулю;
 - б) 0,016 мм;
 - в) 0,008 мм;
 - г) $\pm 0,008$ мм.
42. Посадка является характеристикой ...
- а) соединения деталей;
 - б) размера;
 - в) системы посадок;
 - г) класса точности.
43. Общие допуски линейных и угловых размеров для классов f, m, c, v задаются ...
- а) «в минус»;
 - б) «в плюс»;
 - в) «в плюс, минус»;
 - г) «в плюс» или «в минус» в зависимости от вида размера.
44. Буквой "m" обозначают ... класс точности общих допусков
- а) средний;
 - б) точный;
 - в) грубый;
 - г) очень грубый.
45. Полный номинальный геометрический элемент ...
- а) выявляют при контроле детали;
 - б) существует на чертеже детали;
 - в) отделяет поверхность детали от окружающей среды;
 - г) получают при изготовлении детали.
46. Выявленный геометрический элемент – это ...
- а) приближенное представление реального полного геометрического элемента;
 - б) точное представление реального полного геометрического элемента;
 - в) точное представление полного номинального геометрического элемента;
 - г) производный геометрический элемент.

47. Производный элемент детали, по отношению к которому устанавливают допуск ориентации или месторасположения называется ...

- а) базой;
- б) рассматриваемым элементом;
- в) базорасстоянием;
- г) проекцией.

48. Допуск формы, ориентации или месторасположения, изменяющийся в определенных границах в зависимости от действительного размера рассматриваемого или базового элемента называется ...

- а) зависимым;
- б) независимым;
- в) постоянным;
- г) действительным.

49. Частными видами отклонения от круглости поверхности могут быть ...

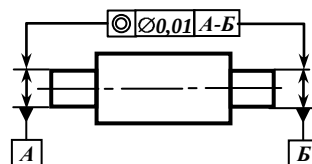
- а) овальность и огранка;
- б) конусность, бочкообразность и седлообразность;
- в) радиальное и торцовое биение;
- г) выпуклость и вогнутость.

50. К отклонениям месторасположения поверхностей относятся ...

- а) отклонения от круглости и профиля продольного сечения;
- б) отклонения от прямолинейности и плоскостности;
- в) отклонения от соосности и симметричности;
- г) радиальное и торцовое биение.

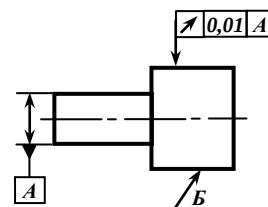
51. На рисунке задан допуск ...

- а) соосности шеек вала "А" и "Б" $\varnothing 0,01$ мм;
- б) соосности шейки вала "А" относительно шейки вала "Б" $\varnothing 0,01$ мм;
- в) соосности шеек вала "А" и "Б" относительно оси центральных отверстий $\varnothing 0,01$ мм;
- г) соосности шеек вала "А" и "Б" относительно их общей оси $\varnothing 0,01$ мм.



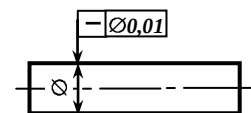
52. На рисунке задан допуск ...

- а) биения в заданном направлении поверхности "Б" относительно поверхности "А" 0,01 мм;
- б) радиального биения поверхности "Б" относительно поверхности "А" 0,01 мм;
- в) радиального биения поверхности "Б" относительно оси поверхности "А" 0,01 мм;
- г) радиального биения оси поверхности "Б" относительно оси поверхности "А" 0,01 мм.



53. На рисунке задан допуск ...

- а) прямолинейности образующих вала $\varnothing 0,01$ мм;
- б) прямолинейности оси вала $\varnothing 0,01$ мм;
- в) профиля продольного сечения вала $\varnothing 0,01$ мм;
- г) параллельности образующих вала $\varnothing 0,01$ мм.



54. Требования минимума материала указывают на чертеже знаком ...

- а) $\textcircled{R}$;
- б) $\textcircled{M}$;
- в) $\textcircled{S}$;
- г) $\textcircled{L}$.

55. Знаками $\textcircled{M}$ $\textcircled{R}$, указанными в одном поле рамки, устанавливают требования ...

- а) максимума материала;
- б) максимума материала и взаимодействия;
- в) минимума материала и взаимодействия;
- г) взаимодействия.

56. Шероховатостью поверхности называют совокупность неровностей профиля с относительно ... шагами, выделенную с помощью базовой длины.

- а) большими;
- б) малыми;
- в) средними;
- г) крупными.

57. Числовые значения высотных параметров шероховатости поверхности определяют от одной базы, за которую принята ...

- а) линия выступов профиля;
- б) линия впадин профиля;
- в) средняя линия профиля;
- г) базовая линия профиля.

58. Значения относительной опоры длины профиля t_p нормируются в ...

- а) мм;
- б) мкм;
- в) в % от базовой длины ℓ ;
- г) в % от R_{max} .

59. Обозначение шероховатости $\sqrt{Ra} 1,6$ расшифровывается следующим образом ...

- а) среднее арифметическое отклонение профиля не более 1,6 мкм, обработка со снятием слоя материала;
- б) высота неровностей профиля по 10 точкам не более 1,6 мкм, обработка без снятия слоя материала;

- в) наибольшая высота неровностей профиля не более 1,6 мкм, вид обработки не установлен;
- г) среднее квадратическое отклонение профиля не более 1,6 мкм, обработка со снятием слоя материала.
60. Плоскость, перпендикулярная оси конуса и служащая для определения осевого положения данного конуса относительно сопрягаемого с ним конуса называется ...
- а) базовой плоскостью;
 - б) основной плоскостью;
 - в) инструментальной плоскостью;
 - г) измерительной плоскостью.
61. Расстояние между основной и базовой плоскостью называется ...
- а) базовой длиной;
 - б) длиной корпуса;
 - в) измерительным расстоянием;
 - г) базорасстоянием.
62. На чертежах конусность указывают в виде отношения $1 : X$, где X ...
- а) расстояние между поперечными сечениями конуса (мм), разность диаметров которых равна 1 мм;
 - б) разность диаметров поперечных сечений конуса (мм), расстояние между которыми равно 1 мм;
 - в) базорасстояние;
 - г) разность диаметров сопрягаемых конусов.
63. Для нормирования точности угловых размеров установлено ...
- а) 12 степеней точности;
 - б) 15 степеней точности;
 - в) 17 степеней точности;
 - г) 20 степеней точности.
64. $AT\alpha$ – это допуск угла, выраженный в ...
- а) мкрад;
 - б) минутах;
 - в) мкм;
 - г) мм.

СТАНДАРТИЗАЦИЯ И НОРМИРОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ТИПОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ

65. Систему вала применяют для образования посадок ...
- а) в соединении ступенчатого вала с несколькими деталями;
 - б) в шпоночных соединениях;

- в) в соединении внутреннего кольца подшипника с валом;
г) в шлицевом соединении втулки.
66. Гарантированный зазор в посадке $\varnothing 40H7/h6$ равен ...
а) 25 мкм;
б) 16 мкм;
в) 0;
г) 41 мкм.
67. Для обеспечения жидкостного трения в подшипнике скольжения необходимо выполнение условия ... , где $h_{ж.т}$ – толщина масляного слоя, при которой обеспечивается жидкостное трение, h_{min} – толщина масляного слоя, обеспечивающая несущую способность подшипника
а) $h_{min} = h_{ж.т}$;
б) $h_{min} \geq h_{ж.т}$;
в) $h_{min} = 2h_{ж.т}$;
г) $h_{min} \leq h_{ж.т}$.
68. Наибольший расчетный натяг в посадке с натягом определяют из условия ...
а) равновесия деталей соединения;
б) прочности деталей соединения;
в) устойчивости деталей соединения;
г) неподвижности соединения.
69. Наименьший расчетный натяг в посадке с натягом определяют из условия ...
а) равновесия деталей соединения;
б) прочности деталей соединения;
в) устойчивости деталей соединения;
г) неподвижности соединения.
70. В посадках группы H/g гарантированный зазор ... , чем в посадках группы H/h
а) больше;
б) меньше;
в) точнее;
г) грубее.
71. В посадке $\varnothing 40H7/js6$ вероятность возникновения натяга по сравнению с посадкой $\varnothing 40H7/m6$...
а) больше;
б) меньше;
в) одинакова;
г) значительно больше.

72. Посадка $\varnothing 25H7/k6$ является посадкой ...
- а) переходной;
 - б) с зазором;
 - в) с натягом;
 - г) с гарантированным натягом.
73. Посадка $\varnothing 30R7/h6$ является посадкой с ...
- а) гарантированным зазором в системе вала;
 - б) гарантированным натягом в системе вала;
 - в) гарантированным натягом в системе отверстия;
 - г) переходной в системе отверстия.
74. Поле допуска среднего диаметра внутреннего кольца подшипника качения расположено ...
- а) «в минус» от нулевой линии;
 - б) «в плюс» от нулевой линии;
 - в) симметрично относительно нулевой линии;
 - г) значительно выше нулевой линии.
75. Различают три основных вида нагружения колец подшипников ...
- а) колебательное, радиальное, реверсивное;
 - б) циркуляционное, радиальное, местное;
 - в) местное, колебательное, реверсивное;
 - г) местное, циркуляционное, колебательное.
76. Местно-нагруженные кольца подшипников должны иметь с сопрягаемой деталью соединения ...
- а) с зазором или незначительным натягом;
 - б) с натягом;
 - в) с очень большим натягом;
 - г) с преимущественным натягом.
77. При установке внутреннего кольца подшипника на вращающийся вал необходимо ...
- а) обеспечить равномерность износа дорожки качения;
 - б) обеспечить возможность проскальзывания кольца относительно вала;
 - в) исключить неподвижность в соединении;
 - г) исключить возможность проскальзывания кольца относительно вала.
78. При установке наружного кольца подшипника в неподвижный корпус необходимо ...
- а) обеспечить равномерный износ дорожек качения;
 - б) обеспечить неподвижность соединения;
 - в) исключить возможность проскальзывания кольца относительно корпуса;
 - г) исключить перекося подшипника.

79. В нормальном шпоночном соединении используют посадки ...
- а) с зазором;
 - б) переходные;
 - в) с натягом;
 - г) с натягом и с зазором.
80. Центрирование прямобочного шлицевого соединения по внутреннему диаметру применяют при ...
- а) высоких требованиях к точности центрирования соединения и высокой твердости вала;
 - б) высоких требованиях к точности центрирования соединения и высокой твердости втулки;
 - в) низких требованиях к точности центрирования соединения и низкой твердости вала;
 - г) низких требованиях к точности центрирования соединения и низкой твердости втулки.
81. Условное обозначение $d-8\times 36H7/g6\times 40H12/a11\times 7D9/f8$ соответствует ...
- а) подвижному прямобочному шлицевому соединению с центрированием по внутреннему диаметру;
 - б) неподвижному прямобочному шлицевому соединению с центрированием по внутреннему диаметру;
 - в) неподвижному прямобочному шлицевому соединению с центрированием по наружному диаметру;
 - г) подвижному прямобочному шлицевому соединению с центрированием по боковым поверхностям зубьев.
82. Условное обозначение $50\times 2\times 9H/9g$, ГОСТ6033-80 соответствует ...
- а) эвольвентному подвижному шлицевому соединению с центрированием по наружному диаметру;
 - б) эвольвентному подвижному шлицевому соединению с центрированием по боковым поверхностям зубьев;
 - в) эвольвентному неподвижному шлицевому соединению с центрированием по наружному диаметру;
 - г) прямобочному неподвижному шлицевому соединению с центрированием по боковым поверхностям зубьев.
83. Условное обозначение резьбы $M16-Ph3\ p1,5-LH$ соответствует резьбе ...
- а) однозаходной левой;
 - б) однозаходной правой;
 - в) двухзаходной левой;
 - г) трехзаходной правой.

84. Суммарный допуск среднего диаметра резьбы включает в себя ...
- а) допуск среднего диаметра и диаметральною компенсацию погрешности шага;
 - б) допуск среднего диаметра и диаметральною компенсацию погрешности угла профиля;
 - в) допуск собственно среднего диаметра и диаметральные компенсации погрешностей шага и угла профиля;
 - г) допуск действительного среднего диаметра и диаметральные компенсации погрешностей шага и угла профиля.
85. Характер резьбового соединения определяется посадкой по ...
- а) наружному диаметру;
 - б) номинальному наружному диаметру;
 - в) внутреннему диаметру;
 - г) среднему диаметру.
86. В резьбе $M24-2H5D/2r$ натяг обеспечивается за счет ...
- а) сортировки;
 - б) соответствующего расположения полей допусков средних диаметров болта и гайки;
 - в) соответствующего расположения полей допусков наружного диаметра болта и гайки;
 - г) соответствующего расположения полей допусков внутреннего диаметра болта и гайки.
87. В резьбе $M24-2H5D(3)/3n/3$ натяг обеспечивается за счет ...
- а) сортировки;
 - б) соответствующего расположения полей допусков средних диаметров болта и гайки;
 - в) соответствующего расположения полей допусков наружного диаметра болта и гайки;
 - г) соответствующего расположения полей допусков внутреннего диаметра болта и гайки.
88. В резьбе $M24-4H6H/4j$ в числителе указано ...
- а) поле допуска резьбы болта;
 - б) поле допуска резьбы гайки;
 - в) посадка в соединении болта и гайки;
 - г) поля допусков средних диаметров резьбы болта и гайки.
89. Основным эксплуатационным показателем скоростных зубчатых передач является ...
- а) кинематическая точность;
 - б) плавность работы;
 - в) контакт зубьев;
 - г) боковой зазор.
90. Стандартом установлено ... степеней точности зубчатых передач
- а) 10;
 - б) 12;

- в) 14;
г) 16.
91. Стандартом установлены следующие виды сопряжений зубчатых передач ...
а) A, B, C, D, E, H ;
б) J_s, K, M, N, P, R ;
в) S, U, V, X, Y, Z ;
г) F, G, J, L, S, T .
92. В записи 8–7–7B ГОСТ 1643-81 третья цифра обозначает степень точности по нормам ...
а) контакта зубьев;
б) кинематической точности;
в) плавности работы передачи;
г) бокового зазора.
93. Наименьшим гарантированным зазором $j_{u \min}$ характеризуется вид сопряжения ...
а) H ;
б) E ;
в) B ;
г) A .

ОСНОВЫ МЕТРОЛОГИИ

94. Метрологическое обеспечение – это установление и применение научных и организационных основ, технических средств, правил и норм, необходимых для ...
а) установления определенных погрешностей измерения;
б) достижения единства и требуемой точности измерения;
в) нахождения значения физической величины опытным путем;
г) извлечения количественной информации о свойствах объектов.
95. Нахождение значения физической величины опытным путем с помощью специальных технических средств – это ...
а) поверка;
б) контроль;
в) измерение;
г) экспертиза.
96. Наука об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства и способах достижения требуемой точности называется ...
а) технологией;
б) метрологией;
в) квалиметрией;
г) изометрией.

97. Единство измерений определяется как состояние измерений, при котором их результаты выражены в узаконенных единицах и ...

- а) погрешности измерений известны с заданной вероятностью;
- б) погрешности измерений неизвестны с заданной вероятностью;
- в) погрешности измерений отсутствуют при измерении;
- г) погрешности измерений настолько малы, что ими можно пренебречь.

98. Федеральным органом исполнительной власти, ответственным за проведение работ в сфере обеспечения единства измерения, является ...

- а) государственный комитет РФ по стандартизации и метрологии;
- б) комитет стандартов, мер и измерительных приборов при правительстве РФ;
- в) федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии;
- г) федеральное агентство по стандартизации и метрологии.

99. Региональным органом исполнительной власти, ответственным за проведение работ в сфере обеспечения единства измерения, является ...

- а) центр стандартизации и метрологии (ЦСМ);
- б) центр регистра систем качества;
- в) региональная метрологическая служба (РМС);
- г) региональный центр технического регулирования.

100. Законом ... определены виды и сферы распространения государственного контроля и надзора за состоянием и применением средств измерений.

- а) «О техническом регулировании»;
- б) «Об обеспечении единства измерений»;
- в) «О защите прав потребителей»;
- г) «О сертификации продукции и услуг».

101. Государственный метрологический контроль не включает в себя ...

- а) утверждение типа СИ;
- б) поверку СИ;
- в) сертификацию СИ;
- г) лицензирование деятельности юридических и физических лиц по изготовлению, ремонту, продаже и прокату СИ.

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

- а) технической величиной;
- б) метрологической величиной;
- в) квалитетической величиной;
- г) физической величиной.

103. Количественной характеристикой любого свойства служит ...
- а) размер;
 - б) значение;
 - в) эталон;
 - г) мера.
104. Упорядоченная совокупность значений физической величины, служащая исходной основой для измерения данной величины, называется ...
- а) свойством величины;
 - б) размером величины;
 - в) шкалой величины;
 - г) единицей величины.
105. Основными единицами системы СИ являются ...
- а) сантиметр, грамм, минута и др.;
 - б) километр, тонна, час и др.;
 - в) метр, килограмм, секунда и др.;
 - г) миллиметр, миллиграмм, секунда и др.
106. Физическая величина, входящая в систему и условно принятая в качестве независимой от других единиц этой системы, называется ...
- а) внесистемной;
 - б) основной;
 - в) производной;
 - г) дополнительной.
107. Сила определяется по уравнению $F = m \cdot a$, где m – масса тела, a – ускорение, сообщаемое этому телу силой F . Размерность силы ...
- а) $L^{-1} MT^{-2}$;
 - б) $L MT^{-2}$;
 - в) MT^2 ;
 - г) $L^3 MT^{-2}$.
108. Совокупность операций по материализации единицы физической величины с наивысшей в стране точностью посредством государственного эталона называется ...
- а) поверкой средства измерения;
 - б) поверкой первичного эталона;
 - в) воспроизведением единицы физической величины;
 - г) воспроизведением средства измерения.

109. Средство измерения, предназначенное для воспроизведения и (или) хранения единицы и передачи ее размера нижестоящим по поверочной схеме средством измерения и утвержденное в установленном порядке, называется ...

- а) калибром;
- б) щупом;
- в) образцом;
- г) эталоном.

110. Эталонная база страны – это совокупность ... эталонов, являющихся основой обеспечения единства измерений в стране

- а) государственных первичных и вторичных;
- б) государственных первичных и рабочих;
- в) национальных и универсальных;
- г) специальных и локальных.

111. Эталон, обладающий наивысшими метрологическими свойствами (в данной лаборатории или организации), от которого передают размер единицы подчиненным эталонам и имеющимся средствам измерения, называется ...

- а) первичным эталоном;
- б) вторичным эталоном;
- в) государственным эталоном;
- г) исходным эталоном.

112. Поверка средства измерения – определение метрологическим органом ... и установление пригодности к применению.

- а) чувствительности средства измерения;
- б) нормальных условий использования средства измерения;
- в) погрешности средства измерения;
- г) истинное значение физической величины.

113. ... устанавливает систему передачи единицы физической величины от государственного эталона рабочим средствам измерения.

- а) измерительная схема;
- б) схема контроля;
- в) поверочная схема;
- г) схема метрологической экспертизы.

114. Установленная совокупность операций и правил, выполнение которых обеспечивает получение результатов измерений с гарантированной точностью, представляет собой ...

- а) методику выполнения измерений (мви);
- б) калибровку средств измерений;
- в) поверку средств измерений;
- г) метрологическую экспертизу.

115. Первичная поверка проводится ...
- а) через установленный интервал времени;
 - б) в случае ввода в эксплуатацию средства измерения после длительного хранения;
 - в) при возникновении спорных вопросов по исправности средства измерения;
 - г) при выпуске средства измерения из производства или после ремонта.
116. Совокупность операций, выполняемых с целью определения действительных метрологических характеристик средства измерения, называется ...
- а) поверкой;
 - б) калибровкой;
 - в) аттестацией;
 - г) сертификацией.
117. Измерение физической величины – это совокупность операций по применению ...
- а) соответствующих закономерностей;
 - б) технических средств, хранящих единицу физической величины;
 - в) известных зависимостей;
 - г) заданных параметров.
118. Погрешность средства измерений – это разность между ...
- а) показанием средства измерений и истинным значением измеряемой величины;
 - б) показанием средства измерений и предельным значением измеряемой величины;
 - в) предельным значением измеряемой величины и ее действительным значением;
 - г) средним значением измеряемой величины и ее действительным значением.
119. Действительное значение – это значение физической величины, полученное ...
- а) экспериментальным путем;
 - б) расчетом;
 - в) путем округления номинального значения;
 - г) путем контроля калибрами.
120. Прямое измерение – это измерение, при котором искомое значение физической величины получают ...
- а) расчетом среднего арифметического значения;
 - б) расчетом допускаемого значения;
 - в) непосредственно;
 - г) непосредственно на производстве.
121. Косвенное измерение – это измерение, при котором искомое значение физической величины определяется на основании ...
- а) результатов прямых измерений других физических величин, функционально связанных с искомой величиной;
 - б) результатов прямых измерений других физических величин, независимых от искомой величины;

- в) многократных измерений;
- г) многократных наблюдений.

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

- а) известных закономерностей;
- б) тригонометрических функций;
- в) правки суммирования;
- г) значений физических констант.

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

- а) допускаемой;
- б) действительной;
- в) одноименной;
- г) истинной.

124. Абсолютную погрешность измерения выражают в ...

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

125. Относительную погрешность измерения выражают в ...

- а) единицах измеряемой величины;
- б) единицах точности;
- в) процентах;
- г) целых числах.

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

- а) колеблющаяся при повторных измерениях одной и той же физической величины;
- б) изменяющаяся при повторных измерениях одной и той же физической величины;
- в) остающаяся постоянной или закономерно изменяющаяся при повторных измерениях одной и той же физической величины;
- г) зависящая от числа повторных измерений одной и той же физической величин.

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

- а) остающаяся постоянной;
- б) изменяющаяся закономерно;
- в) изменяющаяся случайным образом;
- г) сохраняющаяся.

128. Грубая погрешность измерения – это погрешность измерения, существенно превышающая ...

- а) предельную погрешность;
- б) дополнительную погрешность;
- в) основную погрешность;
- г) ожидаемую при данных условиях погрешность.

129. Причиной возникновения промаха (грубой погрешности) может быть ...

- а) погрешность блока концевых мер;
- б) погрешность, вызванная износом измерительного источника;
- в) неправильная запись результата измерения;
- г) погрешность округления.

130. В результате многократного измерения, записанном в виде $A \pm \Delta$, p величина Δ – это ...

- а) отклонение результата измерения;
- б) доверительные отклонения результата измерения;
- в) доверительные границы погрешности измерения;
- г) оценка отклонения результата измерения.

131. При многократных неравноточных прямых измерениях в качестве результата принимают ...

- а) среднее арифметическое значение величины;
- б) среднее взвешенное значение величины;
- в) значение величины, полученное расчетом на основании измерения других величин;
- г) полусумма максимального и минимального значения величины.

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

- а) поверка;
- б) контроль;
- в) измерение;
- г) экспертиза.

133. Техническое средство, используемое при измерениях и имеющее нормированные метрологические свойства, называется ...

- а) средством измерения;
- б) средством контроля;
- в) средством поверки;
- г) средством экспертизы.

134. Для воспроизведения длины в промышленности используют ...

- а) призматические угловые меры;
- б) плоскопараллельные концевые меры;

- в) цилиндры из сплава платины и иридия;
 - г) синусные линейки.
135. Ценой деления шкалы средства измерений называют ...
- а) разность значений измеряемой величины, соответствующих двум соседним отметкам шкалы;
 - б) расстояние между двумя соседними отметками шкалы;
 - в) расстояние между двумя крайними отметками шкалы;
 - г) разность расстояний между отметками шкалы.
136. Чувствительность средства измерений (СИ) – это отношение ...
- а) изменения измеряемой величины к соответствующему изменению сигнала на выходе СИ;
 - б) изменения сигнала на выходе СИ к вызывающему его изменению измеряемой величины;
 - в) цены деления СИ к изменению измеряемой величины;
 - г) цены деления СИ к его диапазону показаний.
137. Погрешность средства измерений, возникающая вследствие отклонения значений влияющих величин от нормальных, называют ...
- а) допускаемой;
 - б) предельной;
 - в) дополнительной;
 - г) влияющей.
138. Предпочтительно назначение приемочных границ ...
- а) смещенными внутрь поля допуска размера;
 - б) смещенными за пределы поля допуска размера;
 - в) совпадающими с предельными размерами;
 - г) совпадающими с номинальными размерами.
139. Вероятная величина выхода размера за предельные у неправильно принятых деталей зависит от ...
- а) погрешности измерения;
 - б) допускаемых размеров;
 - в) номинального размера;
 - г) цены деления средства измерения.
140. При выборе универсального средства измерений линейного размера необходимо, чтобы его диапазон измерений был ...
- а) больше допуска размера;
 - б) меньше допуска размера;
 - в) больше измеряемого размера;
 - г) меньше измеряемого размера.

141. При выборе универсального средства измерений линейного размера необходимо, чтобы его диапазон показаний был ...

- а) больше допуска размера;
- б) меньше допуска размера;
- в) больше измеряемого размера;
- г) меньше измеряемого размера.

ОСНОВЫ ПОДТВЕРЖДЕНИЯ СООТВЕТСТВИЯ

142. Подтверждение соответствия объектов требованиям технических регламентов, положениям стандартов или условиям договоров, называется...

- а) кодированием;
- б) сертификацией;
- в) лицензированием;
- г) аттестацией.

143. В соответствии с Федеральным законом «О техническом регулировании» принципом подтверждения соответствия не является ...

- а) доступность информации о порядке осуществления подтверждения соответствия заинтересованным лицам;
- б) недопустимость применения обязательного подтверждения соответствия к объектам, в отношении которых не установлены требования технических регламентов;
- в) уменьшение сроков осуществления обязательного подтверждения соответствия и затрат заявителя;
- г) повышение конкурентоспособности продукции работ и услуг на российском и международном рынках.

144. Подтверждение соответствия на территории РФ может носить характер...

- а) добровольный;
- б) обязательный;
- в) необязательный;
- г) добровольный или обязательный.

145. Перечень действий участников подтверждения соответствия, результаты которых рассматриваются ими в качестве доказательств соответствия продукции установленным требованиям называется ... подтверждения соответствия.

- а) порядком;
- б) правилами;
- в) алгоритмом;
- г) схемой.

146. Под сертификацией соответствия понимается действие ...
- а) изготовителя;
 - б) продавца;
 - в) третьей стороны;
 - г) покупателя.
147. Подтверждение соответствия - это процедура, результатом которой является документ, называемый ...
- а) сертификатом качества;
 - б) сертификатом соответствия;
 - в) знаком качества;
 - г) свидетельством о соответствии.
148. Национальным органом по сертификации является ...
- а) Роспотребнадзор;
 - б) Ростехрегулирование;
 - в) Центр гигиены и эпидемиологии;
 - г) Росстандарт.
149. Обязательная сертификация - подтверждение органом по сертификации соответствия продукции ...
- а) техническим требованиям;
 - б) обязательным требованиям, установленным органом по сертификации;
 - в) обязательным требованиям, установленным законодательством;
 - г) обязательным требованиям органа аккредитации.
150. Юридическое лицо или индивидуальный предприниматель могут создать систему ...
- а) добровольной сертификации;
 - б) обязательной сертификации;
 - в) подтверждения соответствия;
 - г) декларирования.
151. Основной целью обязательной сертификации является защита прав потребителей от приобретения товаров, работ, услуг, которые ...
- а) опасны для жизни и здоровья;
 - б) не соответствуют требованиям стандартов;
 - в) имеют высокую стоимость;
 - г) имеют низкое качество.
152. Обязательное подтверждение соответствия может быть в форме...
- а) добровольной сертификации;
 - б) лицензирования;
 - в) необязательной сертификации;
 - г) декларирования соответствия.

153. Декларирование соответствия - это форма подтверждения того, что продукция соответствует требованиям...

- а) ГОСТ;
- б) технических регламентов;
- в) международных стандартов;
- г) национальных стандартов.

154. Участником обязательного подтверждения соответствия кроме заявителя и органа по сертификации является...

- а) технический комитет;
- б) продавец;
- в) орган по аккредитации;
- г) испытательная лаборатория.

155. Система обязательной сертификации предусматривает применение знака ...

- а) качества;
- б) обращения на рынке;
- в) соответствия;
- г) сертификации.

156. Декларация о соответствии - это документ, с помощью которого удостоверяет соответствие продукции установленным нормам ...

- а) изготовитель продукции;
- б) покупатель продукции;
- в) орган по аккредитации продукции;
- г) орган по аттестации продукции.

157. Основная цель добровольной сертификации - обеспечение ...

- а) здоровья потребителя;
- б) экологичности производства;
- в) конкурентоспособности продукции;
- г) безопасности имущества потребителя.

158. Регистр систем качества – это ...

- а) система обязательной сертификации систем качества;
- б) система добровольной сертификации систем качества;
- в) система добровольной сертификации уровня качества продукции;
- г) система обязательной сертификации уровня качества продукции.

159. Инспекционный контроль за сертифицированной продукцией - это процедура, осуществляемая с целью установления того, что продукция...

- а) продолжает соответствовать установленным требованиям;
- б) подлежит аттестации;

- в) соответствует требованиям Ростехрегулирования;
- г) соответствует требованиям органа сертификации.

160. Услуги нематериального характера оцениваются...

- а) экспертным или (и) социологическим методами;
- б) экспертным или инструментальным методами;
- в) социологическим или инструментальным методами;
- г) инструментальным методом.

161. Аккредитацию организаций, осуществляющих деятельность в обязательной сфере, организуют и проводят ...

- а) региональные органы;
- б) Росстандарт и другие федеральные органы;
- в) Ростехрегулирование и Ростехнадзор;
- г) Правительство РФ.

162. Аккредитация - это официальное признание полномочным органом...

- а) способности организации контролировать продукцию;
- б) способности организации оказывать услуги;
- в) компетентности организации в выполнении работы в определенной области;
- г) способности организации разрабатывать системы качества.

ОТВЕТЫ НА ТЕСТОВЫЕ ЗАДАНИЯ

№ теста	Ответ	№ теста	Ответ	№ теста	Ответ	№ теста	Ответ	№ теста	Ответ
1	а	34	б	67	б	100	б	133	а
2	в	35	в	68	б	101	в	134	б
3	г	36	б	69	г	102	г	135	а
4	б	37	в	70	а	103	а	136	б
5	в	38	а	71	б	104	в	137	в
6	а	39	г	72	а	105	в	138	в
7	г	40	а	73	б	106	б	139	а
8	в	41	б	74	а	107	б	140	в
9	а	42	а	75	г	108	в	141	а
10	в	43	в	76	а	109	г	142	б
11	в	44	а	77	г	110	а	143	г
12	а	45	б	78	а	111	г	144	г
13	а	46	а	79	б	112	в	145	г
14	г	47	а	80	б	113	в	146	в
15	г	48	а	81	а	114	а	147	б
16	а	49	а	82	б	115	г	148	г
17	в	50	в	83	в	116	б	149	в
18	г	51	г	84	г	117	б	150	а
19	в	52	в	85	г	118	а	151	а
20	г	53	б	86	б	119	а	152	г
21	г	54	г	87	а	120	в	153	б
22	б	55	б	88	б	121	а	154	г
23	а	56	б	89	б	122	г	155	б
24	а	57	в	90	б	123	в	156	а
25	в	58	в	91	а	124	б	157	в
26	г	59	а	92	а	125	в	158	б
27	в	60	а	93	а	126	в	159	а
28	г	61	г	94	б	127	в	160	а
29	а	62	а	95	в	128	г	161	б
30	в	63	в	96	б	129	в	162	в
31	б	64	а	97	а	130	в		
32	в	65	б	98	в	131	б		
33	в	66	в	99	а	132	б		

ГЛОССАРИЙ

Основы технического регулирования и стандартизации

Гармонизация стандарта – это приведение его содержания в соответствие с другим стандартом для обеспечения взаимозаменяемости продукции (услуг), взаимного понимания результатов испытаний и информации, содержащейся в стандартах.

Идентичные стандарты – это гармонизированные стандарты, идентичные и по содержанию, и по форме представления.

Комплексная стандартизация – это стандартизация, при которой осуществляется целенаправленное и планомерное установление и применение системы взаимоувязанных требований как к самому объекту комплексной стандартизации в целом и его основным элементам, так и к материальным и нематериальным факторам, влияющим на объект в целях обеспечения оптимального решения конкретной проблемы.

Контроль (надзор) за соблюдением требований технических регламентов – проверка выполнения юридическим лицом или индивидуальным предпринимателем требований технических регламентов к продукции или к связанным с ней процессам проектирования (включая изыскания), производства, строительства, монтажа, наладки, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации и принятие мер по результатам проверки.

Межгосударственный стандарт – стандарт, принятый Евразийским советом по стандартизации метрологии и сертификации.

Международный стандарт – стандарт, принятый международной организацией.

Модифицированный стандарт – национальный стандарт, представляющий собой аутентичный перевод международного стандарта с внесением в него (исключением из него) требований и изменений, отражающих потребности экономики России.

Национальный стандарт – стандарт, утвержденный национальным органом Российской Федерации по стандартизации.

Общероссийские классификаторы технико-экономической и социальной информации – нормативные документы, распределяющие технико-экономическую и социальную информацию в соответствии с ее классификацией (классами, группами, видами и другим) и являющиеся обязательными для применения при создании государственных информационных систем и информационных ресурсов и межведомственном обмене информацией.

Опережающая стандартизация – это стандартизация, заключающаяся в установлении повышенных по отношению к уже достигнутому на практике уровню норм, требований к объектам стандартизации, которые согласно прогнозам будут оптимальными в последующее планируемое время. Опережение может относиться как к изделию в целом,

так и к наиболее важным параметрам и показателям его качества, методам и средствам производства, испытаний и контроля.

Параметрическая стандартизация – это деятельность, направленная на выбор и установление целесообразных численных значений параметров изделий, в соответствии с определенной математической закономерностью.

Симплификация – ограничение номенклатуры применяемых в производстве изделий, основных и вспомогательных материалов до такого количества, которое является достаточным для удовлетворения существующей потребности.

Стандарт – документ, в котором в целях добровольного многократного использования устанавливаются характеристики продукции, правила осуществления и характеристики процессов проектирования (включая изыскания), производства, строительства, монтажа, наладки, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации, выполнения работ или оказания услуг. Стандарт также может содержать правила и методы исследований (испытаний) и измерений, правила отбора образцов, требования к терминологии, символике, упаковке, маркировке или этикеткам и правилам их нанесения.

Стандартизация – деятельность по установлению правил и характеристик в целях их добровольного многократного использования, направленная на достижение упорядоченности в сферах производства и обращения продукции и повышение конкурентоспособности продукции, работ или услуг.

Технический регламент – документ, содержащий обязательные требования к объектам технического регулирования.

Техническое регулирование – правовое регулирование отношений в области установления, применения и исполнения обязательных требований к продукции или к связанным с ней процессам проектирования (включая изыскания), производства, строительства, монтажа, наладки, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации, а также в области установления и применения на добровольной основе требований к продукции, процессам проектирования (включая изыскания), производства, строительства, монтажа, наладки, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации, выполнению работ или оказанию услуг и правовое регулирование отношений в области оценки соответствия.

Типизация объектов стандартизации – это деятельность, направленная на разработку и установление типовых объектов, конструктивных, технологических, организационных и экономических решений.

Унификация – это деятельность, направленная на приведение объектов одинакового функционального назначения к единообразию по установленному принципу и рациональ-

ное сокращение числа этих объектов на основе данных об их эффективной применимости.

Стандартизация норм точности геометрических параметров деталей

База – производный элемент, относительно которого устанавливается геометрический допуск ориентации или месторасположения рассматриваемого нормируемого элемента.

Базовый элемент – реальный полный элемент, от которого произведена база.

Вал – термин, условно применяемый для обозначения наружных элементов деталей, включая и нецилиндрические элементы.

Верхнее отклонение (ES, es) – алгебраическая разность между наибольшим предельным и соответствующим номинальным размерами.

Взаимозаменяемость – свойство изделий (машин, приборов, механизмов и т.д.), их частей или других видов продукции (сырья, материалов, полуфабрикатов и т.д.), равноценно заменять при использовании любой из множества экземпляров изделий, их частей или иной продукции однотипным экземпляром.

Выявленный геометрический элемент – приближенное представление полного геометрического элемента, которое получают с помощью регистрации конечного (ограниченного) числа точек реального полного геометрического элемента при соблюдении согласованных условий.

Действительный размер – размер элемента, установленный измерением.

Допуск размера T – разность между наибольшим и наименьшим предельными размерами или алгебраическая разность между верхним и нижним отклонениями.

Зазор S – разность между размерами отверстия и вала до сборки, если размер отверстия больше размера вала.

Наибольший предельный размер – наибольший допустимый размер.

Наименьший предельный размер – наименьший допустимый размер.

Натяг N – разность между размерами вала и отверстия до сборки, если размер вала больше размера отверстия.

Нижнее отклонение (EI, ei) – алгебраическая разность между наименьшим предельным и соответствующим номинальным размерами.

Номинальный размер – размер, относительно которого определяются отклонения.

Нормируемый элемент – элемент, для которого установлен геометрический допуск.

Нулевая линия – линия, соответствующая номинальному размеру, от которой откладываются отклонения размеров при графическом изображении полей допусков и посадок.

Основное отклонение – одно из двух предельных отклонений (верхнее или нижнее), определяющее положение поля допуска относительно нулевой линии. За основное принято отклонение, ближайшее к нулевой линии.

Отверстие – термин, условно применяемый для обозначения внутренних элементов деталей, включая и нецилиндрические элементы.

Поле допуска – поле, ограниченное наибольшим и наименьшим предельными размерами и определяемое величиной допуска и его положением относительно номинального размера.

Полный геометрический элемент – поверхность или линия на поверхности.

Посадка – характер соединения двух деталей, определяемый разностью их размеров до сборки.

Предельное отклонение – алгебраическая разность между предельным и соответствующим номинальным размерами.

Предельные размеры – два предельно допускаемых размера, между которыми должен находиться или которым может быть равен действительный размер.

Присоединенный полный элемент – полный элемент правильной формы, присоединенный (совмещенный) к выявленному полному элементу при соблюдении согласованных условий.

Производный геометрический элемент – средняя точка, средняя линия или средняя поверхность, которые произведены от одного или нескольких полных элементов.

Размер – числовое значение линейной величины (диаметра, длины и т.д.) в выбранных единицах измерения.

Размер максимума материала («проходной предел») – термин, относящийся к тому из предельных размеров, которому соответствует больший объем материала детали, т.е. наибольшему предельному размеру вала или наименьшему предельному размеру отверстия.

Размер минимума материала («непроходной предел») – термин, относящийся к тому из предельных размеров, которому соответствует меньший объем материала детали, т.е. наименьшему предельному размеру вала или наибольшему предельному размеру отверстия.

Стандартизация и нормирование точности типовых соединений

Интенсивность нагружения подшипникового узла – отношение динамической эквивалентной нагрузки P к динамической грузоподъемности C подшипника качения.

Поле допуска диаметра резьбы – сочетание основного отклонения, обозначаемого буквой, с допуском по принятой степени точности.

Поле допуска резьбы – сочетание поля допуска среднего диаметра с полем допуска диаметра выступов резьбы (наружного диаметра наружной резьбы или внутреннего диаметра внутренней резьбы).

Принцип комбинирования норм точности зубчатых колес и передач – принцип, позволяющий для конкретной передачи в зависимости от ее назначения устанавливать различные степени точности по нормам кинематической точности, плавности работы и контакта зубьев.

Функциональные предельные зазоры – предельно допускаемые зазоры S_{max}^F и S_{min}^F , рассчитанные с учетом условий эксплуатации соединения.

Функциональные предельные натяги – предельно допускаемые натяги N_{max}^F и N_{min}^F , рассчитанные с учетом условий сборки и эксплуатации соединения.

Основы метрологии

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

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

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

Диапазон показаний СИ – область значений шкалы СИ, ограниченная начальным и конечным делениями шкалы.

Единство измерений определяется как состояние измерений, характеризующееся тем, что их результаты выражаются в узаконенных единицах, размеры которых в установленных пределах равны размерам единиц, воспроизводимых первичными эталонами, а погрешности результатов измерений известны и с заданной вероятностью не выходят за установленные пределы.

Значение физической величины – выражение размера ФВ в виде некоторого числа принятых для нее единиц.

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

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

Измерительная установка – это совокупность функционально объединенных мер, измерительных приборов, измерительных преобразователей и других устройств, предназначенных для измерения одной или нескольких ФВ и расположенная в одном месте.

Измерительный преобразователь – это техническое средство с нормативными метрологическими характеристиками, служащее для преобразования измеряемой величины в другую величину или измерительный сигнал, удобный для обработки, хранения, дальнейших преобразований, индикации или передачи.

Измерительный процесс – процесс, преобразующий значение измеряемого параметра в результат измерения посредством использования ресурсов (средств измерительной техники и другого оборудования, оператора, окружающей среды и т.д.), регулируемый методикой выполнения измерения.

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

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

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

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

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

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

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

Область значений влияющей величины нормальная – область значений влияющей величины, в пределах которой изменением результата измерения под ее воздействием можно пренебречь, в соответствии с установленными нормами точности.

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

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

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

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

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

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

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

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

Погрешность приведенная – относительная погрешность, выраженная в процентах от некоторого нормирующего значения.

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

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

Приемочные границы – значения размеров, по которым производится приемка изделий, устанавливаются с учетом допускаемой погрешности измерения.

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

Размерность – формализованное отражение качественного различия ФВ.

Результат измерения физической величины – значение ФВ, полученное путем измерения.

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

Средство измерений – это техническое средство, предназначенное для измерений, имеющее нормированные метрологические характеристики, воспроизводящее и (или) хранящее единицу ФВ, размер которой принимают неизменным (в пределах установленной погрешности) в течение известного интервала времени.

Точность измерений – это качество измерений, отражающее близость их результатов к истинному значению измеряемой величины.

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

Условия измерений – совокупность влияющих величин, описывающих состояние окружающей среды, объекта и средства измерений.

Физическая величина – одно из свойств физического объекта (физической системы, явления или процесса), общее в качественном отношении для многих физических объектов, но в количественном отношении индивидуальное для каждого из них.

Хранение единицы – совокупность операций, обеспечивающих неизменность во времени размера единицы, присущего данному СИ.

Цена деления шкалы – разность значений величины, соответствующих двум соседним отметкам шкалы СИ.

Чувствительность СИ – свойство СИ, определяемое отношением изменения выходного сигнала этого СИ к вызывающему его изменению измеряемой величины.

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

Эталон государственный первичный – первичный эталон, признанный решением уполномоченного на то государственного органа в качестве исходного на территории государства.

Эталон единицы физической величины – СИ (или комплекс СИ), предназначенное для воспроизведения и (или) хранения единицы и передачи ее размера нижестоящим по поверочной схеме СИ и утвержденное в качестве эталона в установленном порядке.

Эталон исходный – эталон, обладающий наивысшими метрологическими свойствами (в данной лаборатории, организации, на предприятии), от которого передают размер единицы подчиненным эталонам и имеющимся СИ.

Эталон национальный – эталон, в состав которого включаются СИ, с помощью которых воспроизводят и (или) хранят единицу ФВ, контролируют условия измерений и неизменность воспроизводимого или хранимого размера единицы. Данный термин применяют в случаях проведения сличения эталонов, принадлежащим отдельным государствам.

Основы подтверждения соответствия

Аккредитация – это официальное признание органом по аккредитации компетентности физического или юридического лица выполнять работы в определенной области оценки соответствия.

Декларация о соответствии – документ, удостоверяющий соответствие выпускаемой в обращение продукции требованиям технических регламентов.

Декларирование соответствия – форма подтверждения соответствия продукции требованиям технических регламентов.

Знак обращения на рынке – обозначение, служащее для информирования приобретателей о соответствии выпускаемой в обращение продукции требованиям технических регламентов.

Знак соответствия – обозначение, служащее для информирования приобретателей о соответствии объекта сертификации требованиям системы добровольной сертификации или национальному стандарту.

Орган по сертификации – юридическое лицо или индивидуальный предприниматель, аккредитованные в установленном порядке для выполнения работ по сертификации.

Оценка соответствия – прямое или косвенное определение соблюдения требований, предъявляемых к объекту.

Подтверждение соответствия – документальное удостоверение соответствия продукции или иных объектов, процессов проектирования (включая изыскания), производства, строительства, монтажа, наладки, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации, выполнения работ или оказания услуг требованиям технических регламентов, положениям стандартов, сводов правил или условиям договоров.

Продукция – результат деятельности, представленный в материально-вещественной форме и предназначенный для дальнейшего использования в хозяйственных и иных целях.

Сертификат соответствия – документ, удостоверяющий соответствие объекта требованиям технических регламентов, положениям стандартов, сводов правил или условиям договоров.

Сертификация – форма осуществляемого органом по сертификации подтверждения соответствия объектов требованиям технических регламентов, положениям стандартов, сводов правил или условиям договоров.

Система сертификации – совокупность правил выполнения работ по сертификации, ее участников и правил функционирования системы сертификации в целом.

Схема подтверждения соответствия – перечень действий участников подтверждения соответствия, результаты которых рассматриваются ими в качестве доказательств соответствия продукции или иных объектов установленным требованиям.

Форма подтверждения соответствия – определенный порядок документального удостоверения соответствия продукции или иных объектов, процессов проектирования (включая изыскания), производства, строительства, монтажа, наладки, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации, выполнения работ или оказания услуг требованиям технических регламентов, положениям стандартов или условиям договоров.