

**В.И.КОЛЧКОВ**



# МЕТРОЛОГИЯ, СТАНДАРТИЗАЦИЯ И СЕРТИФИКАЦИЯ



ГУМАНИТАРНЫЙ  
ИЗДАТЕЛЬСКИЙ  
ЦЕНТР

**ВЛАДОС**

**В.И. КОЛЧКОВ**

# **МЕТРОЛОГИЯ, СТАНДАРТИЗАЦИЯ И СЕРТИФИКАЦИЯ**

*Рекомендовано Управлением среднего профессионального образования Министерства образования и науки Российской Федерации в качестве учебника для студентов образовательных учреждений среднего профессионального образования, обучающихся по группе специальностей «Метрология, стандартизация и контроль качества»*

Москва



2010

УДК [006+658.562](075.32)  
ББК 30ц.я723-1+30.10я723-1+65.291.823.2я723-1  
К61

**Колчков В.И.**

**К61** Метрология, стандартизация и сертификация : учеб. для студентов образоват. учреждений сред. проф. образования, обучающихся по группе специальностей «Метрология, стандартизация и контроль качества» / В.И. Колчков. — М.: Гуманитар. изд. центр ВЛАДОС, 2010. — 398 с. : ил. — (Для средних специальных учебных заведений).

ISBN 978-5-691-01744-5.

Агентство СІР РГБ.

В учебнике изложены теоретические положения данных дисциплин, необходимые для проведения занятий, а также методические указания по проведению практических занятий: лабораторных работ, семинарских занятий и домашних работ.

Учебник предназначен студентам среднего профессионального образования, обучающимся по дисциплинам «Метрология, стандартизация и сертификация», «Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения», «Управление качеством продукции», Метрология и метрологическое обеспечение».

УДК [006+658.562](075.32)

ББК 30ц.я723-1+30.10я723-1+65.291.823.2я723-1

ISBN 978-5-691-01744-5

© Колчков В.И., 2010  
© ООО «Гуманитарный издательский центр ВЛАДОС», 2010.  
© Оформление. ООО «Гуманитарный издательский центр ВЛАДОС», 2010.

*Посвящается памяти моего учителя  
Заслуженного деятеля науки и техники РСФСР,  
доктора технических наук, профессора  
Александра Ивановича Якушева*

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Производство конкурентноспособной промышленной продукции высокого качества в условиях рыночной экономики требует регулирования производственных отношений между хозяйствующими субъектами во всех сферах деятельности. Это относится, в частности, к установлению и принятию обязательных и добровольных требований к продукции, процессам её изготовления, а также оценке соответствия её техническим регламентам и контролю над соблюдением требований технических регламентов.

Производственные отношения в РФ регулируются Федеральным законом «О техническом регулировании». С принятием этого закона в России осуществляется процесс создания системы упорядочения прав и обязанностей участников, взаимодействующих между собой. В настоящее время все обязательные нормы к продукции, процессам производства прописываются в законах, указах Президента или постановлениях Правительства РФ.

Закон обязывает максимально гармонизировать нашу систему технического регулирования с международной и прежде всего с европейской. Это позволяет устранить технические барьеры в торговле, содействовать выходу отечественных товаров на мировой рынок, обеспечить равные условия для наших и зарубежных производителей на российском рынке.

Особую значимость приобретают вопросы изучения методологических основ стандартизации, являющейся нормативной базой для сопоставимости результатов исследований, испытаний и измерений, а также полученных технических и экономико-статистических данных.

Одной из важнейших целей стандартизации является обеспечение взаимозаменяемости продукции. Взаимозаменяемость, как принцип проектирования, изготовления и эксплуатации, требует изучения и практического применения в условия масштабного выпуска однородной продукции.

Принцип взаимозаменяемости при производстве продукции позволяет значительно сократить затраты на всех стадиях, в том числе: при декларировании соответствия, сертификации, контроле продукции и надзоре за соблюдением технических регламентов.

Как известно, система стандартизации в России имеет более чем 100-летнюю историю. К 2003 г. имелось более 50 тыс. нормативных актов – государственных и отраслевых стандартов, технических условий, что является превышением необходимого уровня, например, общеевропейская система содержит около 10 тыс. документов. Ситуация в мировой экономике динамична, кроме того, в условиях глобализации, Россия стремится быть в мировом сообществе в столь важной области, как нормирование деятельности в сфере производства.

Необходимость повышения уровня гармонизации стандартов является условием, которое позволяет предприятиям успешно работать на мировом рынке, поэтому обращается внимание на развитие экономики по единым стандартам. Гармонизация стандартов рассматривается с учётом опережающих требований современного производства, которые стимулируют технический прогресс, конкуренцию и внедрение новаций. Инновация – необходимое условие развития промышленности, так как позволяет выигрывать в конкурентных производственных отношениях. Таким образом, стандартизация направлена на создание стимулов к повышению конкурентоспособности предприятий и одновременно на создание доказательной базы для решения вопросов соответствия и надзора. Обращается внимание на то, что в создании технических регламентов и национальных стандартов принимают участие все заинтересованные стороны. Правительство определяет техническую политику, а затем, как и в большинстве, промышленно развитых стран, передаёт часть функций неправительственным организациям. Перспективой развития российской экономики, является налаживание связей по аккредитации органов, работающих в области сертификации. В законе о техническом регулировании, заложена норма недопустимости совмещения сертификации и контрольных функций, поэтому значительное внимание уделяется вопросам выбора и применения средств контроля и технических измерений. В структуре федеральных органов учтены прогрессивные тенденции разделения функций по установлению норм сертификации и функций контроля и надзора. Таким образом, практическое овладение знаниями по стандартизации, сертификации и методам проведения контрольно-надзорных функций, техническими средствами, является необходимым условием подготовки высококвалифицированных специалистов.

Учебник предназначен для студентов среднего профессионального образования и бакалавров, обучающихся по специальностям технического

профиля, ориентированных на обеспечение производства промышленной продукции.

Учебник составлен с учётом Федерального закона о техническом регулировании, а также с учётом новых стандартов в области метрологии, контроля качества и основных норм взаимозаменяемости.

Учебник направлен на изучение дисциплины «Метрология, стандартизация и сертификация», а также будет полезен при изучении курсов: «Метрология, стандартизация и контроль качества», «Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения», «Управление качеством продукции», «Метрология и метрологическое обеспечение».

В учебнике содержатся сведения, которые могут быть использованы для составления методических указаний по проведению практических занятий: лабораторных работ, семинарских занятий и практических работ.

Изложенный в учебнике материал может быть полезен преподавателям учебных заведений различного уровня, которые готовят специалистов в соответствующих направлениях, а также инженерно-техническим работникам, занятым в сфере промышленного производства.

Автор учебника в течение длительного времени формировал курс лекций из совмещённых учебных дисциплин по данному направлению и практически реализовал его, преподавая в МВТУ им. Н.Э. Баумана и МГУИЭ.

Учебник дополняется сведениями, содержащимися в консультационно-информационном Интернет-ресурсе «Точность — качество», расположенном по адресу: [www.micromake.ru](http://www.micromake.ru). Ресурс расширяет формы обучения путем интерактивного взаимодействия преподавателя со студентами. Консультационно-информационный ресурс предоставляет возможность интерактивного общения с автором учебника, возможность задать вопрос и получить ответ автора. Кроме того, предоставляется возможность тестирования по дисциплине непосредственно в Сети в различных режимах: самообучения, контроля, подготовки к экзаменационной сессии.

Автор выражает признательность организациям и людям, оказавшим содействие в появлении учебника, и с благодарностью примет все замечания и пожелания, которые будут направлены на улучшение изложенного материала.

Отзывы и замечания по книге могут быть направлены на адрес издательства или непосредственно автору через интерактивную базу в Интернете — «Консультационно-информационный ресурс “Точность — качество”» ([www.micromake.ru](http://www.micromake.ru)).

# ГЛАВА 1

## ТЕХНИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ

### 1.1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ПРИНЦИПЫ ТЕХНИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

В настоящее время, производство продукции на всех стадиях жизненного цикла должно регулироваться Законом РФ «О техническом регулировании». Этот документ предусматривает разработку технических регламентов, в которых прописываются обязательные требования к выпускаемой продукции, процессам её производства, эксплуатации, хранения и утилизации. С принятием закона с июля 2003 г. в России начинается процесс создания чёткой системы технического регулирования, которая в первую очередь исключает дублирование множества технических документов, разрабатываемых различными ведомствами. Техническое регулирование осуществляется на самом высоком уровне: обязательные требования к продукции, процессам производства принимают уровень законов.

Целью разработки закона является гармонизация нашей системы отношений с международной, прежде всего европейской, что даёт возможность выхода отечественных товаров на мировой рынок. Устранение барьеров в торговле обеспечивает также равные условия для российских и зарубежных производителей на российском рынке. Контроль за безопасностью продукции, осуществляемый в настоящее время нашими производителями непосредственно на производстве, для всей продукции, в том числе зарубежной, будет осуществляться, прежде всего, на рынке, как это делается в мире.

Федеральный закон регулирует отношения, возникающие при: разработке, принятии, применении и исполнении обязательных требований к продукции, процессам производства, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации, выполнению работ или оказанию услуг; тоже самое осуществляется и на добровольной основе; кроме того, закон регулирует отношения при оценке соответствия; устанавливает права

и обязанности участников. Содержащиеся в законе основные понятия охватывают весь круг вопросов, входящих в этапы жизненного цикла создания продукции. Выполнение работ в определенной области оценки соответствия поручается определённому физическому или юридическому лицу, для чего предоставляется *аккредитация* — официальное признание органом по аккредитации компетентности физического или юридического лица.

Понятие *безопасность продукции, процессов производства, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации* или просто *безопасность* соответствует состоянию, при котором отсутствует недопустимый риск, связанный с причинением вреда жизни или здоровью граждан, имуществу физических или юридических лиц, государственному или муниципальному имуществу, окружающей среде, животным, растениям. В международной практике широко распространена практика *декларирования соответствия* как формы подтверждения соответствия продукции требованиям технических регламентов, при этом необходимые процедуры проводит сам производитель продукции. Такая продукция удостоверяется документом — *декларацией о соответствии*, указывающим на соответствие выпускаемой в обращение продукции установленным требованиям. Информирование приобретателей о соответствии выпускаемой в обращение продукции требованиям технических регламентов осуществляется специальным обозначением — *знаком обращения на рынке*. В случае если объект сертификации соответствует требованиям системы добровольной сертификации или национальному стандарту, то для информирования потребителей служит *знак соответствия*.

*Контроль (надзор)* за соблюдением требований технических регламентов заключается в проверке выполнения юридическим лицом или индивидуальным предпринимателем требований технических регламентов к продукции, процессам производства, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации и принятие мер по результатам проверки.

Юридическое лицо или индивидуальный предприниматель, аккредитованные в установленном порядке для выполнения работ по сертификации, представляют *орган по сертификации*. Прямое или косвенное определение соблюдения требований, предъявляемых к объекту, есть *оценка соответствия*. *Подтверждение соответствия* заключается в документальном удостоверении соответствия продукции, процессов производства и др. требованиям технических регламентов, положениям стандартов или условиям договоров. Поскольку любое событие совершается с определённой вероятностью, вводится понятие *риск* как вероятности причинения вреда жизни или здоровью граждан, имуществу физических или юридических лиц, государственному или муниципальному имуществу, окружа-

ющей среде, жизни или здоровью животных и растений с учетом тяжести этого вреда.

*Сертификация* — форма подтверждения соответствия объектов требованиям технических регламентов, положениям стандартов или условиям договоров, осуществляемая органом по сертификации. После прохождения сертификации выдаётся документ её удостоверяющий — *сертификат соответствия*. Совокупность правил выполнения работ по сертификации представляет собой *систему сертификации*.

Упорядоченность в сферах производства и обращения продукции достигается *стандартизацией*, представляющей собой деятельность по установлению правил и характеристик, результатом является *стандарт*. Устанавливаются понятия *международный стандарт*, принятый международной организацией, и *национальный стандарт*, утвержденный национальным органом Российской Федерации по стандартизации.

Техническое регулирование осуществляется в соответствии с принципами применения единых правил установления требований к продукции на всех стадиях жизненного цикла. Техническое регулирование должно соответствовать уровню развития национальной экономики, развития материально-технической базы, а также уровню научно-технического развития. Важнейшим является принцип независимости органов по аккредитации и органов по сертификации от изготовителей, продавцов, исполнителей и приобретателей. Вводится единая система и правила аккредитации. Методы исследований, испытаний и измерений при проведении процедур обязательной оценки соответствия должны соответствовать единым правилам. Осуществление аккредитации и сертификации без всяких ограничений должно быть на конкурентной основе. Обязательным является принцип недопустимости совмещения полномочий органа государственного контроля и полномочий органа по сертификации; недопустимости совмещения одним органом полномочий на аккредитацию и сертификацию; недопустимости внебюджетного финансирования государственного контроля за соблюдением требований технических регламентов.

## 1.2. ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕГЛАМЕНТЫ

*Технический регламент* — документ, который принят международным договором Российской Федерации, ратифицированным в порядке, установленном законодательством Российской Федерации, или федеральным законом, или указом Президента Российской Федерации, или постановлением Правительства Российской Федерации и устанавливает

обязательные для применения и исполнения требования к объектам технического регулирования. Технические регламенты принимаются исключительно 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; предупреждения действий, вводящих в заблуждение приобретателей.

Содержание и применение технических регламентов строго определено. Например, должны быть установлены минимально необходимые требования, безопасности в различных сферах, при этом учитывается степень риска причинения вреда. Регламент содержит описание продукции, которое должно содержать в себе необходимые подходы и правила *идентификации*, т.е. тождественности характеристик продукции её существенным признакам. Требования содержат конкретные данные, определяемые международными соглашениями. Например, документом ЕС по изделию определено, что краска для покраски поверхности не должна содержать перечисленные химические элементы, и приведены допустимые нормы их концентрации и т.п. При разработке технических регламентов в качестве основы могут быть использованы международные и национальные стандарты. Технические регламенты содержат правила и методы измерений, исследований, испытаний, а также правила отбора образцов, необходимых для этих целей, с учётом специфики продукции.

Обязательные технические требования к отдельным видам продукции, процессам производства, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации определяются совокупностью требований *общих технических регламентов* и *специальных технических регламентов*. Требования общего технического регламента обязательны для применения и соблюдения в отношении любых объектов технического регулирования. Требованиями специального технического регламента учитываются технологические и иные особенности отдельных видов продукции, процессов производства, эксплуатации и других объектов. Таким образом, требования общего технического регламента принимаются, например, по вопросам безопасной эксплуатации и утилизации машин и оборудования; электромагнитной совместимости; а также пожарной, экологической, ядерной, радиационной и биологической безопасности. Специальные технические регламенты устанавливают требования только к тем отдельным видам продукции, процессам производства, минимально необходимый уровень которых не обеспечивается общими регламентами.

Разработчиком проекта технического регламента может быть любое лицо, и проект регламента должен быть доступен для ознакомления всем заинтересованным лицам, государственным органам и производителям

продукции, а также для публичного обсуждения. Наиболее значимые технические регламенты при соблюдении ряда требований к их разработке принимаются в виде федеральных законов.

### 1.3. ПОДТВЕРЖДЕНИЕ СООТВЕТСТВИЯ

Подтверждение соответствия осуществляется в целях удостоверения соответствия объектов технического регулирования техническим регламентам, стандартам, условиям договоров, а также содействия приобретателям в компетентном выборе продукции, работ и услуг. Подтверждение соответствия должно способствовать повышению 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 может носить добровольный или обязательный характер. *Добровольное* подтверждение соответствия осуществляется в форме добровольной сертификации. *Обязательное* подтверждение соответствия осуществляется в формах: принятия *декларации о соответствии (декларирование соответствия)* или обязательной сертификации. Ранее у нас в стране большинство наиболее значимых потребительских товаров, попадающих на рынок, должно было проходить обязательную сертификацию. Такой практики сегодня уже почти нигде нет в мире. Обязательную сертификацию, т. е. проверку на соблюдение установленных требований, в аккредитованных органах по сертификации и испытательных лабораториях должна проходить только продукция, которая может представлять опасность для жизнедеятельности. В настоящее время широко распространена система декларирования, когда сам производитель проводит все необходимые процедуры, которые также установлены в технических регламентах. Подписывая декларацию, производитель гарантирует, что его товар соответствует всем необходимым требованиям и тому, что написано в документации. Таким образом, получается, что контроль качества продукции осуществляется не только на производстве, а главным образом на рынке. Производителю становится невыгодным изготавливать некачественную продукцию, так как его недобросовестность будет обнаружена потребителем, который может заявить об этом в надзорные государственные органы. В этом случае производитель не только теряет деньги в виде штрафа и товар, но и, что для него важнее, хорошую репутацию. Сейчас происходит процесс гармонизации

нашей системы технического регулирования с общемировой, поэтому перечень продукции, которая должна пройти сертификацию, и перечень товаров, подлежащих декларированию, постоянно пересматривается и переутверждается. Таким образом, идет постоянный процесс перевода продукции из-под обязательной сертификации под декларирование и в будущем декларирование вероятнее всего максимально заменит обязательную сертификацию. Обязательная сертификация останется там, где этого требуют международные соглашения или это продиктовано общемировой практикой. Одновременно роль добровольной сертификации существенно возрастёт.

Добровольное подтверждение соответствия осуществляется по инициативе заявителя на условиях договора между заявителем и органом по сертификации. Добровольное подтверждение соответствия может осуществляться для установления соответствия национальным стандартам, стандартам организаций, системам добровольной сертификации, условиям договоров.

Обязательное подтверждение соответствия проводится только в случаях, установленных соответствующим техническим регламентом, и исключительно на соответствие требованиям технического регламента. Объектом обязательного подтверждения соответствия может быть только продукция, выпускаемая в обращение на территории Российской Федерации.

Декларирование соответствия осуществляется по одной из следующих схем: принятие декларации о соответствии на основании собственных доказательств; доказательств, полученных с участием органа по сертификации или аккредитованной испытательной лаборатории или того и другого. Соответствие продукции требованиям технических регламентов подтверждается сертификатом соответствия, выдаваемым заявителю органом по сертификации. В процессе сертификации изготовитель сертифицирует свою продукцию в сертификационном центре, который проводит необходимые испытания и подтверждает соответствие продукции техническим условиям, а затем выдает сертификат соответствия.

Декларирование осуществляется по заявлению о том, что изготовитель принимает личную ответственность за то, что все установленные технические требования выполнены. В этом случае к декларации прилагается так называемый технический файл, который содержит результаты исследований и испытаний, но проведенные уже самим изготовителем. Место проведения испытаний может быть любое — или собственная лаборатория или другая лаборатория, это определяется самим изготовителем.

Форма и схемы обязательного подтверждения соответствия устанавливаются только техническим регламентом. В этом случае сертификация и

декларирование существуют, как обязательные формы. Существует также сертификация в добровольном порядке. Принимая добровольную сертификацию, изготовитель показывает своё преимущество перед конкурентами. Одна или несколько добровольных сертификаций и получение знаков соответствия, которые означают, что у него помимо обязательных требований выполнены и другие. Изготовитель платит за сертификацию дополнительные деньги, но в этом случае потребитель, покупая товар, имеет больше гарантий качества.

Таким образом, сертификация может быть на обязательной и на добровольной основе, а декларирование только в обязательной форме. Декларирование в случае её добровольности приобретало бы характер рекламы, поэтому оно может быть только в обязательной форме.

Обязательные требования и различные механизмы контроля (надзора) за этими требованиями и есть техническое регулирование. Техническое регулирование позволяет снять не обоснованные ограничения, устанавливаемые в ряде случаев ГОСТами, особенно в сфере потребительской продукции. Потребитель имеет право заказать продукцию по своему усмотрению у каждого свои требования к потребительским характеристикам и свои вкусы. Свойства по безопасности устанавливаются государством, потому что рынок не будет заботиться о безопасности, так как это не выгодно рынку. Рынок заинтересован в получении прибыли. Логично предположить, что предприниматель не будет ставить очистные сооружения, он не будет проводить дополнительные исследования, чтобы доказать, что он выполнил параметры безопасности. Поэтому, государство вводит обязательные требования в интересах безопасности населения, устанавливая соответствующие технические регламенты.

Конкретная схема, которая используется для подтверждения соответствия — декларирование или сертификация прописывается техническим регламентом. Если изготовитель применяет на производстве сертифицированную систему качества, то он может использовать упрощенную схему сертификации своей продукции. Изготовитель, при постановке продукции на производство будет совершенно четко знать, что этот вид продукции идет под декларирование, а другой под сертификацию. В техническом регламенте прописывается конкретная схема, которая должна использоваться для подтверждения соответствия: декларирование, сертификация или упрощенная схема сертификации, о которой говорилось выше. Экономическая целесообразность новой формы технического регулирования очевидна — декларирование стоит достаточно дешево, так как можно воспользоваться собственной испытательной лабораторией. Упрощенная схема сертификации, например, подразумевает, что сертифицируется не только изделие, но и каждая его комплектующая, а затем уже готовое из-

деле. Это — экономически самая дорогая сертификация. Какой вариант подтверждения соответствия выбрать, будет зависеть от вида и назначения продукции; насколько продукция, на которую распространяется данный технический регламент, является важной с точки зрения безопасности. Например, редуктор привода насоса жизнеобеспечения населённого пункта, в случае поломки не причинит существенного вреда здоровью, так как не исключается временная схема поддержки. Воздушное судно или судно, находящееся в плавании — другое дело, в этом случае риски ущерба велики. Необходимо применить самую дорогостоящую схему сертификации, когда сертифицируется все по отдельности от винта, обивочных материалов, стульев, столов, бытовых и функциональных предметов и т.д. до конструкции в целом. В каждом случае — необходим контроль. Поэтому определено, какие контрольные органы будут контролировать данный вид продукции на рынке. Правила испытаний продукции прописываются в техническом регламенте. Контрольный орган пользуется для проведения надзора правилами, являющимися общедоступными и общеизвестными, так как они определяются постановлениями Правительства. Никакими другими правилами пользоваться нельзя.

#### **1.4. АККРЕДИТАЦИЯ И КОНТРОЛЬ ЗА СОБЛЮДЕНИЕМ ТРЕБОВАНИЙ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕГЛАМЕНТОВ**

Аккредитация органов по сертификации и испытательных лабораторий и центров осуществляется для подтверждения компетентности органов по сертификации и испытательных лабораторий и центров, выполняющих работы по подтверждению соответствия. Таким образом, создаются условия для обеспечения доверия изготовителей, продавцов и приобретателей к деятельности органов по сертификации и аккредитованных испытательных лабораторий и центров, а также для безусловного признания результатов деятельности органов по сертификации и аккредитованных испытательных лабораторий и центров.

Соблюдение требований технических регламентов проверяется на уровне государственного контроля (надзора). Контроль проводится в отношении продукции, процессов производства, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации исключительно в части соблюдения требований соответствующих технических регламентов. В отношении конечной продукции государственный контроль за соблюдением требований технических регламентов осуществляется исключительно на стадии обращения продукции, т.е. на рынке. При осуществлении мероприятий по государственному контролю за соблюдением требований техни-

ческих регламентов используются правила и методы исследований, испытаний и измерений, установленные для соответствующих технических регламентов.

Государственный контроль над соблюдением требований технических регламентов особенно тщательно и действенно должен проводиться в отношении безопасности продукции и введения в заблуждение потребителя неправильной маркировкой или представлением недостоверных сведений о ней. Для этого должна применяться специальная система информирования о появлении на рынке продукции, не соответствующей требованиям технических регламентов. Изготовитель, его представитель или продавец в случае обнаружения подобных фактов обязан извещать орган государственного надзора. В течение десяти дней с момента получения такой информации производитель обязан провести проверку достоверности информации и, если она подтвердится, за счет собственных средств разработать программу, согласованную с органом контроля, по предотвращению причинения вреда. Если угроза причинения вреда не может быть устранена путем проведения таких мероприятий, то необходимо приостановить производство и реализацию продукции, отозвать товар с рынка и возместить убытки покупателям. В случае невыполнения изготовителем этих предписаний орган госконтроля, а также иные лица, которым стало об этом известно, вправе обратиться в суд с иском о принудительном отзыве продукции. Если иск удовлетворен, суд обязывает ответчика отозвать продукцию и не позднее месяца со дня вступления решения суда в законную силу довести его до сведения покупателей. За нарушение требований об отзыве продукции могут быть применены меры уголовного и административного воздействия. Всю ответственность за несоответствие продукции техническим регламентам несет изготовитель или продавец, в случае если будет доказано, что продукция стала опасной благодаря его неправомерным действиям.

## ГЛАВА 2 СТАНДАРТИЗАЦИЯ

### 2.1. ЦЕЛИ И ПРИНЦИПЫ СТАНДАРТИЗАЦИИ

*Стандартизация* — деятельность по установлению правил и характеристик для добровольного многократного использования, направленная на достижение упорядоченности в сферах производства и обращения продукции и повышение конкурентоспособности продукции, работ и услуг.

*Основными целями* стандартизации являются: повышение уровня безопасности жизнедеятельности, повышение уровня безопасности объектов с учетом риска возникновения чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера. Стандартизация должна содействовать соблюдению требований технических регламентов, обеспечению научно-технического прогресса, а также рациональному использованию ресурсов. Стандартизация должна обеспечивать техническую и информационную совместимость, сопоставимость результатов исследований, испытаний и измерений, технических и экономико-статистических данных. Одной из целей стандартизации является обеспечение *взаимозаменяемости* изделий.

Стандартизация осуществляется в соответствии с принципами: добровольного применения стандартов; максимального учета интересов заинтересованных лиц; применения международного стандарта как основы разработки национального стандарта, за исключением обоснованных случаев. Стандартизация проводится при условии соблюдения требований технических регламентов и обеспечения условий для единообразного применения стандартов.

Результатом деятельности по стандартизации является документ — *стандарт*. В настоящее время на территории Российской Федерации, используются: национальные стандарты; межгосударственные правила стандартизации, нормы и рекомендации в области стандартизации; общероссийские классификаторы технико-экономической и социальной информации; стандарты организаций; своды правил.

Национальный стандарт применяется на добровольной основе независимо от страны, места происхождения продукции, осуществления процессов производства и др. Применение национального стандарта подтверждается знаком соответствия национальному стандарту. Разработчиком национального стандарта может быть любое лицо. Уведомление о разработке национального стандарта направляется в национальный орган по стандартизации и публикуется в информационной системе общего пользования в электронно-цифровой форме и в печатном издании федерального органа исполнительной власти по техническому регулированию. Оно должно содержать информацию об имеющихся в проекте национального стандарта положениях, которые отличаются от положений соответствующих международных стандартов. Разработчик национального стандарта должен обеспечить доступность проекта национального стандарта заинтересованным лицам для ознакомления. Национальные стандарты утверждаются национальным органом по стандартизации в соответствии с правилами стандартизации, нормами и рекомендациями в этой области.

Общероссийские классификаторы представляют собой нормативные документы, распределяющие технико-экономическую и социальную информацию в соответствии с ее классификацией (классы, группы, виды продукции) являются обязательными для применения при создании государственных информационных систем и информационных ресурсов и межведомственном обмене информацией. Порядок разработки, принятия, введения в действие, ведения и применения общероссийских классификаторов в социально-экономической области (в том числе в области прогнозирования, статистического учета, банковской деятельности, налогообложения, при межведомственном информационном обмене, создании информационных систем и информационных ресурсов) устанавливается Правительством Российской Федерации.

Национальные стандарты и общероссийские классификаторы технико-экономической и социальной информации, в том числе правила их разработки и применения, представляют собой *национальную систему стандартизации*.

Стандарты организаций, в том числе коммерческих, общественных, научных организаций, саморегулируемых организаций, объединений юридических лиц могут разрабатываться и утверждаться ими самостоятельно, исходя из необходимости применения в областях знаний результатов исследований, измерений и разработок.

Деятельность в области стандартизации координирует *национальный орган Российской Федерации по стандартизации*. Орган по стандартизации принимает программу разработки национальных стандартов и орга-

низует экспертизу проектов национальных стандартов. Он обеспечивает соответствие национальной системы стандартизации интересам национальной экономики, состоянию материально-технической базы и научно-техническому прогрессу, а также осуществляет другие технические и организационные функции.

## **2.2. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ СИСТЕМЫ СТАНДАРТИЗАЦИИ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Производство продукции высокого качества требует разработки новых и модернизации существующих технологических процессов и средств технологического оснащения. Это приводит к необходимости дальнейшего развития машиностроения и характеризуется значительным усложнением конструкций машин и механизмов, вызванное повышением рабочих параметров: давления, температуры, скорости, а также требованиями к надежности, долговечности, производительности, точности и другим показателям качества функционирования. Одновременно с этим возникает необходимость увеличения степени автоматизации процессов, связанной с выполнением и управлением операциями при производстве продукции. В условиях рыночных отношений, высокие темпы научно-технического прогресса приводят к быстрому моральному старению техники, к необходимости ее частой замены. Вместе с тем, промышленное производство становится все более массовым или крупносерийным, основанным на глубокой специализации и широком кооперировании, в том числе международном, различных фирм производителей. Именно такое производство способно удовлетворить растущие потребности огромного по масштабам спроса населения на продукцию, особенно в сфере потребительских товаров и услуг. Кроме того, качество продукции должно соответствовать техническим требованиям, конкурировать с лучшими зарубежными аналогами и превосходить их. Это позволит обеспечить устойчивый спрос на продукцию и получение прибыли необходимой для развития производства. В условиях широко разветвленных внутренних и международных хозяйственных связей, специализации и кооперирования в сфере производства, проблема повышения качества приобретает межотраслевой характер. Качество конечного изделия зависит от качества материалов, заготовок, покупных и получаемых по кооперации, в том числе международной, узлов, деталей и агрегатов. Взаимная увязка требований к качеству на каждом из этапов изготовления изделия может осуществляться только путем *комплексной стандартизации*. Достижение перспективных требований

к уровню качества изделий вызывает необходимость применения методов *опережающей стандартизации*, при которой закладываются перспективные технологии, материалы, информационное обеспечение и т.д. Разрабатывая и внедряя новые стандарты, и систематически пересматривая действующие, можно управлять качеством продукции. На современном этапе развития важным является *гармонизация* стандартов, т.е. учёт требований и рекомендаций международных организаций.

*История развития стандартизации* в России имеет корни, относящиеся к началу XVIII в., когда по образцам, утвержденным Петром I, были построены серии судов с одинаковыми размерами, якорями, вооружением и снаряжением. Это позволяло выдерживать как равные размеры элементов конструкций судов, так и единый уровень их качества. России принадлежит приоритет в организации на основе стандартизации взаимозаменяемого производства в металлообрабатывающей промышленности. В 1761 г. на Тульском и Ижевском заводах, было организовано массовое производство ружей.

В конце XIX — начале XX в. стандартизация в области применения принципа взаимозаменяемости распространяется на многие виды военной и гражданской продукции. В этот период на некоторых крупных заводах Петербурга и Москвы, а также на оружейных заводах Тулы, Ижевска и других промышленных городах появились стандарты в форме заводских норм на допуски и посадки. Первая попытка обобщить и создать стандарт на единую систему допусков и посадок была сделана в 1914—1915 гг. профессором Московского высшего технического училища И.И. Куколевским. Предложенная им система была использована в 1915—1917 гг. при выполнении военных заказов; она нашла также применение и в гражданской промышленности. Интенсивное развитие стандартизации в машиностроении и приборостроении началось в 20-х годах. В 1924 г. было организовано Бюро промышленной стандартизации как руководящий орган по стандартизации в промышленности, а так же созданы рабочие комиссии по стандартизации в ведущих отраслях. В сентябре 1925 г. был создан Комитет стандартизации при Совете Труда и Обороне. В 1924—1925 гг. под руководством проф. А.Д. Гатцука был разработан проект стандарта «Допуски для пригонок». В 1929 г., под руководством председателя специальной комиссии проф. М.А. Саверина проект представлен и утвержден Комитетом по стандартизации в качестве общесоюзного стандарта, обязательного для всех предприятий и организаций СССР. После утверждения этого стандарта были разработаны и в 1931 г. утверждены стандарты на гладкие калибры для контроля размеров и начали создаваться единые государственные (общесоюзные) стандарты ОСТ. Первым председателем Комитета стандартизации был В.В. Куйбышев.

В 1926—1928 гг. были разработаны таблицы номинальных размеров резьбовых деталей и соединений, а в 1931 г. утвержден стандарт на допуски параметров резьбы. В последующие годы активно разрабатываются методические основы стандартизации. Начиная с 30-х годов, разрабатываются новые методы расчета точности механизмов и теоретические основы учения точности и взаимозаменяемости, создаются системы допусков для зубчатых колес, шлицевых соединений, тугой резьбы, шероховатость поверхности и др.

В разное время под разными названиями работу в области технического регулирования, стандартизации и метрологии осуществляют правительственные организации по стандартизации и метрологии. В 1930 г. Совет Народных Комиссаров СССР принимает решение о реорганизации Комитета по стандартизации во Всесоюзный Комитет по стандартизации (ВКС). В 1940 г. была введена категория государственных стандартов (ГОСТ), обязательных к применению во всех отраслях народного хозяйства Советского Союза. В 1954 г. был создан Комитет стандартов, мер и измерительных приборов при Совете Министров СССР, который в 1971 г. в связи с возросшей ролью стандартизации был преобразован в Государственный Комитет стандартов Совета Министров СССР (Госстандарт СССР), а затем Госстандарт РФ. Национальный орган руководит стандартизацией, метрологией и разработкой общих вопросов качества продукции в нашей стране. Этот орган несет ответственность за состояние и дальнейшее развитие стандартизации и метрологии, за обеспечение единства измерений в стране, проведение единой технической политики в области стандартизации и метрологии. Следует отметить, что успешное решение вопросов метрологии и стандартизации возможно благодаря работе в нашей стране ряда научно-исследовательских институтов по стандартизации и метрологии и привлечению к этой работе отраслевых научно-исследовательских институтов, заводов и вузов.

В настоящее время в РФ действует комплекс взаимоувязанных стандартов, правил и положений, который уточняется и дополняется в связи с целями и принципами стандартизации, установленными законом о техническом регулировании. К основным стандартам системы стандартизации в Российской Федерации относятся:

ГОСТ Р 1.0—2004 — Стандартизация в Российской Федерации. Основные положения.

ГОСТ 1.1—2002 — Межгосударственная система стандартизации. Термины и определения.

ГОСТ Р 1.2—2004 — Стандартизация в Российской Федерации. Стандарты национальные Российской Федерации. Правила разработки, утверждения, обновления и отмены.

ГОСТ Р 1.4—2004 — Стандартизация в Российской Федерации. Стандарты организаций. Общие положения.

ГОСТ Р 1.5—2004 — Стандартизация в Российской Федерации. Стандарты национальные Российской Федерации. Правила построения, изложения, оформления и обозначения.

ГОСТ Р 1.8—2004 — Стандартизация в Российской Федерации. Стандарты межгосударственные. Правила проведения в Российской Федерации работ по разработке, применению, обновлению и прекращению применения.

ГОСТ Р 1.9—2004 — Стандартизация в Российской Федерации. Знак соответствия национальным стандартам Российской Федерации. Изображение. Порядок применения.

ГОСТ Р 1.12—2004 — Стандартизация в Российской Федерации. Термины и определения.

Примерами нормативных документов по стандартизации являются:

*Государственный стандарт РФ, ГОСТ Р* — стандарт, принятый органом по стандартизации России для применения на территории Российской Федерации.

*Региональный стандарт, ГОСТ* — стандарт, принятый региональной организацией по стандартизации, для применения на региональном уровне, например странами СНГ.

*Межгосударственный стандарт, ГОСТ*, который также может являться региональным стандартом — стандарт, принятый Межгосударственным Советом по стандартизации, метрологии и сертификации (МГС) или Межгосударственной научно-технической комиссией по стандартизации, техническому нормированию и сертификации в строительстве (МНТКС).

*Международный стандарт, ИСО, МЭК, ИСО/МЭК* — стандарт, принятый соответствующими странами-членами и членами-корреспондентами международных организаций по стандартизации ИСО и МЭК.

*Общероссийский классификатор технико-экономической информации, ОК* — документ, принятый органом по стандартизации России.

*Отраслевой стандарт, ОСТ* — стандарт, принятый государственным органом управления в пределах его компетенции применительно к продукции, работам и услугам отраслевого назначения.

*Стандарт предприятия, СТП* — стандарт, принятый предприятием применительно к продукции, работам и услугам своего предприятия.

*Стандарт научно-технического, инженерного общества, СТО* — стандарт, принятый научно-техническим, инженерным обществом или другим общественным объединением. Устанавливается, как правило, на новые виды продукции, процессы, методы измерений и испытаний.

*Технические условия, ТУ* — документ, разработанный на конкретную продукцию: изделие, материал, вещество и др.

*Правила, ПР* — документ в области стандартизации, метрологии, сертификации, аккредитации, устанавливающий обязательные для применения организационно-технические, общетехнические положения, правила, методы выполнения работ, а также обязательные требования к оформлению результатов этих работ.

*Рекомендации, Р* — документ в области стандартизации, метрологии, сертификации, аккредитации, содержащий добровольные для применения организационно-технические, общетехнические положения, правила, методы выполнения работ, а также рекомендуемые правила оформления результатов этих работ. Правила и рекомендации действуют на территории РФ.

*Правила по межгосударственной стандартизации, ПМГ* имеют такое же назначение, что правила для РФ, но действуют в странах — членах МГС, МНКТС.

*Рекомендации по межгосударственной стандартизации, РМГ* имеют такое же назначение, что рекомендации для РФ, но действуют в странах членах МГС, МНКТС.

*Регламент* — документ, назначение и сфера действия которого оговорена законом о техническом регулировании.

Рассмотрим правила и *примеры условного обозначения* нормативных документов по стандартизации.

При обозначении государственных стандартов (см. пример) указывается комплекс стандартов — код системы ЕСКД (2), затем после точки — классификационная группа (5), порядковый регистрационный номер (03) и год утверждения стандарта (90), например, ГОСТ 2.503—90.

В случае, если в структуре обозначения стандарта отсутствует номер классификационной группы, порядковый регистрационный номер (5) проставляется непосредственно после кода системы (1), например: ГОСТ Р 1.5—2004. В приведённом примере цифра 1 с точкой — код системы стандартизации в РФ.

Международные и региональные стандарты, если к ним присоединилась Россия, а также национальные стандарты других стран при наличии соответствующих соглашений применяют на территории Российской Федерации в качестве государственных стандартов. Государственный стандарт, оформленный на основе применения аутентичного, т.е. равнозначного текста международного или регионального стандарта и не содержащий дополнительных требований, например, Международный стандарт ИСО/МЭК 2593: 1998, принятый в РФ, обозначается: ГОСТ Р ИСО/МЭК 2593—98.

В случае, если в государственном стандарте имеются дополнительные требования по сравнению с международным или региональным стандар-

том, то в скобках приводится обозначение международного стандарта, например: ГОСТ Р 51295—99 (ИСО 2965—97). Межгосударственный стандарт на основе ИСО 9591: 1992 будет обозначаться как ГОСТ ИСО 9591—93. При наличии дополнительных требований по сравнению с международным стандартом в скобках приводится обозначение международного стандарта, например, ГОСТ 20231—92 (ИСО 7173—89).

Условное обозначение отраслевого стандарта состоит (см. пример) из условного обозначения отрасли, министерства, ведомства, которые утвердили ОСТ (56 — Федеральная служба лесного хозяйства), регистрационного номера (98) и года утверждения стандарта (93), например ОСТ 56 98—93.

Условное обозначение стандарта предприятия может выглядеть так СТП МГУИЭ 13—99, где МГУИЭ — аббревиатура предприятия, 13 — регистрационный номер, 99 — год утверждения стандарта.

Обозначение технических условий включает (см. пример) код группы продукции по классификатору продукции (ОКП) (1115), регистрационный номер (017), код предприятия по классификатору предприятий и организаций (ОКПО) (38576343) и год утверждения ТУ (93), например ТУ 1115 017 38576343—93.

## 2.3. МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СТАНДАРТИЗАЦИИ

### Положения научной организации работ по стандартизации

Высокое качество стандартов определяет эффективность их использования. Это достигается применением положений, определяющих научную организацию работ по стандартизации. Повышение качества выпускаемой продукции вызвали объективную необходимость *системного подхода* к процессу производства. Система включает труд людей, обеспечивающих процесс производства; средства труда, т.е. совокупность применяемого оборудования, оснастки, инструмента, средств контроля и т. д.; выпускаемую продукцию на всех стадиях её жизненного цикла. Под системой понимают совокупность взаимосвязанных элементов, функционирование которых приводит к выполнению поставленной цели с максимальной эффективностью и наименьшими затратами. Количественные связи элементов системы могут быть детерминированными или случайными. Совокупность взаимосвязанных элементов, входящих в систему, образует структуру, позволяющую строить иерархическую зависимость их на различных уровнях.

При разработке стандартов необходимо учитывать основные факторы, влияющие на конечный объект стандартизации, соблюдая при этом

*оптимальное ограничение и комплексность.* Это означает необходимость сокращения трудоемкости работ по стандартизации, которое достигается тем, что из рассмотрения исключаются элементы, не значительно влияющие на основной объект. Характеристики и требования к комплексу взаимосвязанных материальных и нематериальных элементов при стандартизации рассматривают систему. При этом требования к элементам определяются исходя из требований к основному объекту стандартизации. Для создания условий получения продукции высокого качества и повышения эффективности производства необходима рациональная система стандартов, которая должна охватывать основные стадии жизненного цикла: проектирование, изготовление и эксплуатацию продукции.

Стандарты должны быть *гармонизированы* с международными стандартами. Устанавливаемые показатели, нормы, характеристики и требования, должны соответствовать мировому уровню науки, техники и производства, а также учитывать тенденцию развития стандартизуемых объектов. Таким образом, достигается *прогрессивность и оптимизация стандартов*. Оптимизация при стандартизации состоит в проведении работ по составлению математических моделей оптимизации параметров объектов стандартизации (ПОС). При этом определяют общие требования к составу и структуре систем этих моделей, типовую блок-схему теоретических методов оптимизации ПОС, а также состав и обозначения методических и нормативно-технических документов, регламентирующих теоретические методы оптимизации ПОС (ГОСТ 18.101—82). Математическая модель оптимизации ПОС представляет собой формализованное (математическое) описание процесса создания и эксплуатации (функционирования или потребления) объекта стандартизации, приспособленное для установления оптимальных номенклатуры и значений его параметров. В этом описании цели создания и эксплуатации (потребления) объекта, действующие ограничения, получаемые эффекты и требуемые затраты являются функциями оптимизируемых параметров. При использовании строгих методов математическая модель оптимизации ПОС строится на основе математической модели создания и эксплуатации (функционирования или потребления) объекта стандартизации.

Оптимизация работ по стандартизации, основанная на оптимизации требований стандартов, заключается в создании и внедрении системы оптимизации параметров объектов стандартизации (СОПОС), которая объединяет методы оптимизации качества продукции и требований стандартов и предоставляет эти методы потребителям. Научно-методические положения СОПОС позволяют решать конкретные задачи оптимизации путем реализации основных положений создания и функцио-

нирования СОПОС. Эти положения предусматривают объединение в единую систему методов математической теории оптимизации, прогнозирования, теории принятия решений, экспериментальных методов оптимизации.

Важным является *принцип обеспечения функциональной взаимозаменяемости* стандартизуемых изделий. Этот принцип позволяет обеспечить взаимозаменяемость изделий по эксплуатационным показателям. Функциональная взаимозаменяемость также предусматривает применение комплексной и опережающей стандартизации.

В настоящее время для гармонизации отечественных и международных стандартов требует *взаимоувязки стандартов*. Это обуславливается большим многообразием общетехнических и межотраслевых стандартов, требующих их взаимной согласованности. Метод комплексной стандартизации позволяет реализовать взаимоувязку стандартов.

Во всех случаях должен быть реализован *научно-исследовательский принцип*, к разработке стандартов это означает, что для подготовки проектов стандартов их успешного применения необходимо не только широкое обобщение практического опыта, но и проведение специальных теоретических, экспериментальных и опытно-конструкторских работ. Этот принцип относится ко всем видам стандартов.

### **Система предпочтительных чисел**

Размеры деталей и соединений, ряды допусков, посадок и другие геометрические параметры изделий, а так же параметры, отражающие функциональные свойства сборочных единиц, механизмов и машин общетехнического применения (подшипники качения, редукторы, электродвигатели и др.), целесообразно упорядочить и делать общими для всех отраслей промышленности, где эти изделия применяются. Применение упорядоченных чисел, представляющих собой *ряды предпочтительных чисел*, позволяет сократить номенклатуру типоразмеров изделий, создать условия для взаимозаменяемости, широкой унификации деталей и узлов и способствовать агрегатированию, а также выбирать рациональные параметры процессов производства. Применение рядов предпочтительных чисел представляет собой параметрическую стандартизацию, которая позволяет получить значительный эффект на всех стадиях жизненного цикла изделий (проектирование, изготовление, эксплуатация и др.). Стандартами параметров охватывается большой диапазон характеристик изделий: материалы, заготовки, размерный режущий инструмент, оснастка, контрольные калибры, узлы по присоединительным размерам, выходные параметры электродвигателей и

многое другое, что используется в той или иной отрасли промышленности.

Ряды предпочтительных чисел, применяемые в стандартизации, строятся на базе математических закономерностей. Наибольшее распространение получили ряды предпочтительных чисел, представленные в ГОСТ 8032—84, который разработан на основе рекомендаций ИСО. Стандартом установлены четыре основных десятичных ряда предпочтительных чисел  $R5$ ,  $R10$ ,  $R20$ ,  $R40$ . В технически обоснованных случаях допускается применение двух дополнительных рядов  $R80$  и  $R160$ . Ряды построены по правилу геометрической прогрессии со знаменателем  $\phi = \sqrt[n]{10}$ . Например, ряд  $R5$  составляют числа: ... 1,0; 1,6; 2,5; 4,0; 6,3; 10; 16 ... знаменатель геометрической прогрессии равен  $\phi_5 = \sqrt[5]{10} \approx 1,6$ . Ряд  $R10$  состоит из чисел: ... 0,63; 0,80; 1,00; 1,25; 1,60; 2,00; 2,50; 3,15; 4,00; 5,00; 6,30; 8,00; 10,0; 12,5 ..., здесь знаменатель прогрессии равен  $\phi_{10} = \sqrt[10]{10} \approx 1,25$ . Другие ряды имеют следующие значения знаменателей:  $\phi_{20} = \sqrt[20]{10} \approx 1,12$ ;  $\phi_{40} = \sqrt[40]{10} \approx 1,06$ ;  $\phi_{80} = \sqrt[80]{10} \approx 1,03$ ;  $\phi_{160} = \sqrt[160]{10} \approx 1,015$ . Основанием этих рядов является число, состоящее из цифр 1 и 0, таким образом, они являются бесконечными как в сторону малых, так и в сторону больших значений, т. е. допускают неограниченное представление чисел в направлении увеличения или уменьшения. Номер ряда предпочтительных чисел указывает на количество членов ряда в десятичном интервале, например, свыше 1 до 10 включительно. Число 1,00 не входит в десятичный интервал как завершающее число предыдущего десятичного интервала, т.е. свыше 0,10 до 1,00 включительно.

Допускается образование специальных рядов путем отбора каждого второго, третьего или  $n$ -го числа из существующего ряда. Так образуется ряд  $R10/3$ , состоящий из каждого третьего значения основного ряда, причем начинаться он может с первого, второго или третьего значения, например:  $R10/3$  может состоять из чисел 1,00; 2,00; 4,00; 8,00 или  $R10/3$  1,25; 2,50; 5,00; 10,00 или  $R10/3$  1,60; 3,15; 6,30; 12,50. Можно составлять специальные ряды с разными знаменателями геометрической прогрессии  $\phi$  в различных интервалах ряда.

Ряды предпочтительных чисел имеют ряд свойств, наличием которых объясняется их широкое применение в стандартизации. Эти свойства позволяют переходить от стандартизации линейных величин к площадям, объемам, энергетическим параметрам (производительности, мощности и др.). Наиболее значимые из свойств рядов следующие:

- Каждый последующий ряд содержит числа предыдущего ряда.
- Произведение двух чисел рядов является числом, содержащимся в рядах, т.е. предпочтительным, что позволяет стандартизовать площади.

- Производство трех чисел ряда является числом, содержащимся в рядах, т.е. предпочтительным, что позволяет стандартизовать объёмы.

- Начиная с ряда  $R10$ , в рядах содержится число 3,15, близкое к числу  $\pi$ , что позволяет стандартизовать длину окружностей, площадь кругов и объём цилиндров.

- Произведение или частное любых членов ряда является, с учётом правил округления, членом ряда. Это свойство используется при увязке между собой стандартизованных параметров в пределах одного ряда предпочтительных чисел. Согласованность параметров является важным критерием качественной разработки стандартов.

В радиоэлектронике применяют предпочтительные числа с другими знаменателями геометрической прогрессии и образуют ряды  $E$ , установленные Международной электротехнической комиссией (МЭК). Они имеют следующие значения знаменателя геометрической прогрессии:  $\phi_3 = \sqrt[3]{10} \approx 2,2$  для ряда  $E3$ ;  $\phi_6 = \sqrt[6]{10} \approx 1,5$  для ряда  $E6$ ;  $\phi_{12} = \sqrt[12]{10} \approx 1,2$  для ряда  $E12$ ;  $\phi_{24} = \sqrt[24]{10} \approx 1,1$  для ряда  $E24$ .

При стандартизации иногда применяют ряды предпочтительных чисел, построенные по арифметической прогрессии. Арифметическая прогрессия положена в основу образования рядов размеров, например, в строительных стандартах. Встречаются ступенчато-арифметические ряды, у которых на отдельных отрезках прогрессии разности между соседними членами различны. Примером таких рядов является диаметры метрической резьбы по ГОСТ 8724—2002, где установлены следующие диаметры в миллиметрах: 1; 1,1; 1,2; 1,4; 1,6; 1,8; 2; 2,2;...; 3; 3,5; 4; 4,5;...; 145; 150; 155; 160 и т. д.

### Параметрические ряды

Производство новых видов изделий, например, машин, технологического оборудования, бытовых приборов и др. может привести к выпуску излишне большой номенклатуры изделий, сходных по назначению и незначительно отличающихся по конструкции и размерам. Рациональное сокращение числа типов и размеров изготавливаемых изделий, унификация и агрегатирование комплектующих позволяет значительно снизить себестоимость продукции. Снижение затрат достигается при одновременном повышении серийности, развитии специализации, межотраслевой и международной кооперации производства, что достигается разработкой стандартов на параметрические ряды однотипных изделий. Удовлетворение спроса рынка и обеспечение качества остаётся при этом главным условием.

Любое изделие характеризуется параметрами, отражающими многообразие его свойства, при этом существует некоторый перечень параметров, который целесообразно стандартизовать. Номенклатура стандартизуемых параметров должна быть минимальной, но достаточной для оценки эксплуатационных характеристик данного типа изделий и его модификаций. Анализируя параметры, выделяют главные и основные параметры изделий.

*Главным* называют параметр, который определяет важнейший эксплуатационный показатель изделия. Главный параметр не зависит от технических усовершенствований изделия и технологии изготовления, он определяет показатель прямого назначения изделия. Например, главным параметром мостового крана является грузоподъемность. Главными параметрами токарного станка являются высота центров и расстояние между центрами передней и задней бабки, определяющих габаритные размеры обрабатываемых заготовок. Редуктор характеризуется передаточным отношением, электродвигатель — мощностью, средства измерений — диапазоном измерения и т.д. Главный параметр принимают за основу при построении параметрического ряда. Выбор главного параметра и определение диапазона значений этого параметра должны быть технически и экономически обоснованы, крайние числовые значения ряда выбирают с учетом текущей и перспективной потребности в данных изделиях, для чего проводятся маркетинговые исследования.

*Параметрическим рядом* является закономерно построенная в определенном диапазоне совокупность числовых значений главного параметра изделия одного функционального назначения и принципа действия. Главный параметр служит базой при определении числовых значений основных параметров, поскольку выражает самое важное эксплуатационное свойство.

*Основными* называют параметры, которые определяют качество изделия как совокупности свойств и показателей, определяющих соответствие изделия своему назначению. Например, для металлорежущего оборудования за основные можно принять: точность обработки, мощность, число оборотов шпинделя, производительность. Для измерительных приборов основными параметрами являются: погрешность измерения, цена деления шкалы, измерительная усилие. Основные и главный параметры взаимосвязаны, поэтому иногда удобно выражать основные параметры через главный параметр. Например, главным параметром поршневого компрессора является диаметр  $D$  цилиндра, а одним из основных — производительность  $Q$ . Они связаны с зависимостью  $Q = 0,25\pi D^2 H n$ , обозначив  $0,25\pi H n$  через  $k$ , получим  $Q = kD^2$ , где  $H$  — ход поршня;  $n$  — частота вращения.

Параметрический ряд называют *типоразмерным* или просто *размерным рядом*, если его главный параметр относится к геометрическим размерам изделия. На базе типоразмерных параметрических рядов разрабатываются *конструктивные ряды* конкретных типов или моделей изделий одинаковой конструкции и одного функционального назначения. Параметрические, типоразмерные и конструктивные ряды машин строятся исходя из пропорционального изменения их эксплуатационных показателей (мощности, производительности, тяговой силы и др.) с учётом теории подобия. В этом случае геометрические характеристики машин (рабочий объем, диаметр цилиндра, диаметр колеса у роторных машин и т. д.) являются производными от эксплуатационных показателей и в пределах ряда машин могут изменяться по закономерностям, отличным от закономерностей изменения эксплуатационных показателей. При построении параметрических, типоразмерных и конструктивных рядов машин целесообразно соблюдать механическое и термодинамическое подобие рабочего процесса, обеспечивающего равенство параметров тепловой и силовой напряженности машин в целом и их деталей. Такой подход приводит к геометрическому подобию.

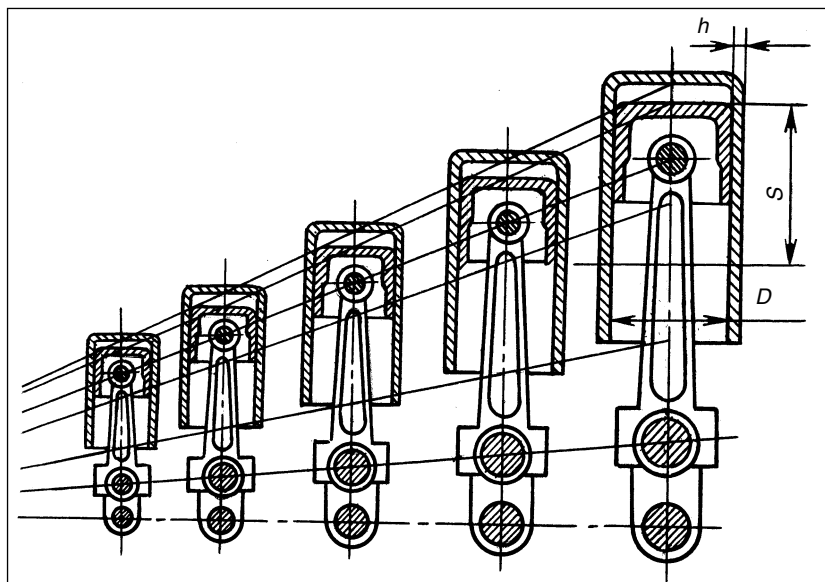


Рис 2.1.  
 Конструктивный  
 ряд поршневой  
 машины

Например, для двигателей внутреннего сгорания действуют такие условия подобия: а) равенство среднего эффективного давления  $p_e$ , зависящего от давления и температуры топливной смеси на всасывании; б) равенство средней скорости поршня  $v_n = S n / 30$  ( $S$  — ход поршня;  $n$  — частота вращения двигателя) или равенство произведения  $D n$ , где  $D$  — диаметр цилиндра.

На основании теории подобия можно перейти от тепловых и силовых параметров двигателя к его геометрическим параметрам. Тогда, главным параметром будет  $D$  (рис. 2.1), что даёт возможность создать ряд геометрически подобных двигателей с соотношением  $S/D = \text{const}$ , в которых будут соблюдаться указанные термодинамический и механический критерии подобия рабочего процесса. При этом у всех геометрически подобных двигателей будут одинаковые коэффициенты полезного действия, расход топлива, тепловая и силовая напряженность и мощность. Градация толщины стенки цилиндра  $h$  и диаметра  $D$  в рядах будет одинаковой. Стандарты на параметрические ряды предусматривают производство прогрессивных по своим характеристикам изделий. Такие ряды должны иметь свойства устанавливать внутритиповую и межтиповую унификацию и агрегатирование изделий, а также возможность создания различных модификаций изделий на основе агрегатирования.

В большинстве случаев числовые значения параметров выбирают из рядов предпочтительных чисел, особенно при равномерной насыщенности ряда во всех его частях, пример такого ряда с округлением чисел представлен на рис. 2.2.

В машиностроении наибольшее распространение получил ряд предпочтительных чисел  $R10$ . Например, для продольно-шлифовальных станков наибольшая ширина  $B$  обрабатываемых изделий образует ряд  $R10$ , т.е.  $B$  равно: 200; 250; 320; 400; 500; 630; 800; 1000; 1250; 1600; 2000; 2500;

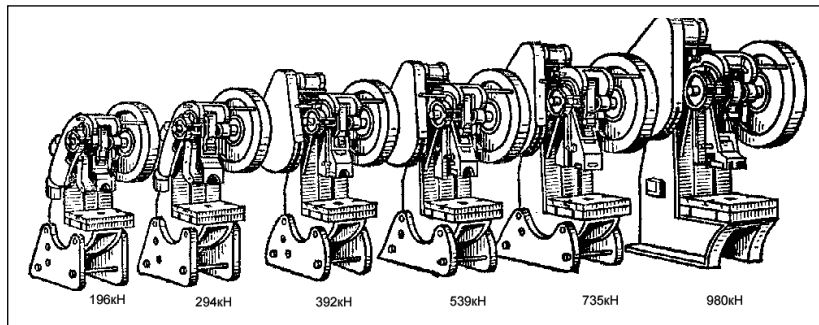


Рис. 2.2.  
Конструктивный  
ряд прессов

3200 мм. Ряд  $R10$  установлен также для номинальных мощностей электрических машин. По ряду  $R10$  приняты диаметры дисковых трехсторонних фрез,  $D$  равно: 50; 63; 80; 100 мм. В некоторых случаях применяют ряды  $R20$  и  $R40$ , так например, для поршневых компрессоров с диаметром цилиндра 67,5 мм номинальная производительность установлена по ряду  $R20/3$ .

Другой пример параметрического ряда — трёхплунжерные насосы высокого давления, выпускаемые фирмой «НОРНАТ». Насосы широко применяются в различных отраслях. Химическая и нефтехимическая промышленность: производство аммиака, карбамида, меламина, уксусной, азотной и других кислот, подача реагентов под высоким давлением. Машиностроение: гидравлическая резка, гидроформование, силовое оборудование для гидравлических прессов. Энергетика: питательные насосы котельных установок парогенераторов. Пищевая промышленность: установки обратного осмоса, гомогенизаторы. Коммунальное хозяйство: ремонт и опрессовка трубопроводов и гидросистем, промывка канализации. Этим перечень не ограничивается, поэтому фирма пошла по пути создания параметрических рядов в разных ступенях габаритов: «Габарит 1.1», «Габарит 1.3», «Габарит 2.3». Главным параметром является давление на выходе, параметрический ряд для него построен по ряду предпочтительных чисел  $R10$  со знаменателем  $\varphi_{10} \approx 1,25$ . При этом, исходя из закономерностей, действующих для объёмных энергетических машин, а также положений теории подобия имеем значения других параметров насоса, расположенных в соответствии с рядами предпочтительных чисел. Диаметры плунжера соответствуют ряду  $R20$  со знаменателем  $\varphi_{20} \approx 1,12$ , подача, т.е. производительность насоса располагается по ряду  $R10$ , при числе оборотов также соответствующих ряду  $R10$ . Анализируя табл. 2.1, можно сделать вывод о достаточно точном соответствии теоретических закономерностей, описывающих функционирование насоса с его геометрическими параметрами, что позволило создать реальные параметрические ряды на разных габаритных уровнях.

Представленный пример соответствует оптимальному, исходя из экономической эффективности и удовлетворения спроса, конструктивно-унифицированным ряду. Таким образом, параметрические и типоразмерные ряды представляют собой ряды изделий, которые обеспечивают выполнение соответствующего их паспортным данным объема работ, с установленными техническими условиями показателями качества, при условии минимизации затрат и получения максимальной прибыли. Таким образом, достигается межотраслевая унификация.

Таблица 2.1

**Конструктивно-унифицированный ряд насосов**

| Диаметр<br>плунжера,<br>мм                  | Давление на выходе, МПа |                  | Подача, куб. м <sup>3</sup> /ч при частоте вращения<br>вала, мин <sup>-1</sup> |     |     |      |      |      |
|---------------------------------------------|-------------------------|------------------|--------------------------------------------------------------------------------|-----|-----|------|------|------|
|                                             | макси-<br>мальное       | номи-<br>нальное | 200                                                                            | 250 | 320 | 400  | 500  | 730  |
| 22                                          | 100                     | 80               | 1                                                                              | —   | —   | —    | —    | —    |
| 25                                          | 80                      | 63               | 1,25                                                                           | 1,6 | —   | —    | —    | —    |
| 28                                          | 63                      | 50               | 1,62                                                                           | 2   | 2,5 | —    | —    | —    |
| 32                                          | 50                      | 40               | 2                                                                              | 2,5 | 3,2 | 4    | —    | —    |
| 36                                          | 40                      | 32               | 2,5                                                                            | 3,2 | 4   | 5    | 6,3  | —    |
| 40                                          | 32                      | 25               | 3,2                                                                            | 4   | 5   | 6,3  | 8    | 12,5 |
| 45                                          | 25                      | 20               | 4                                                                              | 5   | 6,3 | 8    | 10   | 16   |
| 50                                          | 20                      | 16               | 5                                                                              | 6,3 | 8   | 10   | 12,3 | 20   |
| 55                                          | 16                      | 12,5             | 6,3                                                                            | 8   | 10  | 12,3 | 16   | 25   |
| Мощность<br>электро-<br>двигате-<br>ля, кВт | Максимальная            |                  | 40                                                                             | 50  | 63  | 80   | 100  | 160  |
|                                             | Номинальная             |                  | 32                                                                             | 40  | 50  | 63   | 80   | 125  |

Пример рядов насосов высокого давления указывает, что широкое распространение в разных отраслях промышленного производства получили работы по созданию единых конструктивно-унифицированных рядов агрегатов, пригодных для многих типов изделий. *Конструктивно-унифицированный ряд* представляет собой закономерно построенную совокупность изделий: машин, приборов, агрегатов или сборочных единиц, включая базовое изделие и его модификации одинакового или близкого функционального назначения и изделия с аналогичной или близкой кинематикой, схемой рабочих движений, компоновкой и другими признаками. Другими примерами такого подхода к стандартизации параметров изделий является межотраслевая унификация, осуществляемая для грузовых автомобилей, колесных и гусеничных машин, сельскохозяйственной и дорожно-уборочной техники. Особенно широкое распространение получило создание конструктивно-унифицированных рядов при производстве бытовой техники, например, стиральных машин, холодильников, кухонных комбайнов и др.

Рассмотрим образование параметрического ряда на примере протяжного станка, являющегося технологическим оборудованием для металлообработки. Тяговое усилие  $P$  протяжного станка связано с диаметром гидrocилиндра  $D$  зависимостью  $P = 0,25\pi p D^2$ , где  $p$  — давление;  $D$  — диаметр

гидравлического цилиндра. Эта зависимость позволяет связывать ряд номинальных тяговых усилий с рядом значений диаметров. Согласно ГОСТ 16015—91 для тяговых усилий протяжных станков установлен следующий ряд: 0,63; 1,25; 2,5; 5; 10; 20; 40; 80; 160. Этот ряд соответствует ряду  $R10/3$ , т.е. включает каждый 3-й член ряда  $R10$ , начиная с 0,63 и знаменатель геометрической прогрессии в этом случае равен  $\varphi_p = 2$ . Тогда для членов  $i$  и  $i + 1$  этого ряда можно записать  $P_{i+1} = P_i \varphi_p = P_i \cdot 2$ ;  $P_i = 0,25\pi p D_i^2$ ; и  $P_{i+1} = 0,25\pi p (D_i \varphi_D)^2$ , где  $\varphi_D$  — искомый знаменатель прогрессии для ряда диаметров. Разделив  $P_{i+1}$  на  $P_i$ , получим  $P_{i+1}/P_i = D_{i+1}^2/D_i^2 = \varphi_p = \varphi_D^2$ . Находим  $\varphi_D = \sqrt{\varphi_p} = \sqrt{2} = 1,41$ . Таким образом, получим, что ряд значений  $D$  соответствует производному ряду  $R20/3$  с первым членом 45 и каждым третьим из ряда  $R20$ , т.е. получим ряд: 45; 65; 90; 125; 180; 250; 360; 500.

Встречаются случаи, когда целесообразным является применение смешанных рядов, в которых увеличивается число членов ряда в диапазоне наибольшей частоты применения изделий. Таким образом, учитывается увеличенный спрос потребителей изделий, имеющих характеристики в конкретных диапазонах значений. Поэтому при разработке и постановке продукции на производство проводится маркетинг, с целью установления плотности распределения применяемости изделий с различными значениями главных параметров. Например, в общем машиностроении около 90% всех используемых модулей зубчатых колес находятся в пределах 1—6 мм. Максимальное значение применяемости приходится на колеса с модулем 2—4 мм. С учётом применяемости стандарт предусматривает в ряду модулей наибольшее число градаций в диапазоне 2—4 мм.

Наименьшее и наибольшее значения главного параметра, а также частоту ряда устанавливают после проведения технико-экономического обоснования, с учётом текущей потребности и будущего увеличения спроса. Кроме того, учитываются достижения науки и техники и возможные в связи с этим перспективы повышения качества данного вида изделий при одновременном снижении стоимости производства.

### Формы стандартизации

Решение основных задач стандартизации может осуществляться в различных формах, которые, в конечном счёте, служат достижению общих целей повышения эффективности стандартизации.

**Симплификация** — форма стандартизации, направленная на сокращение применяемых при разработке и производстве изделий числа типов комплектующих изделий, марок полуфабрикатов, материалов и т.п. Количество деталей и составных частей принимается технически и экономически целесообразным и достаточным для выпуска изделий с требуемыми

показателями качества. Являясь простейшей формой и начальной стадией более сложных форм стандартизации, симплификация оказывается экономически выгодной, так как приводит к упрощению производства, облегчает материально-техническое снабжение, складирование, отчетность.

**Типизация** — это разновидность стандартизации, заключающаяся в разработке и установлении типовых решений (конструктивных, технологических, организационных и т. п.) на основе наиболее прогрессивных методов и режимов работы. Применительно к конструкциям типизация состоит в том, что некоторое конструктивное решение принимается за основное — базовое для нескольких одинаковых или близких по функциональному назначению изделий. Требуемая же номенклатура и варианты изделий строятся на основе базовой конструкции путем внесения в нее ряда второстепенных изменений и дополнений. Типизация развивается в направлениях стандартизации типовых технологических процессов; стандартизации типовых конструкций изделий; разработки нормативно-технических документов, устанавливающих типовые методики расчётов, испытаний и т.д.

**Унификация** — рациональное уменьшение числа типов, видов и размеров объектов одинакового функционального назначения. Объектами унификации являются изделия, составные части, детали, комплектующие изделия, марки материалов и т. п.

**Систематизация и классификация** являются основой унификации. Систематизация предметов, явлений или понятий преследует цель расположить их в определенном порядке и последовательности, образующей четкую систему, удобную для пользования. При систематизации необходимо учитывать взаимосвязь объектов. Наиболее простой формой систематизации является алфавитная система расположения объектов. Такую систему используют, например, в энциклопедических и политехнических справочниках, в библиографиях и т. п. Применяют также порядковую нумерацию систематизируемых объектов или расположение их в хронологической последовательности. Примером такой систематизации является обозначение стандартов по порядку номеров, после которого в каждом стандарте указывается год его утверждения. Для систематизации параметров и размеров машин, их частей и деталей рекомендуются ряды предпочтительных чисел.

**Классификация** — разновидность систематизации заключается в упорядочении путём расположения предметов, явлений или понятий по классам, подклассам и разрядам в зависимости от их общих признаков. Классификацию удобнее всего проводить, используя десятичную систему. На основе десятичной системы создан общероссийский классификатор продукции. Универсальная десятичная классификация (УДК) принята

в качестве международной системы рубрикации индексами технической и гуманитарной литературы, Например: УДК 62 — техника; УДК 621 — общее машиностроение и электроника; УДК 621.3 — электроника и т. п.

*Агрегатирование* — метод создания новых машин, приборов и другого оборудования путем компоновки конечного изделия из ограниченного набора стандартных и унифицированных узлов и агрегатов, обладающих геометрической и функциональной взаимозаменяемостью.

### **Типизация технологических процессов и конструкций изделий**

*Типизация технологических процессов* — это разработка и установление технологического процесса для производства однотипных деталей или сборки однотипных составных частей или изделий той или иной классификационной группы. Типизации технологических процессов должна предшествовать работа по классификации деталей, сборочных единиц и изделий и установление типовых представителей, обладающих наибольшим числом признаков, характерных для деталей, сборочных единиц и изделий данной классификационной группы. Типизация технологических процессов вызвана необходимостью сокращения неоправданно большого их количества на однотипные детали или сборочные единицы. Проектируя новый объект производства, нет необходимости повторять весь объем технологических разработок и технологических процессов. Типизация технологических процессов при их оптимизации позволяет исключить дублирование ранее разработанных процессов и ускорить подготовку производства. Технологическое подобие деталей определяется совокупностью конструктивных признаков и технологическими характеристиками деталей. Разработка типовых технологических процессов начинается с классификации объектов производства, технологических операций, приспособлений, режущего и мерительного инструмента. Типовой технологический процесс должен быть общим для группы деталей, иметь единый план обработки по основным операциям, однотипное оборудование и оснастку. При разработке типового технологического процесса за основу может быть взят наиболее совершенный действующий технологический процесс или спроектирован новый.

*Типизация конструкций изделий* — это разработка и установление типовых конструкций, содержащих конструктивные параметры, общие для изделий, сборочных единиц и деталей. При типизации конструкций анализируются не только уже существующие типы и типоразмеры изделий, их составные части и детали, но и разрабатываются новые, перспективные, учитывающие достижения науки и техники. Результатом

работы по типизации конструкций могут быть параметрические ряды изделий, составных частей и деталей.

Процесс типизации одновременно с систематизацией и отбором прогрессивных технологических процессов предполагает и усовершенствование технологии производства деталей, создание опережающих процессов с наиболее прогрессивными техническими и экономическими показателями. Стандартизация технологических процессов в машиностроении осуществляется на основе их типизации. Типовым технологическим процессом является процесс, общий для групп однородных деталей, характеризующихся подобием геометрической формы и основных обрабатываемых поверхностей. Общими являются технологический маршрут их обработки, типы оборудования и применяемая оснастка. В типовом технологическом процессе предусматривается применение наиболее прогрессивных и производительных методов обработки, оснастки, оборудования, режимов резания. Режимы обработки, трудоемкость по каждой детали, входящей в группу, охватываемую типовым процессом, могут быть различными, но порядок обработки основных поверхностей должен оставаться постоянным. На основе типового процесса разрабатывается рабочий технологический процесс на конкретную деталь.

Типизация технологических процессов позволяет применять одни и те же приспособления для обработки различных деталей, родственных по конструктивным формам. Это делает экономически целесообразным применение на заводах дорогостоящих высокопроизводительных приспособлений и при малых масштабах выпуске продукции.

Типизация технологических процессов может проводиться по принципу технологической последовательности или по групповому признаку. По принципу технологической последовательности обрабатываются сложные многооперационные детали, а по групповому признаку детали несложной конфигурации со сравнительно небольшим количеством операций и переходов. Обработка деталей по принципу технологической последовательности широко применяется в крупносерийном и массовом производстве, а групповой метод распространён в индивидуальном и мелкосерийном производстве.

В основу построения типовых технологических процессов по принципу технологической последовательности принимается типовой представитель группы деталей. Типовой представитель группы деталей — это деталь, обладающая общими конструкторско-технологическими признаками, такими как: форма, взаимное расположение осей и поверхностей, материал, размерные и весовые характеристики и др. Кроме того, характеризующаяся общностью технологических признаков: технологический маршрут, базы, оборудование, оснастка и др. Обработка такой

детали будет иметь большинство операций, характерных и для других деталей, входящих в группу.

В основу разработки типовых технологических процессов по групповому признаку должна быть положена комплексная деталь, содержащая в своей конструкции все основные формообразующие поверхности, идентичные для деталей данной группы. Комплексная деталь может быть реальной и условной, которая создается наложением или дифференциацией поверхностей деталей, входящих в одну группу. Схема образования комплексной детали показана на рис. 2.3 (цифрами на рисунке указаны формообразующие поверхности).

Разнообразные детали, из которых состоят механизмы и машины: валы, рычаги, втулки, диски, зубчатые колеса, кольца имеют свойственные всем им общие признаки. Оказывается возможным отобрать группу деталей, разных по назначению и форме, но обрабатываемых на однотипных станках: токарных, револьверных, фрезерных и других. Тогда можно эти детали распределить по различным классам в зависимости от признака однородности вида обработки. Внутри каждого класса у различных деталей также можно обнаружить сходство. Исходя из этого сходства, детали можно объединить в группы по признаку общности или близости элементов конструкции, размеров, формы, по признаку сочетания обрабатываемых поверхностей и порядка обработки. При этом следует учитывать также требования к точности размеров, формы, к качеству поверхности, а также вид и материал заготовки, и размеры партий. Очевидно, что хотя все детали внутри группы неодинаковы, они могут быть обработаны по типовому технологическому процессу. Тогда разрабатывают технологический процесс, ориентируясь на комплексную деталь. В этом случае станок настраивается на какую-либо операцию для обработки комплексной детали, а все остальные детали данной группы можно обработать, заменив сменяемую оснастку. Таким образом, сущность группового метода заключается в том, что технологические процессы разрабатываются не на каждую деталь, как обычно, а на группу деталей.

При групповом методе отпадает необходимость частой переналадки станков, сокращается затрата сил, времени, средств, снижается брак и повышается качество продукции, а следовательно, ускоряется оборачиваемость средств, вложенных в производство. При групповом методе на тех же станках можно повторно использовать приспособления. В ряде случаев становится целесообразным их модернизировать. Приспособления становятся и более специализированными, и в то же время более универсальными. Самая важная особенность группового метода заключается в том, что он создает наилучшие условия для обработки деталей в одной поточной линии. Все оборудование образует поточную ли-

нию, в которой детали переходят с одной операции на другую прямолинейно, потоком, благодаря этому сокращаются потери времени, упрощается и механизмуется транспортировка деталей, резко повышается производительность труда рабочих и ритмичность работы.

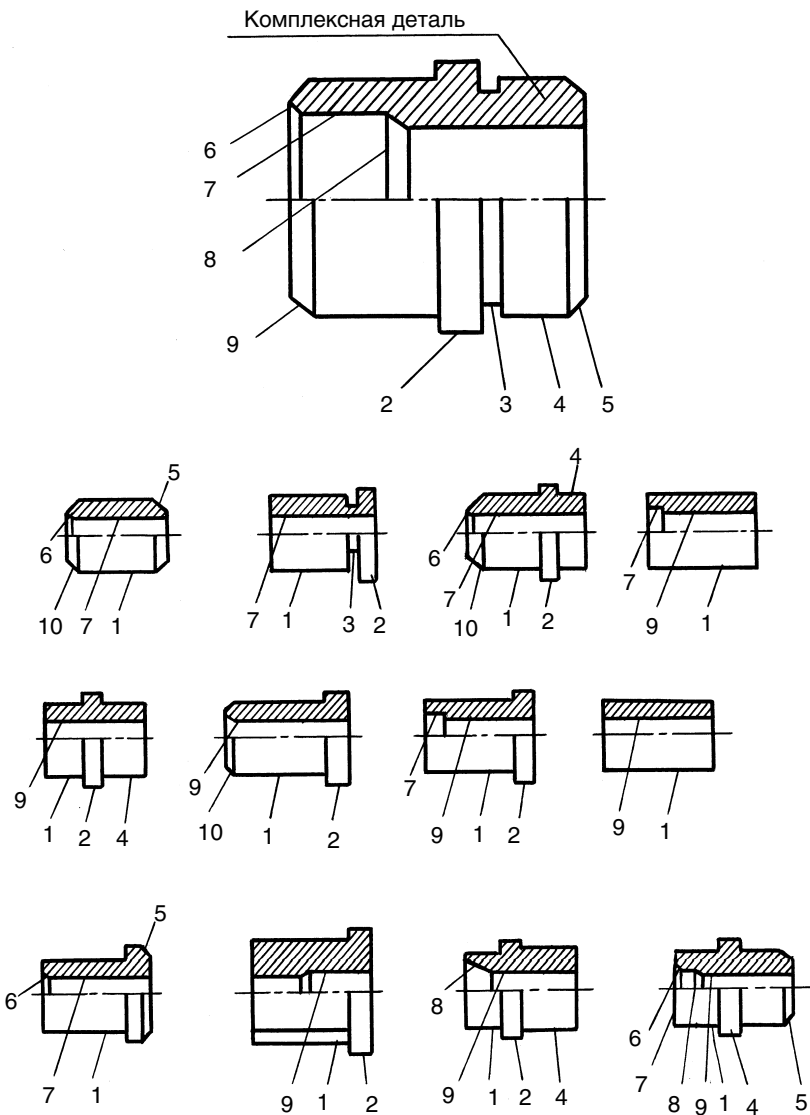


Рис. 2.3. Схема образования комплексной детали

Типизация технологических процессов производится на основе классификации деталей. Классификация деталей проводится по признаку общности конструктивно-технологических признаков: геометрической фор-

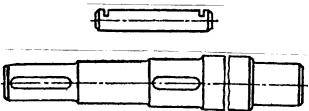
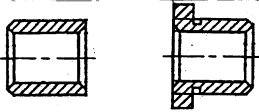
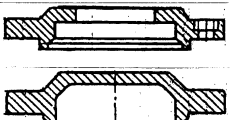
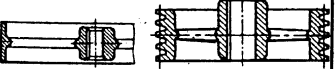
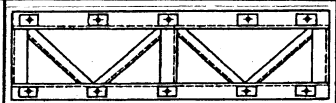
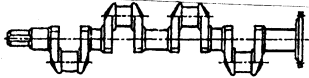
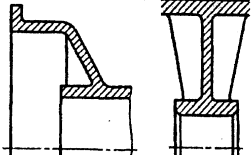
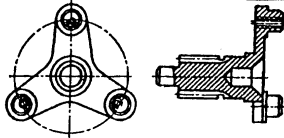
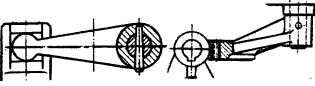
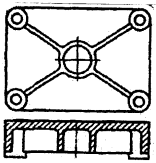
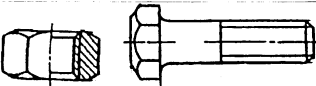
| Шифр | Наименование класса    | Примеры деталей, входящих в состав класса                                           | Шифр | Наименование класса     | Примеры деталей, входящих в состав класса                                            |
|------|------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|------|-------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| В    | Валы                   |    | Ш    | Шпонки                  |    |
| А    | Втулки                 |    | С    | Крышки                  |    |
| Д    | Диски                  |    | У    | Рамы                    |    |
| Э    | Детали с эксцентриками |    | О    | Корпуса                 |    |
| К    | Крестовины             |   | З    | Зубчатые колеса         |   |
| Р    | Рычаги                 |  | Ф    | Фасонные кулачки        |  |
| П    | Плиты                  |  | М    | Мелкие крепежные детали |  |

Рис. 2.4. Схема классификации деталей

мы, характера наружных и внутренних поверхностей, диапазона размеров, методов и маршрута обработки, применяемого оборудования и оснастки и др.

Пример схемы классификации, построенной по признаку общности геометрической формы и подобию технологической обработки, показан на рис. 2.4. Она разработана для деталей весом примерно до 10 т и состоит из семи классов. Классы делятся на группы деталей, однородных по назначению и по общности технологического метода изготовления. При групповом методе обработки в основу классификации должен быть положен принцип общности оборудования, оснастки, единство технологического маршрута. Классифицируемые детали делятся на группы, подлежащие обработке на revolverных, фрезерных, токарных и других станках.

### **Унификация и агрегатирование изделий**

Унификация проводится на основе анализа конструктивных исполнений изделий, их применяемости путем сведения близких по назначению, конструкции и размерам изделий, их составных частей и деталей к единой типовой унифицированной конструкции. Унификация является наиболее распространенной и эффективной формой стандартизации. Конструирование аппаратуры, машин и механизмов с применением унифицированных элементов позволяет не только сократить сроки разработки и уменьшить стоимость изделий, но и повысить их надежность, сократить сроки технологической подготовки и освоения производства.

Различают *внутриразмерную, межразмерную(внутри типовую) и меж типовую унификации*. Внутриразмерная унификация осуществляется для модификаций изделий, имеющих одинаковое функциональное назначение, но отличающихся значением главного параметра. Например, токарно-винторезные станки для обработки заготовок с максимальным диаметром 320 мм унифицированы с токарными, двухсуппортными, операционными и т. д. Степень их унификации между собой и с базовым токарно-винторезным станком достигает 85–95%. Средняя степень унификации автомобилей ЗИЛ, ВАЗ составляет 80–90%. Межразмерная или внутритиповая унификация осуществляется для базовых моделей или их модификаций между разными размерами параметрического ряда изделий, но внутри одного типа. Например, унифицированы токарно-винторезные станки для обработки заготовок диаметром 320 и 400 мм. Степень такой унификации может составлять до 35%. Меж типовая унификация осуществляется для изделий, относящихся к различным параметрическим рядам и различным типам. Например, унифицированы в один межти-

повой ряд продольно-фрезерные, продольно-строгальные, продольно-шлифовальные станки на основе стандартной ширины обрабатываемых заготовок, установленных по ряду  $R10$  (800; 1000; 1250 и 1600 мм). Это позволило применить для указанных станков 45% унифицированных узлов в том числе: стойки, станины, поперечины и др.

*Заводская и отраслевая* унификации, осуществляемые соответственно в рамках одного завода и ряда заводов отрасли может охватывать номенклатуру изделий, сборочных единиц и деталей, которые производят и применяют в различных отраслях — *межотраслевая унификация*.

Работа по унификации и стандартизации нашла широкое применение в различных отраслях производящих продукцию, особенно в литейном производстве, изготовлении кузнечно-прессовой оснастки, станочных приспособлений, инструмента и т. д. Унифицированы крепежные детали, арматура и соединения трубопроводов (вентили, клапаны, тройники, краны), редукторы, муфты, шкивы, подшипники качения и многие другие сборочные единицы и детали.

Унификация деталей и агрегатов общемашиностроительного назначения заключается в замене группы близких по конструкции и размерам типов одним оптимальным типоразмером, использование которого возможно для различного назначения. Такой метод широко используется для деталей и узлов машин с ограниченным числом параметров, определяющих их конструкцию, например, шайбы, винты, болты, гайки, уплотнения, муфты и др. В более сложных случаях требуется предварительный анализ конструкций и параметров объектов, оценка качества их функционирования и проведение расчётов. При этом большое внимание следует уделять влиянию конструктивных элементов на эксплуатационные качества унифицируемых деталей и агрегатов. Например, необходимо уменьшать концентрацию напряжений, особенно в местах контакта деталей, проводить оптимизацию формы деталей и предусматривать плавные переходы от одной поверхности детали к другой.

В настоящее время унификацию деталей и сборочных единиц проводят во всех отраслях промышленного производства. В случае создания специализированных производств унифицированных деталей и составных создаётся значительный технико-экономический эффект.

Возможность применения агрегатов в различных модификациях машин и приборов одного класса или близких по назначению обеспечивает конструктивную преемственность при создании новых изделий. Использование одинаковых узлов и агрегатов значительно сокращает трудоемкость проектирования, изготовления и ремонта изделий, повышает уровень взаимозаменяемости продукции, способствует специализации предприятий, механизации и автоматизации производственных процессов,

улучшает качество продукции, а также облегчает перестройку производства при переходе предприятий на освоение новой продукции. Выделение агрегатов выполняют на основе кинематического анализа машин и их составных частей с учетом возможности применения их в других машинах. При этом стремятся, чтобы из минимального числа типоразмеров автономных агрегатов можно было создать максимальное число компоновок оборудования. Большое распространение получили агрегатные станки, так как при смене объекта производства их легко разобрать и из тех же агрегатов собирать новые станки для обработки других деталей с требуемой точностью. На рис. 2.5 показана типовая компоновка агрегатного станка модели 11А234, предназначенного для сверления отверстий, снятия фасок и нарезания резьбы в деталях типа тормозных барабанов автомобиля. Примером разработки и производства продукции с учётом рыночной стратегии с использованием научно-технической составляющей — разработкой высоких технологий и инновационными методами проектирования, может служить производство комплектующих для пассажирского подвижного состава (ППС). Особенностью рынка комплектующих и узлов ППС являются их широкая номенклатура и маленькие серии. Жизненный цикл изделий превышает 30 лет, поэтому технические решения, заложенные в комплектующие ППС, должны опережать мировой уровень. Кроме того, в них должна быть учтена возможность модернизации и совместимости с новыми технологиями и комплектующими. Таким образом, изделия для ППС нового поколения, должны иметь высокую степень унификации, обеспечивающей блочно-модульный подход при построении конструкторско-технологических рядов изделий. Фирмой «ЭЛМА-Ко» по заказу МПС России разработан ряд электродвигателей ДБ 120-90-1,7-110/55, ДБ 120-150-1,5-110/55, ДБ 200-600-1,5-140-Д25-1/2, ДБ 120-900-3,0-Д25 — для привода насосов отопительной системы, вентиляторов и др. Снижение себестоимости производства достигнуто применением технологической унификации электродвигателей. Реализация концепции построения унифицированного электрооборудования пассажирских вагонов суть, которой заключается в унификации комплектующих пассажирских вагонов за счет применения блочно-модульного принципа проектирования, позволила получить технический и экономический эффект. В том числе снизить стоимость комплекса электрооборудования, увеличить надежность работы систем; снизить расходы на ремонт и эксплуатацию электрооборудования; значительно снизить энергопотребление; применить блочно-модульный принцип проектирования, гарантирующий снижение финансовых и временных затрат на разработку комплектующих делает их производство рентабельным.

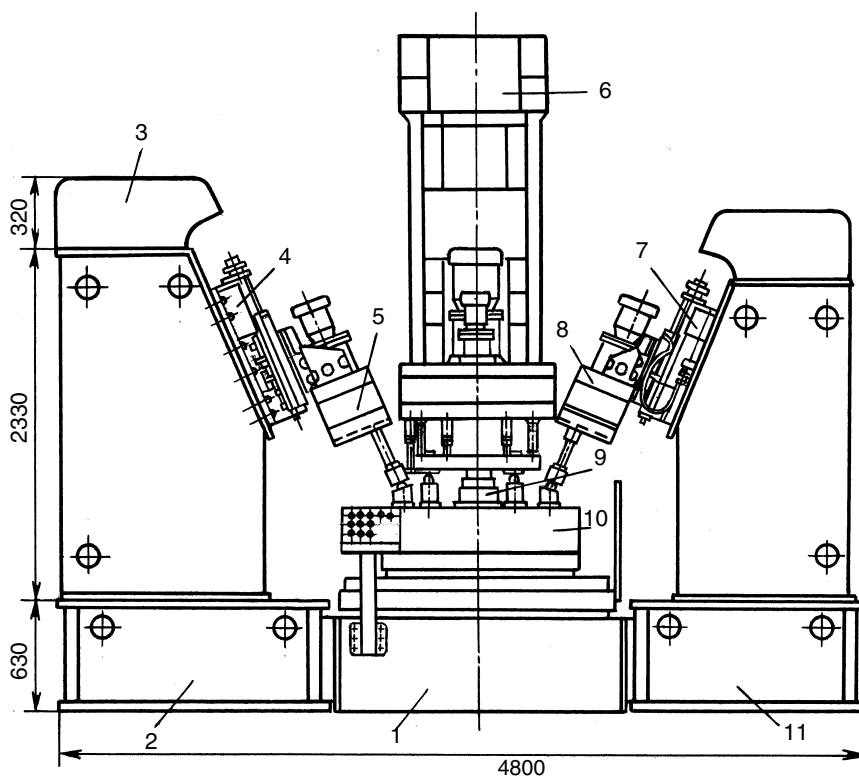


Рис. 2.5. Основные узлы агрегатного станка:

1 — сварное основание; 2, 11 — подставки; 3 — наклонные стойки; 4, 7 — силовые стола со шпиндельными головками 5 и 8; 6 — вертикальные стойки; 9 — зажимное приспособление; 10 — поворотный делительный стол

Наглядным примером применения принципа агрегатирования является система универсально-сборных приспособлений (УСП). Такие приспособления komponуют из окончательно и точно обработанных взаимозаменяемых элементов: угольников, стоек, призм, опор, прихватов, зажимов, крепежных деталей и др. Систему УСП наиболее широко используют на опытных заводах и в условиях мелкосерийного и среднесерийного производства. При таких условиях конструирование и изготовление неразработанных приспособлений экономически нецелесообразны. С помощью элементов УСП собирают приспособления для сборки и сварки крупногабаритных изделий (рис. 2.6).

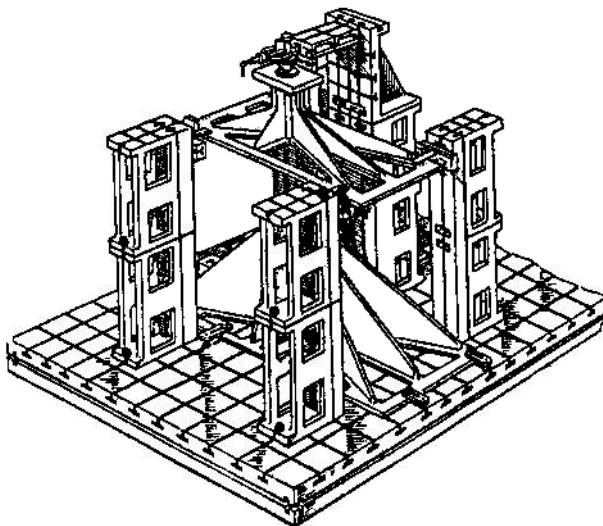
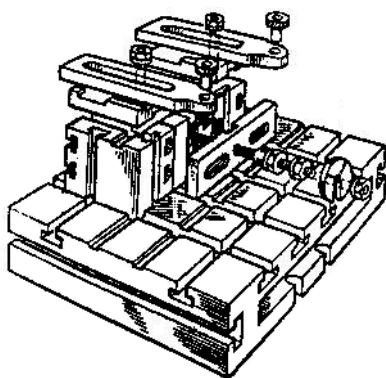
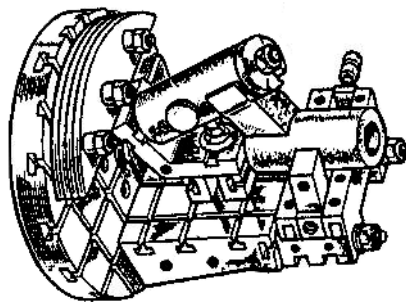


Рис. 2.6. Приспособление для сборки и сварки крупных агрегатов

Универсально-сборные приспособления для фрезерных, сверлильных, расточных, сварочных, сборочных, контрольных и других операций показаны на рис. 2.7. Узлы и базовые детали УСП представлены на рис. 2.8.



а



б

Рис. 2.7. Приспособление для механической обработки:  
а — для обработки отверстий; б — для токарных работ

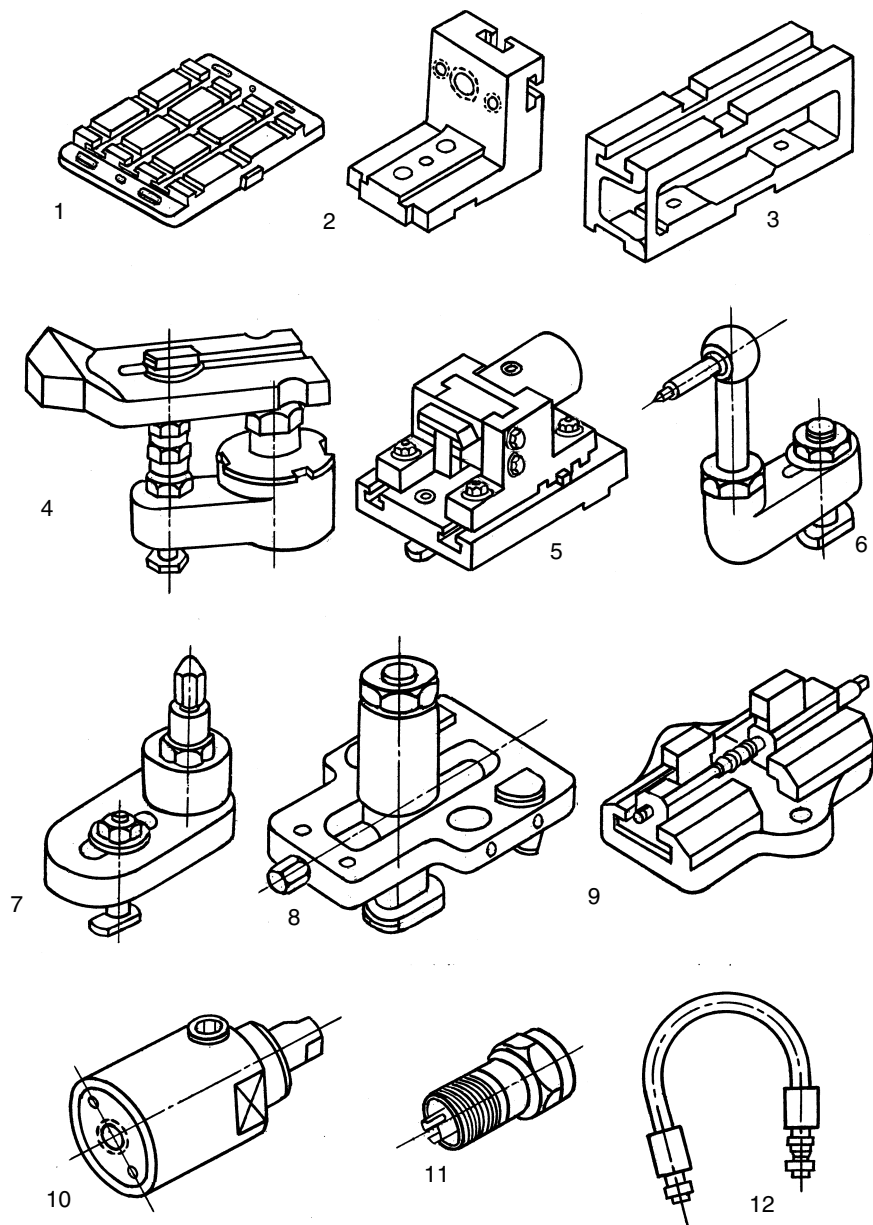


Рис. 2.8. Узлы и базовые детали УСП

Сборно-разборные приспособления (СРП) собираются из стандартных взаимозаменяемых универсальных узлов и деталей. Основные универсальные узлы и базовые детали УСП представлены на рис. 2.8, где: 1 — базовая плита, 2 — базовый угольник, 3 — стойка, 4 — универсальный гидравлический зажим, 5 — регулируемая опора, 6 — прихват, 7 — подводная опора, 8 — регулируемый упор, 9 — самоцентрирующий упор, 10 — гидравлический цилиндр, 11 — разъемный клапан, 12 — рукав высокого давления.

*Показателем уровня стандартизации и унификации изделий* является коэффициент применяемости, определяющий долю стандартизованных и унифицированных составных частей в изделии в процентах:

$$K_{np}^T = \frac{n - n_0}{n} \cdot 100\%,$$

где  $n$  — общее число типоразмеров деталей в изделии;  
 $n_0$  — число типоразмеров оригинальных деталей.

Используют также коэффициенты по трудоемкости, массе, стоимости и числу деталей. Коэффициент межпроектной (взаимной) унификации:

$$K_{м.у.} = \frac{\sum_{i=1}^H n_i - Q}{\sum_{i=1}^H n_i - n_{\max}} \cdot 100\%,$$

где  $H$  — число рассматриваемых изделий (проектов);  
 $n_i$  — число типоразмеров составных частей в  $i$ -м изделии;  
 $Q = \sum_{j=1}^m q_j$  — число типоразмеров составных частей в  $H$  изделиях;  
 $q_j$  — число разновидностей типоразмеров одного наименования в  $j$ -й составной части;  
 $m$  — общее число наименований составных частей рассматриваемых изделий (проектов);  
 $n_{\max}$  — максимальное число типоразмеров составных частей одного изделия (проекта).

При расчете указанных коэффициентов мелкие детали: крепежные детали, детали соединений трубопроводов, шпонки, прокладки и т.п. учитываются отдельно.

## 2.4. КОМПЛЕКСНЫЕ СИСТЕМЫ СТАНДАРТОВ

В настоящее время глубокая кооперация, межотраслевые связи предприятий, а также необходимость гармонизации стандартов с международными обусловили необходимость создания комплексных систем межотраслевых стандартов. Эти системы объединяют в каждом комплексе несколько десятков прогрессивных стандартов, охватывающих все стадии жизненного цикла изделий: исследование и проектирование, подготовку производства, производство, эксплуатацию и ремонт.

### Единая система конструкторской документации (ЕСКД)

ЕСКД устанавливает для всех организаций страны единый порядок организации 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 в разных организациях. ЕСКД дает возможность применять компьютерные технологии для проектирования и обработки технической документации. В стандартах ЕСКД сохранена преемственность с ранее действовавшими стандартами, а также обеспечена согласованность правил оформления чертежей и схем с рекомендациями ИСО и МЭК.

Комплекс стандартов ЕСКД разделяется на следующие группы:

- 0 — общие положения (ГОСТ 2.001 — ГОСТ 2.004);
- 1 — основные положения (ГОСТ 2.101 — ГОСТ 2.125);
- 2 — обозначение изделий и документов (ГОСТ 2.201);
- 3 — общие правила выполнения чертежей (ГОСТ 2.301 — ГОСТ 2.321);
- 4 — правила выполнения чертежей различных изделий (ГОСТ 2.401 — ГОСТ 2.428);
- 5 — правила учёта и обращения конструкторских документов (ГОСТ 2.501 — ГОСТ 2.503);
- 6 — правила выполнения эксплуатационной и ремонтной документации (ГОСТ 2.601 — 2.608);
- 7 — правила выполнения схем (ГОСТ 2.701 — ГОСТ 2.711, ГОСТ 2.721 — ГОСТ 2.770, ГОСТ 2.780 — ГОСТ 2.782 — ГОСТ 2.797);
- 8 — выполнение макетной документации (ГОСТ 2.801 — ГОСТ 2.804, ГОСТ 2.850 — ГОСТ 2.857);
- 9 — прочие.

При проектировании изделий различают следующие стадии: техническое предложение, эскизный проект, технический проект, рабочая документация. *Техническое предложение* представляет собой совокуп-

ность конструкторских документов, обосновывающих целесообразность разработки нового изделия, в т.ч. результаты маркетинга. *Эскизный проект* — совокупность конструкторских документов, содержащих принципиальные конструкторские решения, дающие общее представление об устройстве и принципе работы изделия, его параметры и габаритные размеры. *Технический проект* — совокупность конструкторских документов, которые должны содержать окончательные технические решения и исходные данные для разработки рабочей документации.

Основные направления развития ЕСКД связаны с применением компьютерных технологий 2D и 3D моделирования с использованием программ *Solid Works*, *T-Flex*, *AutoCAD* и т.п. Широкое применение находят системы автоматизации проектно-конструкторских работ (САПР) на базе систем расчёта деталей машин *Quick Calc* и приходящей ей на смену *Win Machine*.

Применение при проектировании новых изделий информационных технологий, работа в интегрированной среде *CAD-CAM*, работа с 3-мерными моделями деталей и сборочных единиц позволяет использовать большой объем информации. Результатом этой работы является возможность получения ассоциативных 2-мерных чертежей, составления технологии обработки деталей как на станках с ЧПУ, так и на простом оборудовании.

### **Единая система технологической документации (ЕСТД)**

Технологическая документация, как и конструкторская, в значительной степени определяет трудоемкость, продолжительность подготовки производства и качество продукции. ЕСТД представляет собой комплекс государственных стандартов, устанавливающих взаимосвязанные правила разработки, оформления и обращения технологической документации. Основное назначение стандартов ЕСТД заключается в установлении единых правил оформления и обращения технологических документов в организациях и на предприятиях. Установленные в стандартах ЕСТД правила и положения по разработке, оформлению и обращению документации распространяются на все виды технологических документов. Стандарты этой системы должны обеспечивать преемственность основных положений стандартов ЕСКД; они должны предусматривать возможность ее разработки, заполнения и обработки средствами информационных технологий. Документация должна базироваться на основе широкого применения типовых (групповых) технологических процессов (операций). Расширение области применения типовых технологических процессов резко сокращает объем работы техно-

лога и объем разрабатываемой документации. Внедрение стандартов ЕСТД играет существенную роль в выборе единого технологического языка, применяемого промышленными организациями и предприятиями, что позволяет повысить уровень технологических разработок и заложить в технологические процессы высокие гарантии качества выпускаемой продукции и повышения производительности труда. Совместно с другими странами проводится работа по созданию системы технологических документов с использованием компьютерных технологий, что способствует расширению технических международных связей.

Весь комплекс стандартов ЕСТД разделяется на классификационные группы:

- 0 — общие положения (ГОСТ 3.1001);
- 1 — основополагающие стандарты (ГОСТ 3.1102—ГОСТ 3.1130);
- 2 — классификация и обозначение технологических документов (ГОСТ 3.1201);
- 3 — учет применяемости деталей и сборных единиц в изделиях;
- 4 — основное производство, формы технологических документов и правила их оформления ГОСТ 3.1401—ГОСТ 3.1409, ГОСТ 3.1412—ГОСТ 3.1428);
- 5 — основное производство, формы технологических документов и правила их оформления на испытания и контроль (ГОСТ 3.1502—3.1507);
- 6 — вспомогательное производство, формы технологических документов (ГОСТ 3.1603);
- 7 — правила заполнения технологических документов (ГОСТ 3.1702—ГОСТ 3.1707).

В условном обозначении стандарта после кода комплекса (цифра 3 с точкой) стоит код производства, для которого разработан стандарт, например 1 — для машиностроения и приборостроения.

### **Стандарты по безопасности жизнедеятельности**

Система обеспечения безопасности жизнедеятельности представлена тремя комплексами стандартов: «Система стандартов безопасности труда (ССБТ)» с кодом 12, «Система стандартов в области охраны природы и улучшения использования природных ресурсов (ССОП)» с кодом 17 и «Безопасность в чрезвычайных ситуациях (БЧС)» с кодом 22.

*Система стандартов безопасности труда (ССБТ)* выполняет важную социальную функцию по предупреждению аварий и несчастных случаев с целью обеспечения охраны здоровья людей на производстве и

в быту. В рамках этой системы производятся взаимная увязка и систематизация всей существующей нормативной и нормативно-технической документации по безопасности труда, в том числе многочисленных норм и правил по технике безопасности производственной санитарии как федерального, так и отраслевого значения. ССБТ представляет собой многоуровневую систему взаимосвязанных стандартов, направленную на обеспечение безопасности труда.

Система ССБТ стандартизована ГОСТ 12.0.001—82 и состоит из следующих групп:

- 0 — организационно-методические стандарты;
- 1 — стандарты требований и норм по видам опасных и вредных производственных факторов;
- 2 — стандарты требований безопасности к производственному обору-  
дованию;
- 3 — стандарты требований безопасности к производственным про-  
цессам;
- 4 — стандарты требований к средствам защиты работающих.

Требования стандартов ССБТ должны быть включены в отраслевые стандарты и стандарты предприятий и соответственно во все виды конструкторской, технологической и проектной документации. Практические пункты реализованы в виде инструкций по технике безопасности на предприятиях. Основные положения ССБТ содержатся в других комплексах стандартов, таких как: ЕСКД, ЕСТД, СРПП, ГСИ и др. ССБТ является нормативной базой для проведения обязательной сертификации.

Требования ССБТ максимально гармонизированы с аналогичными документами ИСО и МЭК. Подготовка стандартов по безопасности направлена на выявление параметров объектов стандартизации, оказывающих негативное воздействие на человека и окружающую среду. Устанавливаются также методы обеспечения безопасности по каждому из этих параметров. Главной целью стандартизации в области безопасности является поиск защиты от различных видов опасностей. Так например, МЭК в сферу вопросов безопасности включила: опасность поражения электротоком, пожароопасность, взрывоопасность, химическую опасность, биологическую опасность, опасность излучений оборудования от: звуковых, инфракрасных, радиочастотных, ультрафиолетовых, ионизирующих, радиационных источников и др.

*Система стандартов в области охраны природы и улучшения использования природных ресурсов (ССОП)* представляет собой совокупность взаимосвязанных стандартов, направленных на сохранение, восстановление и рациональное использование природных ресурсов (ССОП). Эта сис-

тема направлена на обеспечение рационального взаимодействия деятельности человека с окружающей природной средой. Система предусматривает обеспечение, сохранение и восстановление природных богатств, рациональное использование природных ресурсов. ССОП направлена на предупреждение вредного влияния (прямого или косвенного) результатов деятельности человеческого общества на природу и здоровье самого человека. Система разработана в соответствии с действующим законодательством с учетом экологических, санитарно-гигиенических, технических и экономических требований.

*Безопасность в чрезвычайных ситуациях (БЧС)* представлена комплексом стандартов, основной целью которых является: повышение эффективности мероприятий по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций (ЧС) на федеральном, региональном и местном уровнях; обеспечение безопасности населения и объектов народного хозяйства в природных, техногенных, биолого-социальных и военных ЧС; предотвращение или снижение ущерба в ЧС; эффективное использование и экономия материальных и трудовых ресурсов; проведение мероприятий по предупреждению и ликвидации ЧС.

### **Единая система программных документов (ЕСПД)**

Система ЕСПД устанавливает правила разработки, оформления и обращения программ и программной документации. Единые требования к разработке, сопровождению, изготовлению и эксплуатации программ и программной документации обеспечивают: унификацию программных изделий для взаимного обмена программами и применения ранее разработанных программ в новых разработках; снижение трудоемкости и повышение эффективности разработки, сопровождения, изготовления и эксплуатации программных изделий; автоматизацию изготовления и хранения программной документации.

В состав ЕСПД входят следующие классификационные группы ГОСТ 19001—77: 0 — общие положения; 1 — основополагающие стандарты; 2 — правила выполнения документации разработки; 3 — правила выполнения документации изготовления; 4 — правила выполнения документации сопровождения; 5 — правила выполнения эксплуатационной документации; 6 — правила обращения программной документации; 7,8 — резервные группы; 9 — прочие стандарты.

Развитию системы ЕСПД способствует интенсивное развитие информационных технологий, например *CALS*-технологий. Стандартизацией в области *CALS*-технологий занимаются многие организации, в том числе ИСО, принявшей международные стандарты ИСО 10303, ИСО 13584

и др. В настоящее время *CALS*-технологии применяют передовые предприятия России.

Современная аббревиатура *CALS* имеет трактовку: *Continuous Acquisition and Life cycle Support* — непрерывная информационная поддержка жизненного цикла (ЖЦ) продукта. *CALS*-технологии направлены на обеспечение глобальной бизнес-стратегии перехода на безбумажную электронную технологию. Такая технология повышает эффективность бизнес-процессов, выполняемых в ходе ЖЦ продукта за счет информационной интеграции и совместного использования информации на всех стадиях ЖЦ. В настоящее время во многих странах, в том числе и в России, действуют национальные организации, координирующие вопросы развития *CALS*-технологий. Предметом *CALS* являются технологии совместного использования и информации (информационной интеграции) в процессах, выполняемых в ходе ЖЦ продукта. В основе *CALS* лежит комплекс единых информационных моделей, стандартизация способов доступа к информации. Важным является регулирование правовых отношений в области корректной интерпретации информации, обеспечения безопасности информации, а также юридические вопросы совместного использования информации, в частности в вопросах защиты интеллектуальной собственности. Информационная интеграция базируется на применении интегрированных моделей продукта, ЖЦ продукта и выполняемых в его ходе бизнес-процессов, а также производственной и эксплуатационной среды. Системная архитектура базовых информационных моделей является основой, на которой строятся автоматизированные системы управления различного уровня. Одна и та же модель ЖЦ и бизнес-процессов позволяет решать задачи анализа эффективности бизнес-процессов и обеспечения качества продукции. Интегрированная модель продукта обеспечивает обмен конструкторскими данными между проектировщиком и производителем. Применение совместно используемых информационных моделей, являющихся единым источником информации и стандартизованных методов доступа к данным является основой эффективной информационной кооперации всех участников ЖЦ. Повышение эффективности организационной структуры, поддерживающей одну или несколько стадий ЖЦ продукта, достигается путём моделирования жизненного цикла продукта и выполняемых бизнес-процессов и дальнейшего анализа функционирования этой модели. Цель анализа — выявление существующего взаимодействия между составными частями и оценка оптимальности этого взаимодействия. Для этого с использованием *CALS*-технологий разрабатываются функциональные модели, содержащие детальное описание действующих процессов в их взаимосвязи. Формат описания определён стандартами функционального моделирования *IDEF/0* и *ISO 10303 AP208*. Функциональная модель

является детальным описанием выполняемых процессов, и позволяет решать задачи, связанные с оптимизацией, оценкой и распределением затрат, а также оценкой функциональной производительности, загрузки и сбалансированности составных частей. Таким образом, решаются вопросы анализа и реинжиниринга бизнес-процессов — *Business Process Reengineering (BPR)*. *CALS* может рассматриваться как стратегия выживания в рыночной среде, позволяющая расширить области деятельности предприятий (рынки сбыта) за счет кооперации с другими предприятиями, обеспечиваемой стандартизацией представления информации на разных стадиях и этапах жизненного цикла. Благодаря современным телекоммуникациям, уже не принципиально географическое положение и государственная принадлежность партнеров.

Такие возможности информационного взаимодействия позволяют строить кооперацию в форме *виртуальных предприятий*, действующих в течение ЖЦ продукта. В процессах проектирования, производства и эксплуатации действует информационная интеграция, что приводит к сокращению затрат на бумажный документооборот, повторный ввод и обработку информации; обеспечение преемственности результатов работы в комплексных проектах и возможности изменения состава участников без потери достигнутых результатов. Достигается повышение конкурентоспособности продукции, спроектированной и произведенной в интегрированной среде с использованием современных компьютерных технологий и имеющей информационную поддержку на этапе эксплуатации. Заданное качество продукции в интегрированной системе поддержки ЖЦ обеспечивается путем электронного документирования всех процессов и процедур.

### **Межгосударственная система стандартизации (МГСС)**

**Межгосударственная стандартизация** — это стандартизация объектов, представляющих межгосударственный интерес. Представителями стран СНГ подписано «Соглашение о проведении согласованной политики в области стандартизации» и образованы Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации (МГС) и Межгосударственная научно-техническая комиссия по стандартизации, техническому нормированию и сертификации в строительстве (МНТКС). Совет ИСО признал МГС региональной организацией по стандартизации в странах СНГ. Основные положения системы МГСС содержатся в следующих нормативных документах: ГОСТ 1.01—2002, ГОСТ 1.2—97, ГОСТ 1.5—2001, а также в правилах (ПМГ) и рекомендациях (РМГ).

Объектами межгосударственной стандартизации являются: общетехнические нормы и требования.

Целями межгосударственной стандартизации в соответствии являются: защита интересов потребителей и каждого государства — участника соглашения в вопросах качества продукции, услуг и процессов, обеспечивающих безопасность жизни, здоровья и имущества населения, охрану окружающей среды. Должна быть обеспечена совместимость и взаимозаменяемость продукции и технических требований. Типовые изделия общемашиностроительного применения, например: подшипники, зубчатые колёса, резьбовые детали и др. должны соответствовать одним стандартам. Идентичными должны быть программные и технические средства информационных технологий, справочные данные о свойствах материалов и веществ.

В области метрологии реализуются программы совместных работ в нескольких направлениях: передача размеров единиц физических величин; разработка и пересмотр основополагающих межгосударственных нормативных документов по метрологии; создание и применение стандартных образцов состава и свойств веществ и материалов; методы неразрушающего контроля. В рамках СНГ действует «Соглашение о взаимном признании результатов сертификации».

МГС расширяет сотрудничество с международными организациями по стандартизации, метрологии и сертификации (ИСО, МЭК, СЕН). Соглашение с Европейским комитетом по стандартизации (СЕН) предусматривает прямое, безвозмездное применение европейских стандартов в качестве межгосударственных для стран СНГ. В случае использования этих стандартов все национальные стандарты в данной области, противоречащие европейским нормам, убираются из обращения. При этом в СЕН направляются копии стандартов, являющихся прямым применением европейских норм.

## **2.5. МЕЖДУНАРОДНАЯ, РЕГИОНАЛЬНАЯ И НАЦИОНАЛЬНАЯ СТАНДАРТИЗАЦИЯ**

### **Цели международной стандартизации**

Торговое, экономическое и научно-техническое сотрудничество различных стран невозможно без международной стандартизации. Необходимость разработки международных стандартов становится все более очевидной, так как различия национальных стандартов на одну и ту же продукцию, предлагаемую на мировом рынке, являются барьером на пути развития международной торговли, тем более что темпы роста международной торговли с каждым годом растут и превышают темпы развития национальных экономик.

Примеров, когда различия между национальными стандартами тормозят международное сотрудничество, достаточно много. Примером является принятие метрической системы мер Англией, где ранее применялась дюймовая система мер, которая в большинстве стран не применяется. Это вызывало трудности в ремонте техники и подключения её в производственные комплексы, из-за несогласованности присоединительных размеров.

В решении проблем международной торговли действует коммуникативная функция стандартизации. Международная стандартизация содействует перемещению людей, энергии и информации. Таким образом, международные стандарты являются необходимым условием освоения рынков сбыта.

Основной целью международного научно-технического сотрудничества в области стандартизации является гармонизация, т.е. согласование национальной системы стандартизации с международной. Международное сотрудничество в области стандартизации осуществляется по линии международных и региональных организаций по стандартизации.

### **Международные организации по стандартизации**

Деятельностью, направленной на содействие международной стандартизации занимаются *Международная организация по стандартизации (ИСО)*, *Международная электротехническая комиссия (МЭК)* и *Международный союз электросвязи (МСЭ)*.

Наиболее представительными организациями по стандартизации в области промышленного производства являются ИСО и МЭК. Международная организация по стандартизации (ИСО) создана в 1946 г. по решению Комитета по координации стандартов ООН и функционирует с 1947 г. Сфера деятельности ИСО охватывает стандартизацию во всех областях, за исключением электроники и электротехники, которые относятся к компетенции МЭК. Органами ИСО являются Генеральная ассамблея, Совет ИСО, комитеты Совета, технические комитеты и Центральный секретариат. Высший орган ИСО — *Генеральная ассамблея* (рис. 2.9).

В период между сессиями Генеральной ассамблеи работой организации руководит *Совет ИСО*, в который входят представители национальных организаций по стандартизации. При Совете создано дополнительное бюро, которое руководит техническими комитетами ИСО.

Проекты международных стандартов разрабатываются непосредственно рабочими группами, действующими в рамках технических комитетов. *Технические комитеты (ТК)* подразделяются на общетехнические и комитеты, работающие в конкретных областях техники. Общетехнические ТК (в ИСО их насчитывается 26) решают общетехнические и межотрасле-

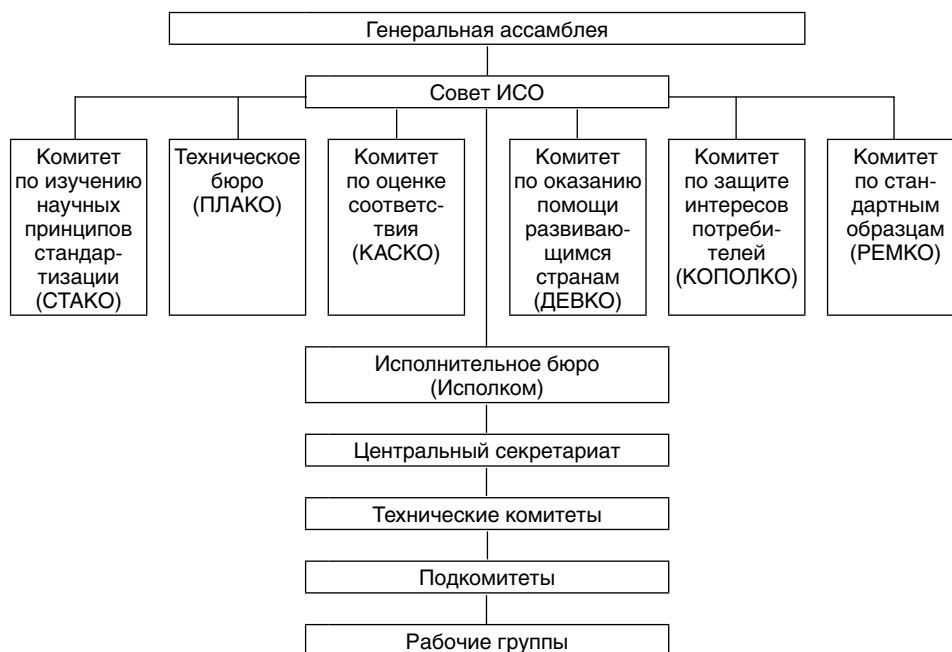


Рис. 2.9. Организационная структура ИСО

вые задачи. К ним, например, относятся ТК 12 «Единицы измерений», ТК 19 «Предпочтительные числа», ТК 37 «Терминология». Остальные ТК (числом около 140) действуют в конкретных областях техники (ТК 22 «Автомобили», ТК 39 «Станки» и др.). ТК, деятельность которых охватывает целую отрасль (химия, авиационная и космическая техника и др.), организуют *подкомитеты (ПК)* и *рабочие группы (РГ)*.

В зависимости от степени заинтересованности каждый член ИСО определяет статус своего участия в работе каждого ТК. Членство может быть активным и в качестве наблюдателей. *Проект международного стандарта (МС)* принимается большинством —  $2/3$  голосов активных членов ТК. Основная часть МС ИСО — основополагающие стандарты, или стандарты на методы испытаний. В международной стандартизации при разработке стандартов на продукцию главное внимание уделяется установлению единых методов испытаний продукции, требований к маркировке, терминологии. Именно эти параметры являются основными для взаимопонимания

изготовителя и потребителя независимо от страны, где производится и используется продукция. В МС также устанавливаются требования к продукции в части безопасности ее для жизни и здоровья людей, окружающей среды, взаимозаменяемости и технической совместимости. Остальные требования к качеству конкретной продукции устанавливать в МС нецелесообразно, так как эти требования регулируются разными категориями потребителей путём согласования ТУ и указываются в контрактах одновременно с ценой на продукт.

В направлении создания общетехнических и межотраслевых норм, ТК ИСО осуществили разработку международной системы единиц измерения, принятие метрической системы резьбы, системы стандартных размеров и конструкции контейнеров для перевозки грузов всеми видами транспорта. В настоящее ТК 176 «Системы обеспечения качества», активно проводит работу по стандартизации и гармонизации основополагающих положений систем обеспечения качества. Первая версия четырех стандартов ИСО серии 9000 была опубликована в 1987 г. Стандарты этой серии направлены на создание единого подхода к решению вопросов качества продукции на предприятиях.

Органами Совета ИСО являются *Техническое бюро* и шесть комитетов (ТК).

*Комитет по оценке соответствия продукции стандартам (КАСКО)* создан в начале 70-х годов в связи с развитием сертификации. КАСКО занимается разработкой международных рекомендаций по вопросам сертификации, таким как: организация испытательных центров в странах и создание требования к ним; маркировка сертифицируемой продукции; требования к органам, осуществляющим руководство системами сертификации и др.

*Комитет по вопросам потребления (КОПОЛКО)* занимается вопросами изучения путей содействия потребителям в получении максимального эффекта от стандартизации продукции, а также установлением мер, которые необходимо предпринять для более широкого участия потребителей в национальной и международной стандартизации. Одновременно разрабатываются рекомендации по стандартизации, направленные на обеспечение информацией потребителей, на защиту их интересов, а также на создание программ обучения вопросам стандартизации. Проводятся работы по обобщению опыта участия потребителей в работах по стандартизации, применению стандартов на потребительские товары, по другим вопросам стандартизации, представляющим интерес для потребителей. Результатом деятельности КОПОЛКО является издание перечней национальных и международных стандартов, представляющих интерес для потребительских организаций, а также подготовка руководств по оценке качества потреби-

тельских товаров. Например, таких как: руководство 12 «Сравнительные испытания потребительских товаров»; руководство 14 «Информация о товарах для потребителей»; руководство 36 «Разработка стандартных методов измерения эксплуатационных характеристик потребительских товаров».

Одной из задач ИСО является совершенствование структуры фонда стандартов. В начале 90-х годов превалировали стандарты в области машиностроения — 30%, химии — 12,5%. На долю стандартов в области здравоохранения и медицины приходилось — 3,5%, охраны окружающей среды всего 3%. Стандарты в области информатики, электроники и информационного обеспечения занимали только 10,5%. В настоящее время приоритетными в деятельности ИСО становятся социальные сферы (защита окружающей среды, здравоохранение), а также информационные технологии.

Конкуренция на мировом рынке фирм, являющихся мировыми изготовителями конкретной продукции, проходит уже на этапе разработки МС. В региональных и международных организациях по стандартизации идет постоянная борьба за лидерство, поскольку экономически развитые страны видят в проекте конкретного МС соответствующий национальный стандарт и борются за отражение в этом проекте своих национальных интересов. Поэтому из общего количества МС ИСО, разработанных всеми ТК, большинство соответствуют национальным стандартам или стандартам предприятий промышленно развитых стран мира. Примером являются стандарты ИСО, принятые в рамках ТК 55 «Пиломатериалы и пиловочные бревна», в которых за основу МС при разработке были взяты соответствующие российские стандарты. Лидерство стран при разработке МС определяется степенью участия её специалистов в деятельности рабочих органов ИСО и МЭК.

МС ИСО не являются обязательными. Каждая страна имеет право применять МС полностью или частично или вообще не применять. Однако, чтобы поддерживать конкурентоспособность своих изделий на мировом рынке изготовители продукции, вынуждены применять международные стандарты.

*Международная электротехническая комиссия (МЭК)* разрабатывает стандарты в области электротехники, радиоэлектроники, связи. Состав Совета МЭК показан на рис. 2.10.

Высший руководящий орган МЭК — Совет, в котором представлены все национальные комитеты. Структура технических органов МЭК такая же, как и ИСО: технические комитеты, подкомитеты и рабочие группы. В составе МЭК 80 ТК, часть из которых разрабатывает МС общетехнического и межотраслевого характера, а другая — МС на конкретные виды продукции (бытовая радиоэлектронная аппаратура, трансформаторы, изделия электронной техники).

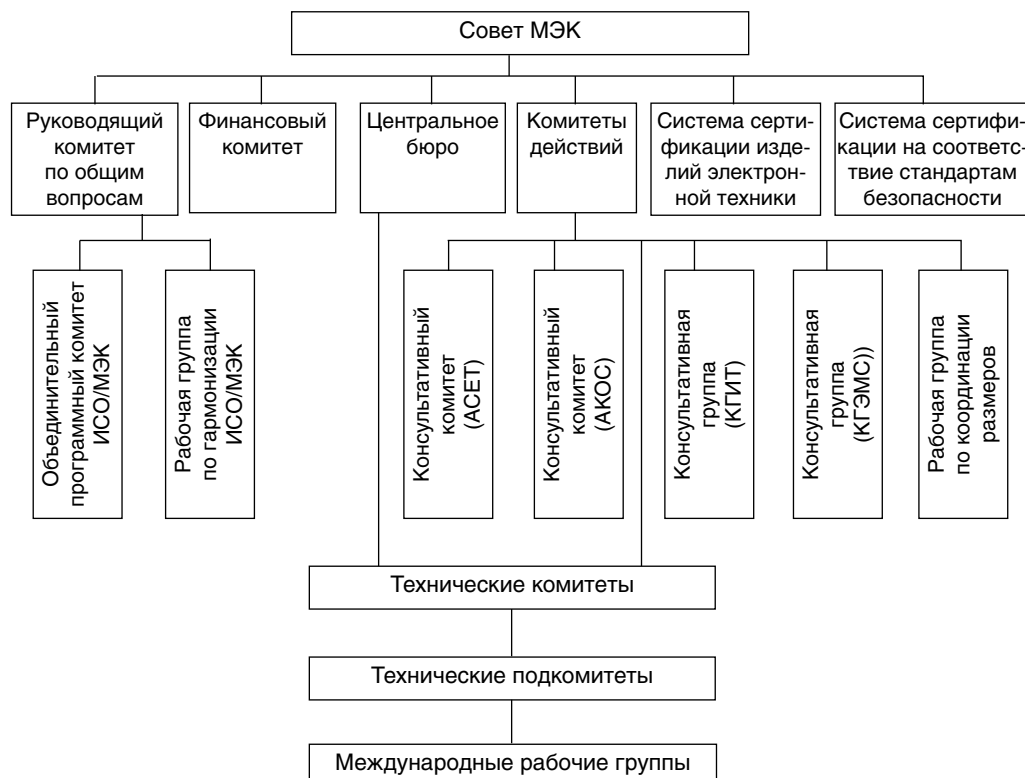


Рис. 2.10. Организационная структура МЭК

МЭК проводит работы по установлению требований безопасности для бытовых электроприборов и машин. Подход к обеспечению безопасности в разных странах несколько различен, поэтому особую важность имеет документ ТК 61 «Безопасность бытовых электроприборов». МС устанавливают требования практически ко всем электробытовым приборам и машинам. Разработка МС в этой области обеспечивает создание в МЭК системы сертификации электробытовых приборов и машин.

Ожидается, что деятельность МЭК и ИСО будет постепенно сближаться. Это должно проходить в направлении разработки единых правил подготовки МС, создания совместных ТК. Например, в области информационных технологий такое сближение уже происходит.

В работах по международной стандартизации участвуют другие организации.

*Европейская экономическая комиссия ООН (ЕЭК ООН)* проводит работы в области стандартизации требований безопасности механических транспортных средств. Правила ЕЭК ООН имеют статус международных стандартов и являются нормативной базой международной и отечественной систем обязательной сертификации автомобилей. ЕЭК ООН совместно с ИСО разработаны МС на универсальные правила по электронному обмену данными в управлении, торговле и на транспорте.

*Международная торговая палата (МТП)* работает в области унификации торговой документации. В пределах своей компетенции в работах по стандартизации участвуют и другие международные организации при ООН — ЮНЕСКО, МАГАТЭ и пр.

### **Стандартизация в рамках Европейского союза (ЕС)**

В настоящее время существует тенденция к интеграции экономики, созданию объединенных региональных рынков. Наибольшее развитие интеграция получила в рамках *Европейского экономического сообщества (ЕЭС)*, которое сформировало единый внутренний рынок. Первоочередное значение в ЕЭС имеет устранение национальных барьеров путём развития европейской стандартизации.

Руководители организаций по стандартизации стран — членов ЕЭС и *Европейской ассоциации свободной торговли (ЕАСТ)* предусматривают возможность совместных действий по согласованию национальных стандартов в условиях экономической интеграции этих стран. В 1961 г. был учрежден *Европейский комитет по стандартизации (СЕН)*. В 1972 г. был создан *Европейский комитет по стандартизации в электротехнике (СЕНЭЛЕК)*. В рамках СЕН и СЕНЭЛЕК действует 239 ТК.

В 1972 г. *Советом ЕС* была принята программа устранения технических барьеров в торговле в пределах Сообщества. В рамках этой программы ставилась задача создания системы обязательных для ЕС единых стандартов. Комиссия ЕС разработала программу «*Зеленая книга Европы*», в которой изложена концепция «Развитие европейской стандартизации для ускорения технической интеграции в Европе», где представлен план перестройки и развития стандартизации на континенте. В «Зеленой книге» отражена позиция ЕС, заключающаяся в том, что евростандарты должны отражать новейшие достижения техники и технологии, а директивы — содержать эффективные меры против проникновения в Сообщество продукции, небезопасной или вредной для населения и окружающей среды. Директива Совета вводится через законодательные акты государств — членов

ЕС, причем устанавливаются сроки ввода: начало действия и конечный срок ее введения в национальных рамках. К термину «европейский стандарт» добавляется определение «гармонизированный». Таким образом, гармонизированный европейский стандарт — это стандарт, обеспечивающий реализацию соответствующей директивы, и в этом случае он обязателен для применения в странах ЕС. Перечни таких гармонизированных стандартов публикуются в официальном бюллетене ЕС. Таким образом, можно считать нормативную базу стандартизации ЕС достаточно прогрессивным и хорошо отлаженным техническим законодательством. Стандарт считается гармонизированным после его опубликования в бюллетене ЕС с указанием номера соответствующей директивы.

В случае отсутствия европейских стандартов, необходимых для обеспечения директивы, комиссия ЕС дает мандат европейским организациям по стандартизации (СЕН, СЕНЭЛЕК) на разработку необходимых стандартов и финансирует эти работы.

В основу большинства евростандартов закладывают, как правило, лучшие стандарты отдельных европейских стран. Например, широко известные своим высоким техническим уровнем стандарты Швеции по электромагнитной безопасности персональных компьютеров положены в основу Единого стандарта ЕС.

Политика комитетов СЕН и СЕНЭЛЕК на современном этапе заключается в том, чтобы как можно чаще использовать МС ИСО и МЭК в качестве региональных. В итоге около 45% НД в рамках ЕС представляют международные стандарты, разработанные ИСО/МЭК.

Европейскими документами по стандартизации являются *европейские стандарты (EN)* и *предварительные европейские стандарты (ENV)*. При проектировании новой продукции в развивающихся отраслях, применяются *технические условия (Technical Specification — TS)*, которые заменяют *ENV*. Технического бюро *CEN* приняло решение по гармонизации европейских документов по стандартизации с международными стандартами.

*TS* разрабатываются техническим комитетом *CEN/CENELEC* и специальной рабочей группой Технического бюро *CEN*. *TS* разрабатываются, например, в области информатики на новые процессы и методы, которые следует апробировать в реальных условиях эксплуатации. Встречаются варианты, когда на один объект разрабатывается несколько, по-существу конкурирующих *TS*. В случае если один из этих *TS* приобретает статус *EN*, все «конкурирующие» *TS* отменяются. Если же не удаётся достичь необходимого консенсуса при принятии *EN*, то разрабатывается *TS*. В ряде стран — членов *CEN* даются официальные извещения о публикации *TS*, и они становятся доступными для широкого поль-

зования, а в некоторых странах *TS* имеют статус предварительного стандарта. *TS* подвергаются экспертной проверке в течение трёх лет с момента разработки. Если проверка показывает целесообразность придания *TS* статуса *EN*, то вступает в действие «одноступенчатая процедура одобрения» (*Unique Acceptance Procedure — UAP*). Результатами проверки *TS* могут быть также продление срока их действия на следующие три года или отмена документа.

### Национальная стандартизация

В других странах существуют свои особенности системы стандартизации и действуют свои национальные органы стандартизации.

Например, в США эту работу возглавляет Американский национальный институт стандартов и технологии (*NIST*). Стандарты США разрабатывают организации, аккредитованные *NIST*. Среди них: Американское общество по испытаниям и материалам (*ASTM*), Американское общество по контролю качества (*ASQC*), Американское общество инженеров-механиков (*ASME*), Объединение испытательных лабораторий страховых компаний, Общество инженеров автомобилестроителей (*SAE*), Институт инженеров по электротехнике и электронике (*IEEE*) и ряд других.

В Великобритании организацией по стандартизации является Британский институт стандартов (*BSI*).

В Германии это — Немецкий институт стандартов (*DIN*). Решением Президиума *DIN* создано Германское общество по маркированию продукции (*DQWK*), которое занимается организацией, управлением и надзором за системами сертификации продукции на соответствие требованиям стандартов *DIN* и в необходимых случаях международных стандартов. Информационным обеспечением занимается Информационный центр технических правил (*DITR*). В настоящее время развивается сотрудничество *DIN* с Российскими организациями.

Во Франции организация по стандартизации — Французская ассоциация по стандартизации (*AFNOR*); в Японии — Японский комитет промышленных стандартов (*JISC*); в Швеции — Шведская комиссия по стандартизации (*SJS*).

В каждой стране есть свои особенности стандартизации и существуют разные точки зрения на международную и региональную стандартизацию.

Процедура разработки американского национального стандарта (*ANSI*) включает свыше десятка этапов. Исполнительный совет по стандартизации Американского национального института стандартов (*ANSI*) проводит аккредитацию разработчика предлагаемого на рассмотрение объекта

стандартизации и извещает общественность о внесенных заявках на аккредитацию. Аккредитация предоставляется, если все полученные отзывы от заинтересованных организаций признаны удовлетворительными, а процедуры разработки, представленные заявителем, соответствуют требованиям *ANSI*.

Одна из задач Американского национального института стандартов (*ANSI*) способствовать международному применению национальных стандартов США, поддерживать политику и позиции США в международных и региональных организациях по стандартизации, а также содействовать принятию международных стандартов в качестве национальных, когда это соответствует интересам страны. *ANSI* разрабатывает и постоянно сопровождает организационно-методические документы по вопросам национальной и международной стандартизации. Аккредитованные *ANSI* организации по разработке стандартов осуществляют свою деятельность в соответствии с руководством *ANSI* по разработке и гармонизации американских национальных стандартов. Участие в работе технических комитетов ИСО и МЭК регламентируется документами, устанавливающими порядок участия делегаций США в работах этих международных организаций, а также правила, которыми должны руководствоваться эксперты США, принимающим участие в заседаниях ИСО и МЭК.

Существуют различия в подходе к международной стандартизации США и ЕС.

В отличие от европейских стран в США поощряется конкуренция между многочисленными организациями, разрабатывающими стандарты. Это нередко приводит к появлению конкурирующих друг с другом и противоречащих друг другу нормативных документов. США выступили с предложением «глобального признания» (*Global Relevance*) международных стандартов после включения в них разнообразных особенностей национальных нормативных документов. В странах ЕС считают, что принятие такого предложения привело бы к отказу от гармонизации стандартов, которая является одной из целей международной стандартизации. Один из существенных пунктов разногласий между США и ЕС заключается в различном толковании принципа ссылки на международные стандарты. ИСО выработала четкие правила ссылки на стандарты. Американский национальный институт стандартов (*ANSI*) поставил эти правила под сомнение, потребовав приравнять в случае применения последних американские стандарты к международным нормативным документам. ИСО отвергла эти притязания и подтвердила предпочтение ссылкам на стандарты ИСО и МЭК.

Национальная организация по стандартизации Японии — Японский комитет промышленных стандартов (*JISC*) — разработала стратегию де-

тельности по стандартизации в стране, в которую включены основные положения стандартизации. Среди которых широкое использование добровольных стандартов в законодательно регулируемых сферах, таких как безопасность и защита окружающей среды. Использование стандартизации рассматривается как инструмент конкуренции.

В настоящее время существует *новый вид документов по стандартизации — New Deliverables*.

Понятие *New Deliverables* охватывает ряд национальных, региональных (европейских) и международных документов по стандартизации. Эти стандарты объединены общим признаком — при их создании не было полного согласия между сторонами, которое лежит в основе классических стандартов. Отказ от учета мнения всех заинтересованных сторон, в некоторых случаях значительно быстрее приводит к выполнению требований рынка. В вопросах безопасности, здравоохранения и защиты окружающей среды традиционный процесс стандартизации остаётся в любом случае обязательным. Таким образом, *New Deliverables* занимает промежуточное положение между документами директивного характера и собственно стандартами. К *New Deliverables* относятся соглашения экспертов, касающиеся той или иной отрасли промышленности или области технологий (*Workshop Agreements*), а также *общедоступные технические условия (Publicly Available Specifications — PAS)*. *PAS* представляют собой специальные документы, разрабатываемые для решения проблем, заказчиками которых, как правило, являются научно-технические и промышленные союзы и консорциумы фирм. *Общедоступные технические условия (PAS)* в случае необходимости и появления соответствующих условий могут быть переведены в категорию стандартов. Направления *PAS* относятся чаще всего к сфере услуг, применения информационных технологий, оптимизации деятельности административных органов и др.

## ГЛАВА 3 МЕТРОЛОГИЯ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

### 3.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

*Метрология* — наука об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства и способах достижения требуемой точности. Таким образом, метрология включает три взаимосвязанных проблемы: реализация процессов измерения; обеспечение их единства; методы и средства измерений.

Основными задачами метрологии являются: установление единиц физических величин; государственных эталонов и образцовых средств измерения; разработка теории, методов и средств измерения и контроля; обеспечение единства измерений; разработка методов оценки погрешностей, состояния средств измерения и контроля; разработка методов передачи размеров единиц от эталонов или образцовых средств измерений рабочим средствам измерений.

Основными документами по метрологии в Российской Федерации являются:

Федеральный закон Российской Федерации от 26 июня 2008 года «Об обеспечении единства измерений».

РМГ 29—99. Государственная система обеспечения единства измерений. Метрология. Основные термины и определения.

МИ 2247—93 ГСИ. Метрология. Основные термины и определения.

ГОСТ 8.417—2002 ГСИ, Единицы физических величин.

ПР 50.2.006—94 ГСИ. Поверка средств измерений. Организация и порядок проведения.

ПР 50.2.009—94 ГСИ. Порядок проведения испытаний и утверждения типа средств измерения.

ПР 50.2.014—2002 ГСИ. Аккредитация метрологических служб юридических лиц на право поверки средств измерений.

МИ 2277—94 ГСИ. Система сертификации средств измерений. Основные положения и порядок проведения работ.

ПР 50.2.002—94 ГСИ. Порядок осуществления государственного метрологического надзора за выпуском, состоянием и применением средств измерений, аттестованными методиками выполнения измерений, эталонами и соблюдением метрологических правил и норм.

Закон «Об обеспечении единства измерений» осуществляет регулирование отношений, связанных с обеспечением единства измерений в Российской Федерации, в соответствии с Конституцией РФ. В законе устанавливаются: основные применяемые понятия, такие как: организационная структура государственного управления обеспечением единства измерений; нормативные документы по обеспечению единства измерений; единицы величин и государственные эталоны единиц величин; средства и методики измерений.

Закон устанавливает Государственную метрологическую службу и другие службы обеспечения единства измерений, метрологические службы государственных органов управления и юридических лиц, а также виды и сферы распределения государственного метрологического контроля и надзора.

Закон отражает установление в РФ рыночных отношений, определяя основы деятельности метрологических служб государственных органов управления и юридических лиц. Вопросы деятельности структурных подразделений метрологических служб на предприятиях выведены за рамки законодательной метрологии и регулируются экономическими методами. В сферах, которые напрямую не контролируются государственными органами, действует Российская система калибровки, также направленная на обеспечение единства измерений. *Система калибровки* — 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.

Положение о лицензировании метрологической деятельности направлено на защиту прав потребителей и охватывает сферы, подлежащие государственному метрологическому контролю и надзору. Право выдачи лицензии предоставлено исключительно органам Государственной метрологической службы. В области государственного метрологического надзора введены новые виды надзора: за количеством товаров, отчуждаемых при торговых операциях; за количеством товаров в упаковках любого вида при их расфасовке и продаже; за банковскими, почтовыми, налоговыми и таможенными операциями; за обязательностью сертификации продукции и услуг.

Закон обеспечивает взаимодействие с международной и национальными системами измерений. Это позволяет достигнуть взаимного признания

результатов испытаний, калибровки и сертификации, а также использовать мировой опыт и тенденции развития современной метрологии.

Существуют и другие законодательные акты и документы по стандартизации, являющиеся законодательной базой метрологии.

### 3.2. ВИДЫ И МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЙ

**Измерение** — процесс нахождения значения физической величины опытным путем с помощью средств измерения. Результатом процесса является значение физической величины  $Q = qU$ , где  $q$  — числовое значение физической величины в принятых единицах;  $U$  — единица физической величины.

Значение физической величины  $Q$ , найденное при измерении, называют *действительным*.

**Принцип измерений** — физическое явление или совокупность физических явлений, положенных в основу измерений. Например, измерение массы тела при помощи взвешивания с использованием силы тяжести, пропорциональной массе, измерение температуры с использованием термоэлектрического эффекта.

**Метод измерений** — совокупность приемов использования принципов и средств измерений.

**Средствами измерений (СИ)** являются используемые технические средства, имеющие нормированные метрологические свойства.

Существуют различные виды измерений. Классификацию видов измерения проводят, исходя из характера зависимости измеряемой величины, от времени, вида уравнения измерений, условий, определяющих точность результата измерений и способов выражения этих результатов.

По характеру зависимости измеряемой величины от времени измерения выделяют статические и динамические измерения.

**Статические** — это измерения, при которых измеряемая величина остается постоянной во времени. Такими измерениями являются, например, измерения размеров изделия, величины постоянного давления, температуры и др.

**Динамические** — это измерения, в процессе которых измеряемая величина изменяется во времени, например, измерение давления и температуры при сжатии газа в цилиндре двигателя.

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

**Прямые** — это измерения, при которых искомое значение физической величины находят непосредственно из опытных данных. Прямые измере-

ния можно выразить формулой  $Q = X$ , где  $Q$  — искомое значение измеряемой величины, а  $X$  — значение, непосредственно получаемое из опытных данных. Примерами таких измерений являются: измерение длины линейкой или рулеткой, измерение диаметра штангенциркулем или микрометром, измерение угла угломером, измерение температуры термометром и т.п.

*Косвенные* — это измерения, при которых значение величины определяют на основании известной зависимости между искомой величиной и величинами, значения которых находят прямыми измерениями. Таким образом, значение измеряемой величины вычисляют по формуле  $Q = F(x_1, x_2, \dots, x_N)$ , где  $Q$  — искомое значение измеряемой величины;  $F$  — известная функциональная зависимость,  $x_1, x_2, \dots, x_N$  — значения величин, полученные прямыми измерениями. Примеры косвенных измерений: определение объема тела по прямым измерениям его геометрических размеров, нахождение удельного электрического сопротивления проводника по его сопротивлению, длине и площади поперечного сечения, измерение среднего диаметра резьбы методом трёх проволочек и т.д. Косвенные измерения широко распространены в тех случаях, когда искомую величину невозможно или слишком сложно измерить прямым измерением. Встречаются случаи, когда величину можно измерить только косвенным путём, например размеры астрономического или внутриатомного порядка.

*Совокупные* — это такие измерения, при которых значения измеряемых величин определяют по результатам повторных измерений одной или нескольких одноименных величин при различных сочетаниях мер или этих величин. Значение искомой величины определяют решением системы уравнений, составляемых по результатам нескольких прямых измерений. Примером совокупных измерений является определение массы отдельных гирь набора, т.е. проведение калибровки по известной массе одной из них и по результатам прямых измерений и сравнения масс различных сочетаний гирь.

Рассмотрим пример совокупных измерений, который заключается в проведении калибровки разновеса, состоящего из гирь массой 1, 2, 2\*, 5, 10 и 20 кг. Ряд гирь (кроме 2\*) представляет собой образцовые массы разного размера. Звездочкой отмечена гиря, имеющая значение, отличное от точного значения 2 кг. Калибровка состоит в определении массы каждой гири по одной образцовой гире, например по гире массой 1 кг. Меняя комбинацию гирь, проведем измерения. Составим уравнения, где цифрами обозначим массу отдельных гирь, например  $1_{\text{обр}}$  обозначает массу образцовой гири в 1 кг, тогда:  $1 = 1_{\text{обр}} + a$ ;  $1 + 1_{\text{обр}} = 2 + b$ ;  $2^* = 2 + c$ ;  $1 + 2 + 2^* = 5 + d$  и т.д. Дополнительные грузы, которые необходимо прибавлять к массе гири указанной в правой части уравнения или отнимать от неё для уравно-

вешивания весов, обозначены  $a, b, c, d$ . Решив эту систему уравнений, можно определить значение массы каждой гири.

*Совместные* — это измерения, производимые одновременно двух или нескольких разноименных величин для нахождения функциональной зависимости между ними. Примерами совместных измерений являются определение длины стержня в зависимости от его температуры или зависимости электрического сопротивления проводника от давления и температуры.

По условиям, определяющим точность результата, измерения делятся на **три класса**:

1. *Измерения максимально возможной точности*, достижимой при существующем уровне техники. В этот класс включены все высокоточные измерения и в первую очередь эталонные измерения, связанные с максимально возможной точностью воспроизведения установленных единиц физических величин. Сюда относятся также измерения физических констант, прежде всего универсальных, например, измерение абсолютного значения ускорения свободного падения.

2. *Контрольно-поверочные измерения*, погрешность которых с определенной вероятностью не должна превышать некоторого заданного значения. В этот класс включены измерения, выполняемые лабораториями государственного контроля (надзора) за соблюдением требований технических регламентов, а также состоянием измерительной техники и заводскими измерительными лабораториями. Эти измерения гарантируют погрешность результата с определенной вероятностью, не превышающей некоторого, заранее заданного значения.

3. *Технические измерения*, в которых погрешность результата определяется характеристиками средств измерений. Примерами технических измерений являются измерения, выполняемые в процессе производства на промышленных предприятиях, в сфере услуг и др.

В зависимости от способа выражения **результатов измерений** различают абсолютные и относительные измерения.

*Абсолютными* называют измерения, которые основаны на прямых измерениях одной или нескольких основных величин или на использовании значений физических констант. Примерами абсолютных измерений являются: определение длины в метрах, силы электрического тока в амперах, ускорения свободного падения в метрах на секунду в квадрате.

*Относительными* называют измерения, при которых искомую величину сравнивают с одноименной величиной, играющей роль единицы или принятой за исходную. Примерами относительных измерений являются: измерение диаметра обечайки по числу оборотов мерного ролика, измерение относительной влажности воздуха, определяемой как отношение ко-

личества водяных паров в  $1 \text{ м}^3$  воздуха к количеству водяных паров, которое насыщает  $1 \text{ м}^3$  воздуха при данной температуре.

В зависимости от способа определения значений искомых величин различают два основных **метода измерений**: метод непосредственной оценки и метод сравнения с мерой.

*Метод непосредственной оценки* — метод измерения, при котором значение величины определяют непосредственно по отсчетному устройству измерительного прибора прямого действия. Примерами таких измерений являются: измерение длины с помощью линейки, размеров деталей микрометром, угломером, давления манометром и т. д.

*Метод сравнения с мерой* — метод измерения, при котором измеряемую величину сравнивают с величиной, воспроизводимой мерой. Например, для измерения диаметра калибра оптиметр устанавливают на нуль по блоку концевых мер длины, а результат измерения получают по показанию стрелки оптиметра, являющегося отклонением от нуля. Таким образом, измеряемая величина сравнивается с размером блока концевых мер. Существуют несколько разновидностей метода сравнения: *метод противопоставления*, при котором измеряемая величина и величина, воспроизводимая мерой, одновременно воздействуют на прибор сравнения, позволяющий установить соотношение между этими величинами, например, измерение сопротивления по мостовой схеме с включением в диагональ моста показывающего прибора. *Дифференциальный метод*, при котором измеряемую величину сравнивают с известной величиной, воспроизводимой мерой. Этим методом, например, определяют отклонение контролируемого диаметра детали на оптиметре после его настройки на нуль по блоку концевых мер длины. *Нулевой метод* — также разновидность метода сравнения с мерой, при котором результирующий эффект воздействия величин на прибор сравнения доводят до нуля. Этим методом измеряют электрическое сопротивление по схеме моста с полным его уравниванием. При *методе совпадений* разность между измеряемой величиной и величиной, воспроизводимой мерой, определяют, используя совпадения отметок шкал или периодических сигналов. Например, при измерении штангенциркулем используют совпадение отметок основной и нониусной шкал.

В зависимости от способа получения измерительной информации, измерения могут быть *контактными и бесконтактными*. В зависимости от типа применяемых измерительных средств различают инструментальный, экспертный, эвристический и органолептический методы измерений.

*Инструментальный метод* основан на использовании специальных технических средств, в том числе автоматизированных и автоматических. *Экспертный метод оценки* основан на использовании суждений группы

специалистов. *Эвристические методы оценки* основаны на интуиции. *Органолептические методы оценки* основаны на использовании органов чувств человека. **Оценка состояния объекта** может проводиться поэлементными и комплексными измерениями.

*Поэлементный метод* характеризуется измерением каждого параметра изделия в отдельности. Например, эксцентриситета, овальности, огранки цилиндрического вала.

*Комплексный метод* характеризуется измерением суммарного показателя качества, на который оказывают влияние отдельные его составляющие. Например, измерение радиального биения цилиндрической детали, на которое влияют эксцентриситет, овальность и др.; контроль положения профиля по предельным контурам и т. п.

### 3.3. МЕЖДУНАРОДНАЯ СИСТЕМА ЕДИНИЦ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

Согласованная Международная система единиц физических величин была принята в 1960 г. XI Генеральной конференцией по мерам веса. Международная система — СИ (*SI*), *SI* — начальные буквы французского наименования *Système International*. В системе предусмотрен перечень из семи основных единиц: метр, килограмм, секунда, ампер, кельвин, кандела, моль и двух дополнительных: радиан,стерадиан (табл. 3.1), а также даны приставки для образования кратных и дольных единиц (табл. 3.2).

Таблица 3.1

**Система единиц измерения СИ**

| Наименование величины         | Единицы измерения | Сокращенное бозначение |               |
|-------------------------------|-------------------|------------------------|---------------|
|                               |                   | русское                | международное |
| Основные единицы              |                   |                        |               |
| Длина                         | метр              | м                      | <i>m</i>      |
| Масса                         | килограмм         | кг                     | <i>kg</i>     |
| Время                         | секунда           | с                      | <i>s</i>      |
| Сила электрического тока      | ампер             | А                      | <i>A</i>      |
| Термодинамическая температура | кельвин           | К                      | <i>K</i>      |
| Сила света                    | кандела           | кд                     | <i>cd</i>     |
| Количество вещества           | моль              | моль                   | <i>mol</i>    |

Окончание таблицы

| Дополнительные единицы |                   |                         |               |
|------------------------|-------------------|-------------------------|---------------|
| Наименование величины  | Единица измерения | Сокращенное обозначение |               |
|                        |                   | русское                 | международное |
| Плоский угол           | радиан            | рад                     | <i>rad</i>    |
| Телесный угол          | стерадиан         | ср                      | <i>sr</i>     |

### Основные единицы СИ

*Метр* равен длине пути, проходимого светом в вакууме за  $1/299.792.458$  долю секунды.

*Килограмм* равен массе международного прототипа килограмма.

*Секунда* равна  $9.192.631.770$  периодам излучения, соответствующего переходу между двумя сверхтонкими уровнями основного состояния атома цезия-133.

*Ампер* равен силе не изменяющегося во времени электрического тока, который при прохождении по двум параллельным прямолинейным проводникам бесконечной длины и ничтожно малой площади кругового сечения, расположенным на расстоянии 1 м один от другого в вакууме, вызывает на каждом участке проводника длиной 1 м силу взаимодействия, равную  $2 \cdot 10^{-7} \text{ Н}$ .

*Кельвин* равен  $1/273,16$  части термодинамической температуры тройной точки воды.

*Кандела* равна силе света в заданном направлении источника, испускающего монохроматическое излучение частотой  $540 \cdot 10^{12} \text{ Гц}$ , энергетическая сила света которого в этом направлении составляет  $1/683 \text{ Вт/ср}$ .

*Моль* равен количеству вещества системы, содержащей столько же структурных элементов, сколько содержится атомов в углероде-12 массой  $0,012 \text{ кг}$ .

### Дополнительные единицы СИ

*Радиан* равен углу между двумя радиусами окружности, дуга между которыми по длине равна радиусу. Радиан в градусном исчислении равен  $57^{\circ}17'48''$ . Радиан является единицей плоского угла.

*Стерадиан* равен телесному углу, вершина которого расположена в центре сферы и вырезающему на поверхности сферы площадь, равную площади квадрата со стороной, по длине равной радиусу сферы. Стерадиан

является единицей телесного угла. Телесные углы измеряют путем определения плоских углов и проведения дополнительных расчетов по формуле  $Q = 2\pi(1 - \cos \alpha/2)$ , где  $Q$  — телесный угол;  $\alpha$  — плоский угол при вершине конуса, образованного внутри сферы данным телесным углом. Телесному углу 1 ср соответствует плоский угол, равный  $65^\circ 32'$ , углу  $\pi$  ср — плоский угол  $120^\circ$ , углу  $2\pi$  ср — плоский угол  $180^\circ$ .

Дополнительные единицы СИ применяются для образования единиц угловой скорости, углового ускорения и некоторых других величин. Самостоятельно радиан и стерadian применяются главным образом для теоретических построений и расчетов, где используются радианы.

### Кратные и дольные единицы

В табл. 3. 2 приводятся множители и приставки для образования десятичных кратных и дольных единиц и их наименования.

Таблица 3.2

#### Приставки и множители десятичных кратных и дольных единиц СИ

| Обозначения приставок и значения множителей |      |           |       |    |            |
|---------------------------------------------|------|-----------|-------|----|------------|
| Экса                                        | Э, Е | $10^{18}$ | Деци  | д  | $10^{-1}$  |
| Пета                                        | П, Р | $10^{15}$ | Сант  | с  | $10^{-2}$  |
| Тера                                        | Т    | $10^{12}$ | Милли | м  | $10^{-3}$  |
| Гига                                        | Г    | $10^9$    | Микро | мк | $10^{-6}$  |
| Мега                                        | М    | $10^6$    | Нано  | н  | $10^{-9}$  |
| Кило                                        | к    | $10^3$    | Пико  | п  | $10^{-12}$ |
| Гекто                                       | г    | $10^2$    | Фемто | ф  | $10^{-15}$ |
| Дека                                        | да   | $10^1$    | Атто  | а  | $10^{-18}$ |

Следует учитывать, что при образовании кратных и дольных единиц площади и объема с помощью приставок может возникнуть двойственность прочтения в зависимости от того, куда добавляется приставка. Так, сокращенное обозначение  $1 \text{ км}^2$  можно трактовать и как 1 квадратный километр и как 1000 квадратных метров, что, очевидно, не одно и то же ( $1 \text{ квадратный километр} = 1.000.000 \text{ квадратных метров}$ ). В соответствии с международными правилами кратные и дольные единицы площади и объема следует образовывать, присоединяя приставки к исходным единицам. Таким образом, степени относятся к тем единицам, которые получены в результате присоединения приставок. Поэтому  $1 \text{ км}^2 = 1 (\text{км})^2 = (10^3 \text{ м})^2 = 10^6 \text{ м}^2$ .

### Производные единицы СИ

Производные единицы Международной системы единиц образуются с помощью простейших уравнений между физическими величинами, в которых числовые коэффициенты равны единице. Например, для определения размерности линейной скорости воспользуемся выражением  $v = l/t$  для скорости равномерного прямолинейного движения. Если длина пройденного пути —  $l$  (м), а время, за которое этот путь пройден —  $t$  (с), то скорость получается в метрах в секунду (м/с). Следовательно, единица скорости СИ — метр в секунду — это скорость прямолинейно и равномерно движущейся точки, при которой она за время 1 с перемещается на расстояние 1 м. Аналогично образуются и другие единицы, в т.ч. с коэффициентом не равным единице (табл. 3.3)

Таблица 3.3

### Производные единицы СИ

| Наименование величин        | Единица      |             | Выражение производной единицы через единицы СИ |                                                                        |
|-----------------------------|--------------|-------------|------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|
|                             | наименование | обозначение | другие единицы                                 | основные и дополнительные единицы                                      |
| Частота                     | герц         | Гц          | —                                              | $\text{с}^{-1}$                                                        |
| Сила                        | ньютон       | Н           | —                                              | $\text{м} \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-2}$                         |
| Давление                    | паскаль      | Па          | $\text{Н}/\text{м}^2$                          | $\text{м}^{-1} \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-2}$                    |
| Энергия, работа,            | джоуль       | Дж          | $\text{Н} \cdot \text{м}$                      | $\text{м}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-2}$                       |
| Мощность                    | ватт         | Вт          | $\text{Дж}/\text{с}$                           | $\text{м}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-3}$                       |
| Электрический заряд         | кулон        | Кл          | $\text{А} \cdot \text{с}$                      | $\text{с} \cdot \text{А}$                                              |
| Электрический потенциал     | вольт        | В           | $\text{Вт}/\text{А}$                           | $\text{м}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-3} \cdot \text{А}^{-1}$   |
| Электрическая емкость       | фарада       | Ф           | $\text{Кл}/\text{В}$                           | $\text{м}^{-2} \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{с}^4 \cdot \text{А}^2$ |
| Электрическое сопротивление | ом           | Ом          | $\text{В}/\text{А}$                            | $\text{м}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-3} \cdot \text{А}^{-2}$   |
| Электрическая проводимость  | сименс       | См          | $\text{А}/\text{В}$                            | $\text{м}^{-2} \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{с}^3 \cdot \text{А}^2$ |
| Поток магнитной индукции    | вебер        | Вб          | $\text{В} \cdot \text{с}$                      | $\text{м}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-2} \cdot \text{А}^{-1}$   |
| Магнитная индукция          | тесла        | Т, Тл       | $\text{Вб}/\text{м}^2$                         | $\text{кг} \cdot \text{с}^{-2} \cdot \text{А}^{-1}$                    |
| Индуктивность               | генри        | Г, Гн       | $\text{Вб}/\text{А}$                           | $\text{м}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-2} \cdot \text{А}^{-2}$   |
| Световой поток              | люмен        | лм          | —                                              | $\text{кд} \cdot \text{ср}$                                            |
| Освещенность                | люкс         | лк          | —                                              | $\text{м}^2 \cdot \text{кд} \cdot \text{ср}$                           |
| Радиоактивность источника   | беккерель    | Бк          | $\text{с}^{-1}$                                | $\text{с}^{-1}$                                                        |
| Поглощенная доза излучения  | грэй         | Гр          | $\text{Дж}/\text{кг}$                          | $\text{м}^2 \cdot \text{с}^{-2}$                                       |

### 3.4. ОБЪЕКТЫ ИЗМЕРЕНИЙ

Объектами измерений могут быть любые параметры физических объектов и процессов, описывающие их свойства.

- Измерения геометрических величин: длин; диаметров; углов; отклонений формы и расположения поверхностей; шероховатости поверхностей; зазоров.

- Измерения механических и кинематических величин: массы; силы; напряжений и деформаций; твердости; крутящих моментов; скорости движения и вращения; кинематических параметров зубчатых колёс и передач.

- Измерения параметров жидкости и газа: расхода, уровня, объема; статического и динамического давления потока; параметров пограничного слоя.

- Физико-химические измерения: вязкости; плотности; содержания (концентрации) компонентов в твердых, жидких и газообразных веществах; влажности; электрохимические измерения.

- Теплофизические и термодинамические измерения: температуры; давления, тепловых величин; параметров цикла; к.п.д.

- Измерения времени и частоты: измерение времени и интервалов времени; измерение частоты периодических процессов.

- Измерения электрических и магнитных величин: напряжения, силы тока, сопротивления, емкости, индуктивности; параметров магнитных полей; магнитных характеристик материалов.

- Радиоэлектронные измерения: интенсивности сигналов; параметров формы и спектра сигналов; свойств веществ и материалов радиотехническими методами.

- Измерения акустических величин: акустические — в воздушной, газовой и водной средах; акустические — в твердых средах; аудиометрия и измерения уровня шума.

- Оптические и оптико-физические измерения: измерения оптических свойств материалов; энергетических параметров некогерентного оптического излучения; спектральных, частотных характеристик, поляризации лазерного излучения; параметров оптических элементов, оптических характеристик материалов; характеристик фотоматериалов.

- Измерения ионизирующих излучений и ядерных констант: дозиметрических характеристик ионизирующих излучений; спектральных характеристик ионизирующих излучений; активности радионуклидов; радиометрических характеристик ионизирующих излучений.

### 3.5. СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

Измерения выполняются с применением технических средств. Необходимыми техническими средствами для проведения измерений являются *меры и измерительные приборы*.

*Меры* — средства измерений, предназначенные для воспроизведения физической величины заданного размера. Меры наивысшего порядка точности называют эталонами.

*Эталоны* — средства измерений или их комплексы, обеспечивающие воспроизведение и хранение узаконенных единиц физических величин, а также передачу их размера нижестоящим по поверочной схеме средствам измерения.

*Образцовые средства измерений* — меры, измерительные приборы или преобразователи, утвержденные в качестве образцовых для поверки по ним других средств измерений.

*Рабочие средства измерений* — такие средства, которые применяют для измерений, не связанных с передачей размера единиц.

#### Эталоны

Средства измерения высшей точности — *эталоны* делятся на несколько категорий. Эталон, воспроизводящий единицу с наивысшей в стране точностью, называется *государственным первичным эталоном*. Эталон единицы физической величины воспроизводят с практически наивысшей достижимой точностью на основе физических принципов на специальных установках.

В 1983 году на XVII Генеральной конференции мер и весов в качестве эталона *единицы длины* утвержден метр — длина пути, проходимого светом в вакууме за  $1/299\,792\,458$  долю секунды. Ранее эталоном метра был метр, равный  $1\,650\,763,73$  длин световых волн в вакууме излучения, соответствующего переходу между уровнями  $2p_{10}$  и  $5d_5$  атома криптона 86.

За эталон *времени* принята секунда, равная  $9\,192\,631\,770$  периодам излучения, соответствующего переходу между двумя сверхтонкими уровнями основного состояния атома цезия-133.

Эталон *единицы массы* (1 кг) представляет собой цилиндр из сплава платины (90%) и иридия (10%), у которого диаметр и высота примерно одинаковы (около 30 мм).

Единица количества вещества, за которую принят моль, связана с массой. Эта величина практически дублирует имеющуюся основную единицу, единицу массы. Проблема создания *эталона количества вещества* сводится к уточнению постоянной Авагадро.

В качестве *эталона единицы силы света* принята кандела — сила света в заданном направлении источника, испускающего монохроматическое излучение частотой  $540 \cdot 10^{12}$  Гц, энергетическая сила света которого в этом направлении составляет  $1/683$  В/ср.

В качестве *эталона единицы силы тока* принят ампер — сила неизменяющегося во времени электрического тока, который, протекая с вакууме по двум параллельным прямолинейным проводникам бесконечной длины и ничтожно малой площади кругового поперечного сечения, расположенным один от другого на расстоянии 1 м, создает на каждом участке проводника длиной 1 м силу взаимодействия  $2 \cdot 10^{-7}$  Н.

Эталон *термодинамической температуры* — кельвин, составляющий  $1/273,16$  часть термодинамической температуры тройной точки воды.

Если прямая передача размера единицы от существующих эталонов с требуемой точностью технически неосуществима ввиду особых условий, то для её воспроизведения единицы создаются специальные эталоны. Такими условиями могут быть: повышенное или пониженное давление; высокая влажность; измерения на предельных границах диапазона значений, измеряемой величины.

В метрологической практике широко используются *вторичные эталоны, эталоны-копии и рабочие эталоны*. Эти эталоны создаются и утверждаются в тех случаях, когда это необходимо для организации поверочных работ, а также для обеспечения сохранности и наименьшего износа государственного первичного эталона.

Существуют также следующие категории эталонов: *эталон сравнения* — вторичный эталон, применяемый для сличения эталонов, которые по каким-либо причинам не могут быть сличаемыми друг с другом; *эталон-свидетель* — вторичный эталон, применяемый для проверки сохранности государственного эталона или для его замены в случае порчи или утраты.

*Эталон-копия* представляет собой вторичный эталон, предназначенный для передачи размера рабочим эталонам. Он не всегда может быть точной физической копией государственного эталона.

*Рабочий эталон* — это вторичный эталон, применяемый для хранения единицы и передачи ее размера образцовым средствам или наиболее точным рабочим средствам измерений. Рабочие эталоны могут быть реализованы в виде одиночного эталона (или одиночной меры), в виде группового эталона, в виде комплекса средств измерений и в виде эталонного набора. Пример *одиночного эталона* — эталон массы в виде платиноиридиевой гири. Пример *группового эталона* — эталон-копия вольта, состоящая из 20 нормальных элементов. Пример *комплекса средств измерений* — эталон единицы молярной доли концентрации компонентов в газовых сме-

сях. В этом виде измерений различные компоненты, различные диапазоны концентраций, различные газы-разбавители создают большое количество измерительных задач с общей постановкой. Поэтому, в этом случае один эталон состоит из нескольких десятков измерительных установок. Пример *эталонного набора* — набор средств измерения плотности жидкостей для различных участков диапазона.

В международных метрологических документах такой широкий набор разновидностей эталонов не предусмотрен. Международные эталоны, хранящиеся в Международном бюро по мерам и весам, воспроизводят ограниченное число единиц физических величин. Обычно это либо основные единицы системы СИ, либо единицы, которые могут быть воспроизведены на уровне точности, равной или даже превосходящей точность эталона основной единицы. Пример такого эталона — эталон Вольты, основанный на эффекте Джозефсона, состоящий в протекании постоянного тока через контакт, образованный двумя сверхпроводниками, разделенными тонким слоем диэлектрика (стационарный эффект) или в протекании переменного тока через контакт двух сверхпроводников, к которому приложена постоянная разность потенциалов (нестационарный эффект).

Меньшее в сравнении с отечественным число международных эталонов объясняется тем, что во многих странах понятие эталон и образцовое средство измерения не имеют четкого разграничения. Существует емкое понятие — стандарт (*standart*), что по смыслу может быть переведено как вторичный стандарт (образцовое средство измерения) или как эталон (исходное образцовое средство измерения).

### **Меры и образцовые измерительные приборы**

*Меры и образцовые измерительные приборы* представляют собой образцовые средства измерений. Они предназначены для поверки и градуировки других средств измерений. Эти средства измерений имеют погрешность показаний в 2–3 раза меньше, чем у поверяемого прибора; на них выдаются свидетельства на право проведения поверки.

Мера может быть реализована в виде какого-либо тела, вещества или устройства, предназначенного для воспроизведения единицы физической величины, хранения единицы и передачи ее размера от одного измерительного прибора к другому. Мера воспроизводит величину, значение которой связано с принятой единицей определенным известным соотношением.

Меры и образцовые измерительные приборы, служащие для воспроизведения и хранения единиц с наивысшей достижимой на настоящем уровне техники точностью относят к эталонам. В отличие от эталона, мера вос-

производит не только единицу, но и её дольные и кратные значения. Например, мерой длины может быть метровый стержень, а также набор мер различного размера — плоскопараллельные концевые меры длины. Меры массы — это не только эталонные килограммовые гири и их копии, но и разновесы — тела, имеющие массы других размеров.

Меры являются необходимым средством измерений, так как с их помощью осуществляется процесс передачи размера единицы физической величины от одного прибора к другому. Во многих странах, в том числе и в России, созданы специальные хранилища мер, в функции которых входит сличение государственных мер с международными. Впервые в России такое хранилище было образовано в 1842 г. как Депо образцовых мер, а в 1893 г. была учреждена Главная палата мер и весов под руководством Д.И. Менделеева.

Меры как средства измерений могут изготавливаться различных классов точности, которые регламентируются соответствующими ГОСТами и поверочными схемами.

Особый класс мер представляют собой так называемые стандартные образцы.

*Стандартный образец* — мера в виде вещества, при помощи которой размер единицы физической величины воспроизводится как свойство или как состав вещества, из которого изготовлен стандартный образец. Таковыми мерами являются *образцовые вещества*, которые при определенных условиях воспроизводят единицу измерения или ее дольное или кратное значение. Примером могут служить, например, постоянные температуры, соответствующие переходу вещества из одного состояния в другое: 1063 °C — точка плавления золота, 960,8 °C — точка плавления серебра, 444,6 °C — точка плавления серы, 100 °C — температура парообразования, –182,97 °C — точка кипения кислорода и др.

Другим примером стандартного образца, в котором используют свойства вещества, является фолиевая кислота. При сжигании в замкнутом объеме определённой массы фолиевой кислоты выделяется строго определённое количество теплоты. По результатам предварительных испытаний на стандартный образец составляется паспорт, и он заносится в Госреестр стандартных образцов. Стандартные образцы, также как другие меры, периодически сличаются, хранятся в метрологических организациях. В Российской Федерации ведется Государственный Реестр стандартных образцов в специальном институте в Екатеринбурге.

Особое место в системе мер занимают стандартные образцы состава вещества — поверочные газовые смеси. Эти стандартные образцы имеют особенности по сравнению со стандартными образцами в виде твердых объектов или жидкостей. Главное отличие такой меры от других типов мер со-

стоит в том, что поверочная газовая смесь в процессе измерения расходуется, что может привести к изменению состава газовой смеси. Поверочную газовую смесь, которая анализируется, невозможно хранить. Поэтому для анализа готовится партия сосудов со смесью.

Меры подразделяют на однозначные и многозначные.

*Однозначные меры* — это меры, воспроизводящие постоянное значение физической величины. Это может быть единица измерения или кратное или дольное значение (гири, концевые меры длины, измерительные колбы, нормальные элементы ЭДС, катушки электрического сопротивления и т.д.). Для удобства пользования изготавливают наборы мер (разновесы, концевые меры длины и др.). Набор мер, объединенных в одно механическое целое с приспособлением, называют *магазином мер* (магазины сопротивлений, емкостей и др.).

*Многозначные меры* воспроизводят не одно, а несколько дольных или кратных значений единиц измерения. Такими мерами являются, например: миллиметровая линейка и другие разделённые метры, градуированные электрические конденсаторы переменной емкости, вариометры индуктивности и др.

Для воспроизведения длины в промышленности широко используют штриховые и концевые меры. *Штриховые меры* выполняют в виде образцов, линейек, рулеток и шкал с отсчётными элементами. *Плоскопараллельные концевые меры длины* (рис. 3.1, а) представляют собой наборы параллелипедов (пластин и брусков) из стали длиной до 1000 мм или твердого сплава длиной до 100 мм с двумя плоскими взаимно параллельными измерительными поверхностями (ГОСТ 9038—90).

Они предназначены для непосредственного измерения линейных размеров, а также передачи размера единицы длины от первичного эталона концевым мерам меньшей точности. Концевые меры используются для проверки, градуировки и настройки измерительных приборов, инструментов, станков и др. Благодаря способности к притираемости (т. е. сцеплению), обусловленной действием межмолекулярных сил притяжения, концевые меры можно собирать в блоки нужных размеров (рис. 3.1, б), которые не распадаются при перемещениях. Наборы составляют из различного числа концевых мер (от 2 до 112 шт.). Концевые меры изготавливают следующих классов точности: 00; 01; 0; 1; 2 и 3 — из стали: 00; 0; 1; 2 и 3 — из твердого сплава. К каждому набору прилагают паспорт по ГОСТ 2.601—2006, включающий инструкцию по эксплуатации. Из четырех—пяти мер с градацией от 0,001 до 100 мм выпускаемых наборов можно составлять нужные блоки.

Призматические угловые меры (ГОСТ 2875—88) предназначены для контроля наружных и внутренних углов инструментов, шаблонов, изделий, проверки приборов и т. п.

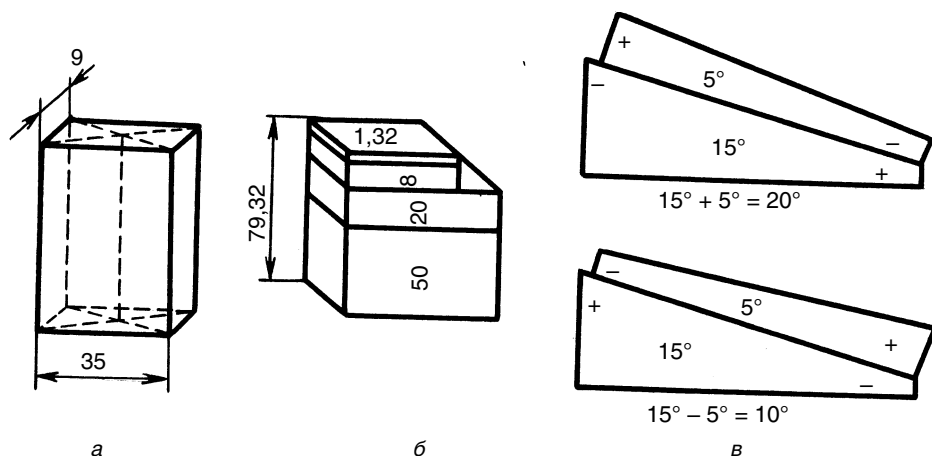


Рис. 3.1. Плоскопараллельные меры длины и угловые меры:  
а — концевая мера длины; б — блок мер; в — блок из угловых мер

Угловые меры выпускают пяти типов: 1 и 2 — с одним рабочим углом со срезанной вершиной и остроугольные; 3 — с четырьмя рабочими углами; 4 — многогранные призматические с равномерным угловым шагом; 5 — с тремя рабочими углами, причем угловые меры типов 1, 2 и 3 изготовляют трех классов точности (0, 1 и 2), многогранные призмы типа 4 — четырех классов точности (00, 0, 1 и 2), угловые меры типа 5 — класса 1. Притирая угловые меры, можно изменять номинальные значения углов в широких пределах (рис. 3.1, в).

### Передача размера физических величин

Порядок передачи размера единиц физической величины от эталона или исходного образцового средства к средствам более низких разрядов, включая рабочие, устанавливают в соответствии с *поверочной схемой*. Поверочная схема передачи единицы длины заключается в последовательном сличении и поверке. Передача единицы производится от рабочего эталона к образцовым мерам высшего разряда, а от них образцовым мерам низших разрядов, затем к рабочим средствам измерения (оптиметрам, измерительным машинам, контрольным автоматам и т. п.). Метрологическая цепь передачи размера единицы физической величины от эталона к рабочим средствам измерения представлена на рис.3.2. Структура поверочной схемы состоит из нескольких уровней, соответствующих ступеням передачи размера единиц.

Существуют различные **типы поверок** измерительных приборов.

Первый тип поверки — *использование образцовой меры*, аттестованной в соответствии со стандартами. Такая поверка может выполняться любой службой, в том числе и отраслевой.

Второй тип поверки — *сличение показаний прибора* с показаниями образцового прибора или образцовой установки. Образцовая аппаратура имеет более высокий класс точности и, соответственно, достаточно высокую стоимость, поэтому поверка проводится, как правило, в специальных организациях — центрах стандартизации и метрологии.

Третий тип поверки — *поэлементно-эквивалентный метод*. Это самый трудоемкий тип поверки. Сущность его заключается в том, что если прибор имеет, например, первичный преобразователь, усилитель, аналого-цифровой преобразователь и какие-либо вспомогательные устройства, то работоспособность и погрешности определяют для всех составных частей, не поверяя прибор как целое. В этом случае в зависимости от типа составляющих они могут поверяться как приборы, измеряющие физические величины, отличные от тех, для измерения которых предназначен прибор. Например, профилограф-профилометр может иметь алмазный наконечник, электроизмерительный преобразователь, усилитель, интегрирующий блок и высоковольтный самописец или вывод на компьютер.

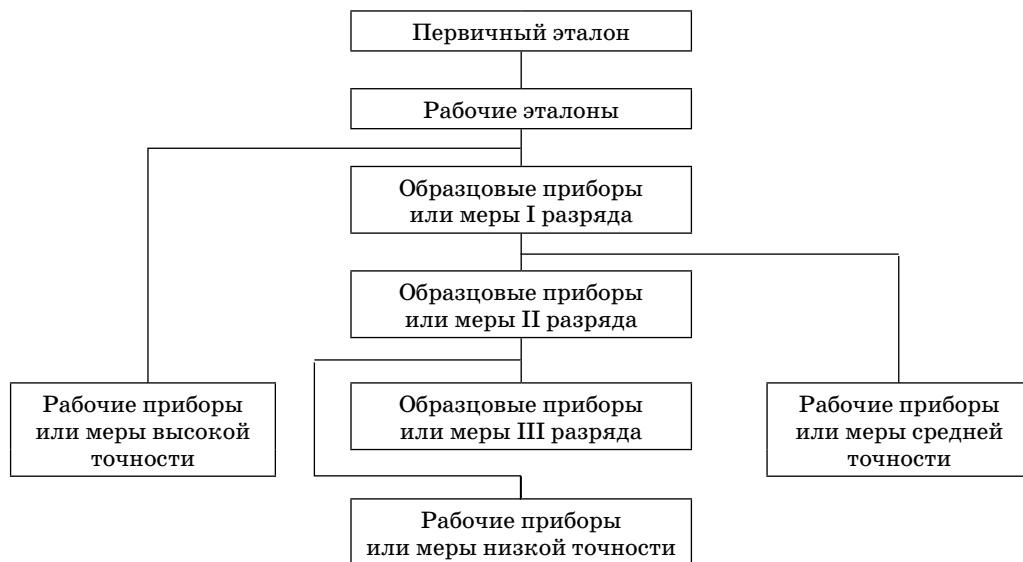


Рис. 3.2. Обобщенный вид поверочной схемы

В таком приборе можно поверять отдельно механическую, электрическую и электронную части и делать выводы о работоспособности и классе точности прибора как измерителя качества поверхности. В некоторых случаях, когда поверке подвергается новый измерительный прибор, этот метод поверки оказывается наиболее подходящим, а иногда и единственно возможным.

Поверку некоторых типов приборов проводят без применения мер или образцовых приборов. Показания этих измерительных приборов можно контролировать по таблицам физических констант и стандартным справочным данным. Такими константами, например, являются: скорость света в вакууме  $C = 2,997925 \cdot 10^8$  м/с, постоянная Авогадро — число частиц в 1 моле вещества  $N_A = 6,02205 \cdot 10^{23}$  моль<sup>-1</sup>, гравитационная постоянная  $\gamma = 6,672 \cdot 10^{-11}$  Нм<sup>2</sup>/кг<sup>2</sup> и др. Показания этих приборов сличаются с физическими константами или со стандартными справочными данными.

### Измерительные приборы и установки

Измерения физических величин в производственной деятельности выполняются с помощью рабочих средств измерения — измерительными приборами или измерительными установками.

**Измерительный прибор** — средство измерения, предназначенное для выработки измерительной информации в форме, доступной для непосредственного восприятия наблюдателем. Измерительный прибор представляет собой устройство, градуированное, как правило, непосредственно в единицах измеряемой физической величины.

Измерительные приборы включают в себя: *измерительный преобразователь (датчик), преобразователь сигнала в аналоговую или цифровую форму, усилитель сигнала, отсчетное устройство*. Современные приборы, кроме того, могут быть оснащены различными электронными устройствами. Например, цифровыми отсчётными устройствами, самописцами или магнитными накопителями, а также устройствами сочленения прибора с компьютером. В случае наличия у измерительных приборов цифровых выходов в виде быстродействующих портов типа *USB-2* или *Fire Wire (IEEE 1394)* у пользователя появляются дополнительные возможности, например, статистическая обработка результатов при проведении измерений в динамическом режиме, измерение параметров быстро протекающих процессов. В зависимости от программного обеспечения процедуры измерений, появляются также многие сервисные возможности, например, компьютер, может управлять процессом измерений, проводить анализ текущей измерительной информации и т.д.

*Измерительный преобразователь* — это устройство, предназначенное для выработки сигнала измерительной информации в форме, удобной для её передачи, преобразования, обработки и хранения. Различают первичный, промежуточный, передающий и масштабный преобразователи.

*Первичный преобразователь* занимает в измерительной цепи первое место и непосредственно воспринимает измерительную информацию.

*Промежуточный преобразователь* занимает в измерительной цепи второе место.

*Передающий измерительный преобразователь* предназначен для дистанционной передачи сигнала.

*Масштабный преобразователь* предназначен для усиления величины в заданное число раз.

Первичный преобразователь (датчик) имеет чувствительный элемент (контактный или бесконтактный), находящийся под непосредственным воздействием измеряемой величины. Преобразователи разнообразны по конструкции и принципу действия. Они могут быть: *механические, оптические, емкостные, индуктивные, лазерные* и др. Усилители могут выполняться в виде катодных повторителей, амплитудно-частотных преобразователей, согласующих устройств с выходом на компьютер и др.

*Измерительная установка* — комплекс, включающий в себя несколько приборов и вспомогательных комплектующих устройств. Грань между прибором и установкой достаточно условна. Так, например, если температура измеряется при помощи термопары и вольтметра, можно говорить о термоэлектрической установке, а можно то же самое назвать электрическим термометром. Другой пример универсальный измерительный микроскоп (УИМ), являющийся прибором для измерения геометрических параметров деталей, по существу — измерительная установка с множеством дополнительных устройств и приспособлений. Кроме измерительных приборов и вспомогательных устройств в состав измерительных установок могут входить меры или наборы мер. Например, наборы сменных шкал, объективов с разным фокусным расстоянием, наборы гирь, магазины сопротивлений и индуктивностей, нормальные гальванические элементы и т. д.

В настоящее время территориально разрозненные средства измерения могут соединяться каналами связи, образуя сети. Всё в совокупности представляет собой *информационно-измерительную систему*. Информация в этой системе может быть представлена в форме, удобной для непосредственного восприятия, а также передаваться по сети. Система позволяет проводить компьютерную обработку информации, анализировать её и использовать для автоматического управления производственными процессами.

### Метрологические показатели и характеристики измерительных приборов

Основными метрологическими показателями измерительных приборов и установок являются: диапазон показаний, диапазон измерений, цена деления шкалы, длина деления шкалы, чувствительность и вариация.

**Диапазон показаний** — область значений шкалы, ограниченная начальным и конечным значениями шкалы. Наибольшее и наименьшее значения измеряемой величины, отмеченные на шкале, называют *начальным* и *конечным* значениями шкалы прибора. Например, для оптиметра типа ИКВ-3 диапазон показаний по шкале составляет  $\pm 0,1$  мм, для длиномера типа ИЗВ диапазон показаний по шкале составляет  $0 \div 100$  мм.

**Диапазон измерений** — область значений измеряемой величины с нормированными допускаемыми погрешностями средства измерений. Для оптиметра типа ИКВ-3 диапазон измерений размеров составляет  $0 \div 200$  мм, для длиномера —  $0 \div 250$  мм.

**Цена деления шкалы** — разность значений величины, соответствующих двум соседним отметкам шкалы. Например, для оптиметра и длиномера —  $0,001$  мм, а для микрометра —  $0,01$  мм.

**Длина деления шкалы** — расстояние между осями (центрами) двух соседних отметок шкалы, измеренное вдоль воображаемой линии, проходящей через середины малых отметок шкалы. Очевидно, чем больше длина деления шкалы, тем выше усиление и тем комфортнее воспринимается наблюдателем измерительная информация.

**Чувствительность измерительного прибора** — отношение изменения сигнала на выходе измерительного прибора к вызывающему его изменению измеряемой величины. Так, если при измерении диаметра вала с номинальным размером  $x = 100$  мм изменение измеряемой величины  $\Delta x = 0,01$  мм вызвало перемещение стрелки показывающего устройства на  $\Delta l = 10$  мм, абсолютная чувствительность прибора составляет  $S = \Delta l / \Delta x = 10 / 0,01 = 1000$ , относительная чувствительность равна:

$$S_0 = \Delta l \cdot (\Delta x / x) = 10 \cdot (0,01 / 100) = 10.000.$$

Для шкальных измерительных приборов абсолютная чувствительность численно равна передаточному отношению и с изменением цены деления шкалы чувствительность прибора остаётся неизменной. Однако на разных участках шкалы чувствительность может быть разной.

Понятие чувствительности может определяться *передаточной функцией*, как функцией отношения сигналов на входе и на выходе преобразователя. В зависимости от вида функции чувствительность может быть либо постоянной величиной, либо величиной, зависящей от этой функции. Если функция линейная, то прибор имеет линейную шкалу, в противном слу-

чае — нелинейную. Линейность шкалы зависит не только от характеристик преобразователя, но и от выбора единиц физических величин.

Наряду с чувствительностью существует понятие *порог чувствительности*, представляющее собой минимальное значение изменения измеряемой величины, которое может показать прибор. Порог чувствительности тем ниже, чем больше чувствительность. Кроме того, на него влияют конкретные условия наблюдения, например, возможность различать малые отклонения, стабильность показаний, величина трения покоя и др.

**Вариация показаний измерительного прибора** — разность показаний прибора в одной и той же точке диапазона измерений при плавном подходе «справа» и подходе «слева» к этой точке. Вариация показаний представляет собой алгебраическую разность наибольшего и наименьшего результатов при многократном измерении одной и той же величины в неизменных условиях. Вариация характеризует нестабильность показаний измерительного прибора.

**Градуировочная характеристика прибора** — это зависимость между значениями величин на выходе и входе средства измерений, представленная в виде формулы, таблицы или графика.

В большинстве случаев приборы градуируют так, чтобы цена деления шкалы превышала максимальную погрешность градуировки, но этот принцип действует не всегда. Таким образом, хотя между точностью и чувствительностью существует определенное соответствие, путать эти понятия не следует. Градуировочная характеристика прибора может быть использована для уточнения результатов измерения.

Важной характеристикой контактных измерительных приборов является измерительное усилие, создаваемое по линии измерения и вызывающего деформацию в месте контакта измерительного наконечника с поверхностью детали.

Измерительные приборы могут быть аналоговые и цифровые. В *аналоговых приборах* показания определяются по шкале и являются непрерывной функцией изменения измеряемой величины. В *цифровых приборах* вырабатываются дискретные сигналы измерительной информации и результат представляется в цифровой форме.

### 3.6. КАЧЕСТВО ИЗМЕРЕНИЙ И ПРИЧИНЫ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ПОГРЕШНОСТЕЙ

Качество измерений характеризуется точностью, достоверностью, правильностью, сходимостью и воспроизводимостью измерений.

**Точность измерительного прибора** — это характеристика прибора, определяемая погрешностью измерения, в пределах которой можно обеспечить использование данного измерительного прибора. В метрологии ис-

пользуется понятие «класс точности» прибора или меры. Класс точности средства измерений (ГОСТ 8.401-80) является обобщенной характеристикой средства намерений, определяемой пределами основных и дополнительных погрешностей, а также другими свойствами, влияющими на точность, значения которых устанавливаются в стандартах на отдельные виды средств измерения. Класс точности характеризует свойства средства измерения, но не является показателем точности выполненных измерений, поскольку при определении погрешности измерения необходимо учитывать погрешности метода, настройки и др. В зависимости от точности приборы разделяются на классы: первый, второй и т.д. Допускаемые погрешности для разных типов приборов регламентируются государственными стандартами.

*Точность* — это качество измерений, отражающее близость их результатов к истинному значению измеряемой величины. Количественная оценка точности — обратная величина модуля относительной погрешности. Например, если погрешность измерений равна  $10^{-6}$ , то точность равна  $10^6$ . Точность измерения зависит от погрешностей возникающих в процессе их проведения.

*Абсолютная погрешность измерения* — разность между значением величины, полученным при измерении, и ее истинным значением, выражаемая в единицах измеряемой величины.

*Относительная погрешность измерения* — отношение абсолютной погрешности, измерения к истинному значению измеряемой величины.

*Систематическая погрешность измерения* — составляющая погрешности измерения, остающаяся постоянной или изменяющаяся по определенному закону при повторных измерениях одной и той же величины. Систематическая погрешность может быть исключена с помощью поправки.

*Случайная погрешность* — составляющая погрешности измерения, изменяющаяся при повторных измерениях одной и той же величины случайным образом.

*Грубая погрешность измерения* — погрешность, значение которой существенно выше ожидаемой.

В зависимости от последовательности причины возникновения различают следующие виды погрешностей:

*Инструментальная погрешность* — составляющая погрешности измерения, зависящая от погрешностей применяемых средств. Эти погрешности определяются качеством изготовления самих измерительных приборов.

*Погрешность метода измерения* — составляющая погрешности измерения, вызванная несовершенством метода измерений.

*Погрешность настройки* — составляющая погрешности измерения, возникающая из-за несовершенства осуществления процесса настройки.

*Погрешность отсчёта* — составляющая погрешности измерения, вызванная недостаточно точным считыванием показаний средств измерений. Погрешность возникает из-за видимого изменения относительных положений отметок шкалы вследствие перемещения глаза наблюдателя — погрешность параллакса.

*Погрешность поверки* — составляющая погрешности измерений, являющаяся следствием несовершенства поверки средств измерений.

*Погрешности от измерительного усилия* действуют в случае контактных измерительных приборов. При оценке влияния измерительного усилия на погрешность измерения, необходимо выделить упругие деформации установочного узла и деформации в зоне контакта измерительного наконечника с деталью.

*Влияющая физическая величина* — физическая величина, не измеряемая данным средством, но оказывающая влияние на результаты измеряемой величины, например: температура и давление окружающей среды; относительная влажность и др. отличные от нормальных значений. Погрешность средства измерения, возникающая при использовании его в нормальных условиях, когда влияющие величины находятся в пределах нормальной области значений, называют *основной*. Если значение влияющей величины выходит за пределы нормальной области значений, появляется *дополнительная погрешность*.

*Нормальные условия применения средств измерений* — условия их применения, при которых влияющие величины имеют нормальные значения или находятся в пределах нормальной (рабочей) области значений. Нормальные условия выполнения линейных и угловых измерений и поверки регламентированы соответственно ГОСТ 8.050—73 и ГОСТ 8.395—80. Нормальная температура при проведении измерений равна 20 °C (293 K), при этом рабочая область температур составляет 20 °C ± 1°.

*Температурные погрешности* вызываются температурными деформациями. Они возникают из-за разности температур объекта измерения и средства измерения. Существуют два основных источника, обуславливающих погрешность от температурных деформаций: отклонение температуры воздуха от 20 °C и кратковременные колебания температуры воздуха в процессе измерения. Максимальную погрешность измерения, вызванную отклонением температуры от нормальной  $\Delta t_1$ , можно рассчитать по формуле

$$\Delta l_{t1} = l \Delta t_1 (\alpha_n - \alpha_o)_{\max},$$

где  $\Delta t_1$  — отклонение температуры от 20 °C;  $\alpha_n, \alpha_o$  — коэффициенты линейных расширений прибора и детали.

Максимальное влияние кратковременных колебаний температуры среды на погрешность измерения будет иметь место в том случае, если колебания температуры воздуха не вызывают изменений температуры измерительного средства. Если температура объекта измерения следует за температурой воздуха, то  $\Delta l_{t_2} = l \cdot \Delta t_2 \alpha_{\max}$ , где  $\Delta t_2$  — кратковременные колебания температуры воздуха в процессе измерения;  $\alpha_{\max}$  — наибольшее значение коэффициента линейного расширения.

Общая деформация по двум случайным составляющим  $\Delta t_1$  и  $\Delta t_2$  равна  $\Delta l_t = l \sqrt{(\Delta t_1 (\alpha_n - \alpha_0)_{\max})^2 + (\Delta t_2 \alpha_{\max})^2}$ . Приведенный расчёт носит ориентировочный характер, в каждом конкретном случае необходимо учитывать параметры реального процесса теплообмена и использовать экспериментальные данные по соотношению температур окружающей среды и детали.

*Результат наблюдения* — значение величины, полученное при отдельном наблюдении.

*Результат измерения* — значение величины, найденное в процессе измерения, после обработки результатов наблюдения.

*Стабильность средства измерений* — качественная характеристика средства измерений, отражающая неизменность во времени его метрологических свойств. В качестве количественной оценки стабильности служит нестабильность средства измерений или вариация его показаний.

*Достоверность измерений* характеризует степень доверия к результатам измерений. Достоверность оценки погрешностей определяют на основе законов теории вероятностей и математической статистики. Это дает возможность для каждого конкретного случая выбирать средства и методы измерений, обеспечивающие получение результата, погрешности которого не превышают заданных границ с необходимой достоверностью.

*Правильность измерений* — это качество измерений, отражающее близость к нулю систематических погрешностей в результатах измерений.

*Сходимость* — это качество измерений, отражающее близость друг к другу результатов измерений одного и того же параметра, выполненных повторно одними и теми же средствами одним и тем же методом в одинаковых условиях и с одинаковой тщательностью.

*Воспроизводимость* — это качество измерений, отражающее близость друг к другу результатов измерений, выполняемых в различных условиях (в разное время, в различных местах, различными методами и средствами).

### 3.7. МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИЗМЕРЕНИЙ

*Метрологическое обеспечение измерений* — деятельность метрологических и других служб, направленная на: создание в стране необходимых эталонов, образцовых и рабочих средств измерений; их правильный выбор и применение; разработку и применение метрологических правил и норм; выполнение других метрологических работ, необходимых для обеспечения требуемого качества измерений на рабочем месте, предприятии, в отрасли и национальной экономике.

Метрологическое обеспечение направлено на обеспечение единства и точности измерений для достижения установленных техническими условиями характеристик функционирования технических устройств. Метрологическое обеспечение представляет собой комплекс научно-технических и организационно-технических мероприятий, осуществляемых через соответствующую деятельность учреждений и специалистов.

Метрологическое обеспечение измерений включает: теорию и методы измерений, контроля, обеспечения точности и единства измерений; организационно-технические вопросы обеспечения единства измерений, включая нормативно-технические документы — государственные стандарты, методические указания, технические требования и условия, регламентирующие порядок и правила выполнения работ. Практическая деятельность организаций по метрологическому обеспечению охватывает достаточно большой круг вопросов. Осуществляется надзор за применением законодательно установленной системы единиц физических величин. Обеспечение единства и точности измерений проводится путем передачи размеров единиц физических величин от эталонов к образцовым средствам измерений и от образцовых к рабочим. Проводится надзор за функционированием государственных и ведомственных поверочных схем. Постоянно разрабатываются методы измерений, дающие наивысшую точность. На этой основе создаются эталоны и образцовые средства измерений. Осуществляется надзор за состоянием средств измерений в министерствах и ведомствах.

Метрологическое обеспечение измерительных средств на разных этапах их жизненного цикла решает вполне конкретные задачи. Исследуются параметры и характеристики измерительных систем и приборов для определения требований к объему, качеству и номенклатуре измерений и контроля. Производится анализ и выбор средств измерений и контроля из числа серийно выпускаемых. Если необходимых средств измерений не существует, то формируют технические требования на создание новых типов. Проводится проверка применяемых средств измерений.

Выполняется анализ технологических процессов с точки зрения определения номенклатуры и последовательности измерительно-контрольных операций, установления метрологических характеристик соответствующих средств измерений. Проводятся работы по обеспечению производства серийно выпускаемых средств измерений и контроля, с целью своевременного обновления парка этих средств на предприятиях. Осуществляется метрологическая экспертиза конструкторской и технологической документации, совершенствуются методики измерения и контроля.

Ответственность за правильность, своевременность и полноту метрологического обеспечения технических устройств возлагается на их потребителей. Решение задач по метрологическому обеспечению возлагается на метрологические службы организаций и предприятий.

### **Поверка, ревизия и экспертиза средств измерений**

Важнейшей формой государственного надзора за измерительной техникой является государственная (и ведомственная) поверка средств измерений, служащая для установления их метрологической исправности. Средства измерений подвергаются первичной, периодической, внеочередной и инспекционной поверкам.

**Первичная поверка** проводится при выпуске средств измерений в обращение из производства или ремонта.

**Периодическая поверка** проводится при эксплуатации и хранении средств измерений через определенные межповерочные интервалы, установленные с расчетом обеспечения метрологической исправности средств измерений на период между поверками.

**Внеочередная поверка** проводится, если необходимо удостовериться в исправности средств измерений при проведении работ по корректированию межповерочных интервалов, при повреждении поверительного клейма, пломбы или утраты документов, подтверждающих прохождение средством измерения периодической поверки, а также в ряде других случаев, причем сроки ее проведения назначаются независимо от сроков периодических поверок.

**Инспекционная поверка** проводится для выявления метрологической исправности средств измерений, находящихся в обращении; при проведении метрологической ревизии в организациях, на предприятиях и базах снабжения.

Обязательной государственной поверке подлежат средства измерений, применяемые органами государственной метрологической службы, а также образцовые средства измерений, применяемые в качестве исходных в метрологических органах министерств и ведомств. Обязательной поверке

подлежат средства измерений, применяемые при учете материальных ценностей, взаимных расчетах и торговле. Обязательной поверке подвергаются средства измерений, связанные с охраной здоровья населения и техникой безопасности. Обязательная поверка осуществляется для средств измерений, применяемых при государственных испытаниях новых средств измерений, а также средств измерений, результаты которых используются при регистрации официальных спортивных международных и национальных рекордов.

Подлежат обязательной государственной поверке рабочие средства измерений, применяемые для учета в торговле: весоизмерительные приборы; расходомеры; счетчики электроэнергии, газа, нефтепродуктов и воды и др. Приборы, служащие для охраны здоровья населения: шумомеры; дозиметры; рентгенометры и тонометры, медицинские термометры и др. Измерительные приборы, обеспечивающие безопасность работ: радиометры, измерители напряженности поля СВЧ, газоанализаторы и др. Остальные средства измерений подлежат обязательной ведомственной поверке.

Сроки периодических поверок (межповерочные интервалы) устанавливаются и корректируются метрологическими подразделениями предприятий, организаций и учреждений, эксплуатирующих средства измерений с таким расчётом, чтобы обеспечить метрологическую исправность средств измерений на период между поверками. Начальный межповерочный интервал устанавливается при государственных испытаниях средств измерений.

Поверка средств измерений должна осуществляться в соответствии с действующими государственными стандартами на поверочные схемы, методы и средства поверки. Положительные результаты поверки удостоверяются: наложением на средства измерений поверительного клейма установленного образца и выдачей свидетельства о поверке.

Метрологическая ревизия заключается в поверке состояния средств измерений и выполнения правил их поверки. Результаты метрологической ревизии оформляются актом, содержащим конкретные результаты проверки, а также предложения по изъятию средств измерений, признанных непригодными к применению, и предложения по устранению обнаруженных недостатков с указанием сроков.

### **Государственные испытания средств измерений**

Средства измерений, предназначенные для серийного производства, а также ввоза из-за границы, подвергаются обязательным государственным испытаниям органами Государственной метрологической службы. *Государственные испытания* предусматривают экспертизу технической

документации на средства измерений и их экспериментальные исследования для определения степени соответствия установленным нормам, потребностям производства. Оценивается также современный уровень развития измерительной техники для установления целесообразности производства или закупки новых образцов.

Установлены два вида государственных испытаний: государственные приемочные испытания опытных образцов средств измерений новых типов, намеченных к серийному производству или импорту в РФ и государственные контрольные испытания образцов из установочной серии и серийно выпускаемых средств измерений.

**Государственные приемочные испытания** проводятся соответствующими государственными метрологическими органами или специальными государственными комиссиями, состоящими из представителей метрологических институтов, организаций-разработчиков, изготовителей и заказчиков.

В процессе государственных приемочных испытаний опытных образцов средств измерений проверяется соответствие средства измерений современному техническому уровню, а также требованиям технического задания, проекта технических условий и государственных стандартов. Проверке подлежат также нормированные метрологические характеристики и возможность их контроля при производстве, после ремонта и при эксплуатации, возможность проведения поверки и ремонтпригодность испытуемых средств измерений.

Государственная приемочная комиссия на основании изучения и анализа, представленных на испытание образцов средств измерений и технической документации, принимает рекомендацию о целесообразности (или нецелесообразности) выпуска средства измерения данного типа.

Государственный орган по стандартизации и метрологии рассматривает материалы государственных испытаний и принимает решение об утверждении типа средств измерения к выпуску в обращение в стране. После утверждения тип средств измерения вносится в Государственный реестр средств измерений.

**Государственные контрольные испытания** проводятся территориальными организациями Государственного органа по стандартизации и метрологии. Целью государственных контрольных испытаний является проверка соответствия выпускаемых из производства или ввозимых из-за границы средств измерений требованиям стандартов и технических условий.

Контрольные испытания средств измерений серийного производства проводятся в установленных случаях. Эти испытания обязательны при выпуске установочной серии новых измерительных приборов. В случае

поступления сведений об ухудшении качества средств измерений, выпускаемых предприятием-изготовителем. Контрольные испытания проводят, если в конструкцию и технологию изготовления средств измерений внесены изменения, влияющие на их нормируемые метрологические характеристики. Контрольные испытания проводят также в порядке государственного надзора за качеством выпускаемых средств измерений в сроки, устанавливаемые государственным органом.

Контрольные испытания проводятся на испытательной базе предприятия-изготовителя периодически в течение всего времени производства (или импорта) средств измерений данного типа. По окончании испытаний составляется акт о контрольных испытаниях, содержащий результаты испытаний, замечания, предложения и выводы. На основании акта контрольных испытаний организация, проводившая их, принимает решение о разрешении продолжения выпуска в обращение данных средств измерений, или об устранении недостатков, обнаруженных при контрольных испытаниях, или о запрещении их выпуска в обращение.

## ГЛАВА 4

# КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ПРОДУКЦИИ

**Качество продукции** — совокупность свойств продукции, обуславливающих её пригодность удовлетворять определённые потребности в соответствии с её назначением.

**Контроль качества** — это процесс получения и обработки информации об объекте с целью определения нахождения параметров объекта в заданных пределах.

Процесс контроля заключается в установлении соответствия действительных значений физических величин установленным предельным значениям. Контроль должен ответить на вопрос: находится ли контролируемая физическая величина в поле допуска или выходит за его пределы?

Контроль параметров и характеристик объекта, связанный с нахождением действительных значений физических величин, называется *измерительным контролем*.

В тех случаях, когда нет необходимости определять числовые значения физических величин, а требуется установить только факт нахождения параметра в поле допуска или выхода из него, производится качественная оценка параметров объекта, т.е. осуществляется *качественный контроль*. Качественный контроль в отличие от измерительного контроля называют просто *контролем*.

### 4.1. ВИДЫ КОНТРОЛЯ

Классификация видов контроля основана на различных признаках: время проведения и место контроля в технологическом цикле, управляющее воздействие контроля, объект контроля и др. Рассмотрим наиболее распространённые виды контроля.

Контроль может быть разрушающий и неразрушающий.

При *разрушающем контроле* для выполнения контрольных операций необходимо разрушить изделие и дальнейшее его использование становится не возможным. Примером разрушающего контроля, когда определение соответствия контролируемого параметра установленным предельным отклонениям, сопровождается разрушением объекта, является проверка изделия на прочность.

При *неразрушающем контроле* соответствие контролируемого параметра установленным предельным отклонениям определяется по результатам полученной информации об объекте контроля. Взаимодействие органов средства контроля с объектом контроля не вызывает разрушения объекта и не изменяет его свойств. Примерами неразрушающего контроля являются: контроль размеров деталей, отклонений формы и расположения поверхностей, давления, температуры и др.

Результаты контроля можно использовать для воздействия на ход производственного процесса. В зависимости от **характера** этого воздействия контроль может быть активным и пассивным.

**Активный контроль** объекта осуществляется непосредственно в ходе технологического процесса формирования изделия, например, обработки детали на станке. Текущие результаты активного контроля дают информацию о необходимости изменения режимов обработки или корректировке параметров технологического оборудования, например, необходимость изменения положения между режущим инструментом и деталью. Активный контроль может быть *ручным*, при котором режимами и остановкой станка в процессе изготовления изделия управляет оператор, наблюдающий за показаниями приборов или *автоматическим*, когда управление станком осуществляется с помощью команд, выдаваемых установленным на станке или вне станка устройством. Применение активного контроля позволяет повысить производительность труда, улучшить качество изготовления, вести одновременное обслуживание нескольких единиц технологического оборудования, получать высокую точность изделий, использовать на этих работах операторов относительно невысокой квалификации. Перспективным является создание устройств активного контроля, работающих без настройки — по образцовым объектам. В качестве образцовых могут быть как материальные объекты (например, образцовые детали), так и соответствующее программное обеспечение.

В отличие от активного **пассивный контроль** осуществляется после завершения отдельной технологической операции или всего технологического цикла изготовления объекта (детали или изделия).

На стадиях жизненного цикла изделия, в том числе технологического процесса изготовления, производимый контроль имеет различное назначение и протяжённость во времени. Различают входной, операционный и

приемочный контроль, а также непрерывный, периодический и летучий контроль.

*Входному контролю* подвергают сырьё, исходные материалы, полуфабрикаты, комплектующие изделия, техническую документацию и т. д. Контроль производится по ряду параметров, среди которых: визуальный и инструментальный контроль геометрии продукции, соответствие отгрузочным документам, наличие дефектов и др. С входного контроля начинается формирование качества изделия при производстве на данном предприятии.

*Операционный контроль* или *межоперационный контроль* проводится на различных стадиях производственного процесса изготовления изделия. Назначение и порядок его проведения определяются технологической документацией — маршрутными и операционными картами.

*Приёмочный контроль* состоит в проверке готовых изделий и наиболее ответственных узлов. Контролю подвергаются: взаимное расположение элементов изделия, качество выполненных соединений (сила и момент затяжки резьбовых соединений, качество пригонки стыкуемых поверхностей и др.), правильность постановки и наличие деталей в соединениях, масса узлов и изделия в целом, уравновешенность вращающихся частей изделия и т.д.

*Непрерывный и периодический контроль* состоит либо в непрерывной проверке соответствия контролируемых параметров нормам точности либо соответственно в периодической проверке через установленные интервалы времени. В произвольные моменты времени могут проводить *летучий контроль*.

Контроль осуществляется сверху донизу, объекты государственной, региональной и международной значимости подвергаются *государственному контролю (надзору)*. Это относится, например, к объектам, на которые распространяются требования технических регламентов, к государственному надзору за измерительной техникой, к надзору за применением законодательно установленной системы единиц физических величин и др.

Другой уровень — *инспекционный контроль*, он может быть ведомственный, межведомственный, вневедомственный. Далее — контроль на производстве, контроль *отделом технического контроля (ОТК)* предприятия, *цеховой контроль* мастером и *личный контроль* на рабочем месте.

В зависимости от **места проведения** различают подвижный и стационарный контроль.

Большинство видов контроля проводится непосредственно на рабочих местах: у станка, на производственных участках, в цехах и т.п., такой контроль называют *подвижным*.

Однако, осуществить такой контроль не всегда возможно, так как возникает необходимость применения специальных средств контроля, требующих отдельно расположенных контрольных участков, стендов, лабораторий, а иногда отдельно стоящих сооружений, как например радиационный контроль, такой контроль называют *стационарным*.

Объектами контроля являются: производимая *продукция*; техническая, товарная и сопроводительная *документация*; параметры технологического *процесса*; средства технологического *оснащения*; документация по прохождению *рекламаций*; правила соблюдения *условий эксплуатации*, а также технологическая *дисциплина и квалификация* исполнителей.

В зависимости от объёма производства отличают *однократный и многократный контроль*.

По способу отбора изделий, подвергаемых контролю, отличают *сплошной и выборочный контроль*. Сплошной (сто процентный) контроль всех без исключения изготовленных изделий применяется при индивидуальном и мелкосерийном производстве. При крупносерийном и массовом производстве применяются статистические методы контроля.

## 4.2. ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ПРОДУКЦИИ

Оценка качества выпускаемой продукции состоит из этапов получения первичной информации о фактическом состоянии продукции по количественным и качественным признакам и получение вторичной информации, заключающееся в сопоставлении полученной информации с установленными техническими требованиями показателями. При несоответствии фактического состояния продукции техническим требованиям осуществляется управляющее воздействие на объект контроля с целью устранения выявленных отклонений от технических требований.

Оценка уровня качества продукции становится необходимой в следующих случаях: разработке новых изделий и организации их производства; аттестации и сертификации продукции; анализа динамики качества и управления качеством продукции; стимулировании улучшения качества продукции и др.

Обеспечение качества производимой продукции требует комплексного подхода к организации службы качества предприятия, в которую включают подразделения, организующие всю работу в области обеспечения качества, в том числе проведение контроля параметров на всех стадиях жизненного цикла, их анализа и управления качеством, а также

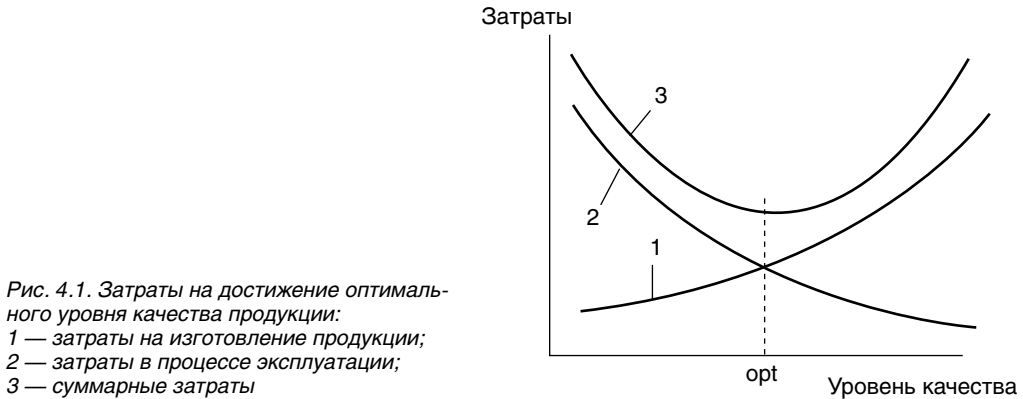
разработкой мотиваций с целью стимулирования качества. В систему контроля качества на крупных фирмах входят подразделения испытаний на надежность, контроля материалов, стендовой отработки и проверки макетов, опытных образцов продукции. Неотъемлемой частью работы по контролю качества является контроль покупных изделий, входной контроль на всех участках и технологических переходах в производстве, оперативный и окончательный (финишный) контроль готовой продукции.

Относительную характеристику качества продукции, основанную на сравнении значений показателей качества оцениваемой продукции с базовыми значениями соответствующих показателей, называют *уровнем качества продукции* (ГОСТ 15467—79). За базовые показатели принимают показатели качества эталонного образца или нескольких образцов лучших отечественных или зарубежных изделий. Изделия, выбранные как эталонные, должны иметь наивысший уровень качества из числа всей совокупности аналогичных изделий в нашей стране и за рубежом. Необходимо обеспечивать соответствие качества серийно изготавливаемой продукции качеству эталонного образца. Для оценки уровня качества продукции в машиностроении применяют *дифференциальный, комплексный и смешанный методы*.

*Дифференциальный метод* — оценка уровня качества, основанная на использовании единичных показателей ее качества. Метод заключается в индивидуальном сравнении единичных показателей с базовыми показателями образца. В результате определяют относительные показатели качества по формулам:  $q = P_i/P_{i6}$ ;  $q_i = P_{i6}/P_i$ , где  $P_i$  — единичный показатель контролируемого изделия;  $P_{i6}$  — единичный базовый показатель.

Показатель  $q$  применяют для показателей, увеличение которых свидетельствует об улучшении качества изделия (производительности, ресурса, точности); показатель  $q_i$  — для показателей, уменьшение которых указывает на улучшение качества (себестоимость, материалоемкость, расход горючего). В том случае, если вычисленные по формулам относительные показатели больше или равны единице, уровень качества рассматриваемого изделия превышает или соответствует уровню качества эталона. Если часть показателей меньше единицы, применяют *комплексный метод* оценки уровня качества продукции. *Смешанный метод* — оценка качества продукции, основанная на одновременном использовании единичных и комплексных показателей ее качества.

Обеспечение качества продукции предусматривает установление его оптимального уровня, при котором потребности рынка удовлетворяются с наименьшими затратами производителя. Развитие науки и совершенствование методов и средств производства позволяет повышать оптималь-



ный уровень качества. Затраты на выпуск продукции складываются из затрат на изготовление и эксплуатацию (рис. 4.1).

Повышение качества изготовления изделия, снижает расходы на эксплуатацию, вследствие уменьшения затрат на ремонт, профилактику, выплат потребителю или замены изделий, вышедших из строя. Оптимальный уровень качества такой, при котором суммарные затраты наименьшие. Кроме того, *оптимальное качество* — это такое качество, при котором достигается либо наибольший эффект от эксплуатации или потребления продукции при заданных затратах на ее создание и эксплуатацию или потребление, либо заданный эффект при наименьших затратах, либо наибольшее отношение эффекта к затратам.

Продукция с течением времени переходит на более низкую ступень качества, что обусловлено созданием новых более прогрессивных технологических процессов, появлением новых конструктивных решений и снижением стоимости производства. Таким образом, происходит процесс морального старения, представляющего собой постепенную относительную потерю качества продукции при сохранении абсолютного значения её показателей. Процесс морального старения отражает действие объективных экономических законов, поэтому обеспечение выпуска конкурентоспособной продукции, требует постоянного обновления выпускаемой продукции.

Оценка качества продукции подразумевает выбор номенклатуры показателей качества, по которым она будет проводиться, определение их значений и сопоставление с аналогичными показателями, принятыми за базу для сравнения. Это становится возможным при применении методов квалиметрии. *Квалиметрия* — область практической и научной деятельности, объединяющая методы количественной оценки качества продукции. Основные задачи квалиметрии: обоснование номенклатуры показа-

телей качества; разработка методов определения показателей качества продукции и их оптимизации; оптимизация типоразмеров и параметрических рядов изделий; разработка принципов построения обобщённых показателей качества и обоснование условий их использования в задачах стандартизации и управления качеством. Квалиметрия использует методы: метрологии; компьютерных технологий; линейное, нелинейное и динамическое программирование; теорию оптимального управления и др.

В квалиметрии различают инструментальные и экспертные методы определения показателей качества.

*Инструментальные методы* основаны на физических эффектах и использовании специальной аппаратуры. Различают *автоматизированные, механизированные и ручные методы*. Автоматизированные методы наиболее эффективны и точны.

*Экспертные методы* используются там, где физическое явление не открыто и не очень сложно для использования. Пример такого метода — оценка качества фигуристов. Разновидностью экспертного метода является *органолептический метод*, основанный на использовании органов чувств человека. Считается, что измерение — это сравнение одного продукта с другим. Если результат получен теоретическим путем, то это не измерение, а прогноз.

*Методы сравнения* заключаются в том, что при сравнении пользуются тремя шкалами или методами: *шкала уровней, шкала интервалов, шкала отношений*. При использовании шкалы уровней с принятой величиной уровня  $Q$  сравниваются все остальные величины  $Q_j$ . Например, температура таяния льда  $Q = 0^\circ \text{C}$ , измеренная температура  $Q_j = 50^\circ \text{C}$ , следовательно, температура объекта превышает заданный уровень. При измерениях по шкале порядка результатом измерения является решение, например, в виде ранжированного ряда объектов сравнения:  $Q_1 < Q_2 < Q_3 < Q_4 < Q_5 < Q_6$ . Ряд является результатом оценок экспертов. При измерениях по шкале отношений, которая обычно применяется для измерения физических величин, таких как масса, длина, мощность, величины сравнивают по принципу:  $Q_j / Q = q$ , где  $Q_j$  — измеренная величина,  $Q$  — эталонная величина.

### 4.3. ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА ПРОДУКЦИИ

Различные виды продукции можно характеризовать следующими показателями качества: *показатели назначения*, определяющие свойства продукции и области её применения, а также функции, для выполнения которых она предназначена; *показатели надежности и долговечности*; *показатели технологичности*, характеризующие эффектив-

ность конструктивно-технологических решений для обеспечения высокой производительности труда при изготовлении и ремонте продукции; *эргономические показатели*; *показатели стандартизации и унификации*, характеризующие степень использования в продукции стандартизованных изделий и уровень унификации составных частей изделия; *патентно-правовые* показатели, характеризующие степень патентной защиты изделия в России и за рубежом; *экономические показатели*, отражающие затраты на разработку, изготовление и эксплуатацию или потребление продукции, а также экономическую эффективность эксплуатации; *показатели безопасности*.

**Показатели качества** продукции можно разделить на три группы.

*Первая группа* показателей определяет технический уровень изделия и включает показатели, характеризующие его основное назначение, например, эксплуатационные показатели машин. Показатели технического уровня, как правило, включаются в нормативно-техническую документацию на изделие. Эти показатели характеризуют специфические для конкретного изделия свойства, например: мощность двигателя, коэффициент подачи компрессора, погрешность измерения прибора и т.д., а также общие для большинства изделий свойства такие, как: надёжность, экономичность, эргономичность и др.

*Вторая группа* показателей характеризует качество изготовления изделия, например, показатели дефектности продукции, затраты на устранение и устранение брака; расходы на удовлетворение претензий потребителей в связи с выявлением дефектов или недостатков в процессе эксплуатации или потребления товаров.

*Третья группа* показателей характеризует достигнутый уровень качества продукции, относящийся к эксплуатации или потреблению, например, фактические значения основных показателей свойств изделий, заложенных при разработке и производстве. Рассмотрим **основные свойства и показатели**, определяющие качество изделий.

**Надёжность** — это свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, хранения и транспортирования (ГОСТ 27.002—89. Надёжность включает свойства безотказности, долговечности, ремонтпригодности и сохраняемости. Показателями надёжности являются вероятность безотказной работы, средняя наработка до отказа, интенсивность отказов и др. Для измерительных приборов важна точностная надёжность, т. е. свойство сохранять точность измерения в заданных пределах в течение установленного времени при определенных условиях их эксплуатации.

**Безотказность** — свойство объекта непрерывно сохранять работоспособное состояние в течение некоторого времени и наработки. *Вероятность безотказной работы*  $P(t)$  — вероятность того, что в заданном интервале времени  $t$  или в пределах заданной наработки не произойдет отказа в работе изделия. *Отказ* — событие, при наступлении которого, изделие становится неспособным выполнять заданные функции с установленными показателями. Вероятность безотказной работы определяется зависимостью  $P(t) \approx N(t)/N_0$ , где  $N_0$  — число изделий, работающих и в начале испытаний;  $N(t)$  — число изделий, работоспособных в конце промежутка времени  $t$ . Например, если  $N_0 = 100$ ;  $N(t) = 90$ , то при  $t = 1000$  ч,  $P(1000) = 90/100 = 0,9$ . *Интенсивность отказов*  $\lambda(t)$  является функцией времени. В начальный период эксплуатации выявляются дефекты конструкций, обработки деталей, сборки готового изделия, а также комплектующих, получаемых по кооперации. В последующий период после приработки деталей и узлов интенсивность отказов наименьшая и практически не меняется — период нормальной эксплуатации изделия. Конец периода эксплуатации характеризуется резким увеличением интенсивности отказов, что объясняется износом, необратимыми физико-химическими процессами и т.п.

**Долговечность** — свойство объекта сохранять работоспособное состояние до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонта. *Предельное состояние* изделия определяется невозможностью дальнейшей эксплуатации вследствие неустранимого нарушения требований безопасности, неустранимого снижения эксплуатационных показателей и эффективности эксплуатации или нецелесообразности его восстановления. Показателями долговечности могут быть: *назначенный ресурс*, определяемый наработкой изделия, предельное состояние которого обусловлено достижением заданной наработки; *назначенный срок службы* — срок службы изделия, предельное состояние которого обусловлено достижением заданной календарной продолжительности использования изделия по назначению. *Наработка* — это продолжительность или объем работы изделия.

На надёжность и долговечность существенное влияние оказывают динамические процессы, происходящие при эксплуатации изделия. Так, вследствие недостаточной жесткости и виброустойчивости конструкции, наличия сил трения в подвижных соединениях, наличия дисбаланса, упругих деформаций элементов, недостаточной точности изготовления и других причин при холостом и рабочем режимах работы машины возникают быстротекающие колебательные процессы — *вибрации*. Вибрации нарушают оптимальную шероховатость трущихся поверхностей деталей и уменьшают долговечность машин, снижают точность обработки станков,

стойкость режущего инструмента, точность автоматических измерительных приборов. В связи с этим для каждого типа изделия устанавливают и контролируют показатели *динамического качества*.

*Ремонтопригодность* — свойство объекта, заключающееся в приспособленности к поддержанию и восстановлению работоспособного состояния путем технического обслуживания и ремонта.

*Сохраняемость* — свойство объекта сохранять в заданных пределах значения параметров, характеризующих способности объекта выполнять требуемые функции в течение и после хранения и транспортирования.

*Эргономичность* — свойство, определяющее удобство эксплуатации объекта человеком, например, в системах: «человек — компьютер», «человек — программа», «человек — машина» и др. *Эргономика* (от греч. *ergon* — работа и *nomos* — закон) — область науки, занимающаяся оптимизацией взаимодействия человека с изделием и рабочей средой в трудовом процессе. Задачей эргономики является создание оптимальных гигиенических, физиологических, психологических, технических и организационных условий для производительного труда и обеспечения необходимых удобств, содействующих развитию способностей работника и получению высоких технических и качественных показателей его работы. Эргономические показатели должны быть установлены для каждого типа системы человек — объект — среда и отдельно для каждого объекта, входящего в данную систему. Наиболее важными из них являются удобное расположение органов управления изделием, простота его эксплуатации, обзорность рабочей зоны, гигиенические показатели, в том числе допускаемые уровни вибрации и шума и т. д.; для измерительных приборов — точность и надежность отсчетного устройства. Станки и другие средства производства, сконструированные с учетом эргономических показателей в сочетании с оптимальной рабочей средой, обеспечивают наименьшее физическое и нервно-эмоциональное напряжение, малую утомляемость оператора, создают условия, при которых человек получает в процессе труда наибольшее удовлетворение. Это сказывается и на производственных результатах: возможные скорости, производительность, точность, надежность работы средств производства и контроля используются в наибольшей степени. Эргономичность программного обеспечения подразумевает удобство программного обеспечения, т.е. такие характеристики программного продукта, которые позволяют минимизировать усилия пользователей по подготовке исходных данных, применению программного продукта и оценке полученных результатов, а также позволяют вызывать положительные эмоции определенного или виртуального пользователя.

**Эстетические показатели** определяются эстетическим восприятием объекта: дизайном, цветовой гаммой, музыкальным сопровождением и т.д. Работы по промышленной эстетике в настоящее время развиваются в направлении создания систем и комплексов изделий, средств производства и предметов окружающей среды, хорошо согласованных и совместимых как функционально, так и с точки зрения гармонии и удобства работы. Программа работы дизайнеров охватывает не только выпускаемую продукцию, но и рабочие места, мебель, рабочую одежду, территорию и помещения заводов и другие объекты. Одновременно проводится унификация размеров, формы, материалов, составных частей приборов: несущих элементов, тумблеров, рукояток, кнопок, шкал, стрелок и других элементов, что позволяет сократить номенклатуру составных частей и получать их по кооперации со специализированных предприятий. С учётом международных рекомендаций применяется также единое цветографическое кодирование. Например, красная полоса, пересекающая корпус и шкалу приборов, измеряющих сопротивление, знак молнии на объектах под напряжением, знак радиоактивности и др. Одного взгляда достаточно, чтобы автоматически воспринять информацию. Автоматическое реагирование на такую информацию снимает часть нервного напряжения у человека, пользующегося опасными объектами.

**Показатели технологичности** характеризуют трудоемкость, материалоемкость и себестоимость изделия. **Показатели стандартизации и унификации** характеризуют соотношение продукции стандартными, унифицированными и оригинальными деталями, сборочными единицами, комплектами и комплексами. **Показатели безопасности** устанавливают требования по защите человека в условиях аварийной ситуации, вызванной случайными нарушениями правил, изменением условий и режимов эксплуатации или потребления. **Экологические показатели** устанавливают требования по защите окружающей среды. **Показатели транспортабельности** включают вопросы упаковки, герметизации, крепления, погрузки, разгрузки, распаковывания и т. п., а также материальных и трудовых затрат на выполнение этих операций. **Патентно-правовые показатели** применяются при определении конкурентоспособности продукции.

#### 4.4. УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ

Качество продукции формируется на всех стадиях жизненного цикла создания изделия, где контроль является только важной составляющей. Формирование качества начинается в процессе исследования спроса (маркетинг), затем на стадии проектных и конструкторских разработок;

при выборе поставщиков комплектующих изделий и материалов; далее на стадиях производства; реализации продукции; эксплуатации и техническом обслуживании и заканчивается утилизацией после использования. Создание замкнутого процесса представляет собой комплексный подход к формированию качества продукции, включающий все фазы совершенствования выпускаемой продукции, подготовку производства, изготовление, реализацию и послепродажное обслуживание на основе использования данных о результатах эксплуатации и последующей корректировке технической документации, а также планирования, учитывающего конъюнктуру рынка, при минимальных расходах на обеспечение качества. Возможность предприятия обеспечить конкурентоспособность выпускаемой продукции определяется действующей на нём системой организации и управления — системой управления качеством.

*Система управления качеством* представляет собой согласованную рабочую структуру, действующую на предприятии и включающую эффективные технические и управленческие методы, обеспечивающие наилучшие и наиболее экономичные способы взаимодействия людей, машин, а также информации с целью удовлетворения требований потребителей, предъявляемых к качеству продукции, а также экономии расходов на качество. Существуют общие принципы и методы разработки систем управления качеством. Системы управления качеством могут различаться по уровню своего применения, например: системы управления качеством соответствующие требованиям стандартов ИСО серии 9000; системы управления качеством на базе TQM (Total Quality Management — всеобщее управление качеством), применяемая на фирмах; системы управления качеством, действующие на национальном или региональном уровне. При заключении контракта на поставку продукции или оказание услуг потребитель стремится иметь определенные гарантии того, что изделия или услуги на протяжении всего срока действия контракта будут высокого качества. Поэтому кроме согласованных технических условий в контракт вносят требования к системе качества, а также к проверке системы качества на предприятии у поставщика. Главная идея TQM состоит в том, что компания должна работать не только над качеством продукции, но и над качеством организации в целом, включая работу персонала. Постоянное одновременное усовершенствование этих трех составляющих — продукции, организации, персонала — позволяет достичь более быстрого и эффективного развития бизнеса. Качество определяется достижением удовлетворенности клиентов, улучшением финансовых результатов и ростом удовлетворенности служащих своей работой в компании.

С 1986 г. разрабатываются международные стандарты ИСО серии 9000, в которых изложены рекомендации по разработке систем качества. Вместе с терминологическим стандартом ИСО 8402—94 стандарты ИСО серии 9000 образовали основополагающий комплекс международных документов, охватывающий области разработки и применения систем управления качеством.

В РФ эти стандарты приняты для прямого использования в виде государственных стандартов: ИСО 9001:2008 — ГОСТ Р ИСО 9001—2008; ИСО 9002:94 — ГОСТ Р ИСО 9002—96; ИСО 9003:94 — ГОСТ Р ИСО 9003—96; приняты также рекомендации по их применению. Система качества, действующая у поставщика должна обеспечить требования к продукции на стадиях исследования, проектирования, производства, транспортирования, хранения, монтажа и эксплуатации, что регламентируется ГОСТ Р ИСО 9002—96 «Система качества. Модель для обеспечения качества при проектировании и (или) разработке, производстве, монтаже и обслуживании». В ГОСТ Р ИСО 9001—2008 рассмотрены требования к системе качества по таким вопросам, как ответственность руководства; периодический анализ контракта; управление проектированием; действия по управлению документацией; закупки продукции; идентификация продукции; управление процессами; контроль и проведение испытаний; контрольное, измерительное и испытательное оборудование; статус контроля и испытаний; погрузочно-разгрузочные работы, хранение, упаковка и поставка; регистрация качества; техническое обслуживание; статистические методы управления качеством и др. В случае, когда система качества у поставщика должна обеспечивать соответствие определенным требованиям к продукции на стадии производства, транспортирования, хранения и монтажа, действует ГОСТ Р ИСО 9002—96 «Система качества. Модель для обеспечения качества при производстве и монтаже». ГОСТ Р ИСО 9003—96 «Система качества. Модель для обеспечения качества при окончательном контроле и испытаниях» используется в том случае, когда соответствие определенным требованиям к продукции должно обеспечиваться поставщиком только в процессе контроля и испытаний готовой продукции. Выбор модели для обеспечения качества применительно к конкретной ситуации должен быть выгоден как потребителю, так и поставщику. Для обеспечения максимальной эффективности и удовлетворения требований потребителя система качества должна соответствовать конкретному виду деятельности, выпускаемой продукции или предоставляемой услуге. Поэтому на одном и том же предприятии, выпускающем различные виды продукции, система качества может включать подсистемы по определенным видам изделий.

В настоящее время в РФ действуют аутентичные тексты стандартов ИСО 9000:2000, ИСО 9001:2008 и ИСО 9004:2009. Основные положения систем менеджмента качества и терминология в этой области устанавливается ГОСТ Р ИСО 9000—2008 «Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь». Требования к системам управления качеством, которые могут использоваться для внутреннего применения организациями, выпускающими продукцию, отвечающую установленным к ней обязательным требованиям и требованиям потребителей, в целях сертификации и заключения контрактов устанавливается ГОСТ Р ИСО 9001—2008 «Системы менеджмента качества. Требования». ГОСТ Р ИСО 9004—2009 «Системы менеджмента качества. Рекомендации по улучшению деятельности» расширяет цели и возможности системы управления качеством, по сравнению с ГОСТ Р ИСО 9001—2008, в части постоянного улучшения деятельности организаций, желающих выйти за рамки требований ГОСТ Р ИСО 9001—2008. Однако он не предназначен для целей сертификации или заключения контрактов. ГОСТ Р ИСО 9001—2008 и ГОСТ Р ИСО 9004—2009 были разработаны как стандарты, взаимно дополняющие друг друга, но кроме того они имеют самостоятельное применение.

Стандарты серии ИСО 9000 являются основой для других стандартов в области менеджмента качества, например, в области экологической безопасности и охраны окружающей среды, разработаны ГОСТы серий 14000 и 19000. Разработка этих стандартов вызвана необходимостью радикальных изменений в самой концепции развития цивилизации. Исследовательскими организациями развитых стран совместно с крупными корпорациями были разработаны принципы оценки влияния на окружающую среду тех или иных видов хозяйственной деятельности человечества. Таким образом были созданы международные экологические стандарты, например, ГОСТ Р ИСО 14000, ГОСТ Р ИСО 19000, а также системы сертификации экологической безопасности такие как Правила Европейского Союза по экологическому менеджменту и аудиту (*EMAS*). В настоящее время все больше транснациональных компаний модернизирует свои производства в целях соответствия международным нормам и обеспечения экологической чистоты продукции. Развитые страны вкладывают большие средства в меры по улучшению экологической обстановки и максимальному снижению побочных эффектов от производства. Приоритетным стало экологическое направление развития промышленности: сохранение природных ресурсов и чистоты окружающей среды. Многие ведущие компании сделали ставку на заботу о здоровье потребителя, и экономическая целесообразность такого подхода подтверждается практикой. Сегодня большим спросом пользуются именно экологически чистые товары, так как потре-

битель стремится окружить себя безопасными для здоровья и качественными изделиями.

Применение систем качества организациями и предприятиями должно подчиняться определённым требованиям. Организация должна разработать документ по системе управления качеством, внедрить его в производство, поддерживать в рабочем состоянии и постоянно улучшать его результативность в соответствии с требованиями стандарта. Необходимый комплекс работ в этой связи состоит из следующих этапов: 1) определение процессов, необходимых для системы управления качеством, и их применение во всей организации; 2) определение последовательности и результатов взаимодействия процессов; 3) определение критериев и методов, необходимых для обеспечения результативности действий по управлению процессами; 4) обеспечение необходимыми ресурсами и информацией, для поддержания процессов и их мониторинга; 5) осуществление мониторинга, измерение и анализ параметров процессов; 6) осуществление мер, необходимых для достижения запланированных результатов и постоянного улучшения процессов.

Функционированием организации необходимо управлять. Положительные результаты могут быть достигнуты в результате внедрения и поддержания в рабочем состоянии системы менеджмента качества. Менеджмент качества является составляющей управления организацией наряду с другими аспектами менеджмента. ГОСТ Р ИСО 9000—2001 включает основные принципы менеджмента качества. *Ориентация на потребителя* подразумевает, что организации зависят от своих потребителей и поэтому должны удовлетворять их текущие и будущие потребности, выполнять их требования и стремиться превзойти их ожидания. *Лидерство руководителя* заключается в том, что 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* предусматривает, что работники всех уровней составляют основу организации, и их полное вовлечение дает возможность организации с выгодой использовать их способности. *Процессный подход* предполагает, что желаемый результат достигается эффективнее, когда деятельностью и соответствующими ресурсами управляют как процессом. *Системный подход к менеджменту* заключается в понимании того, что менеджмент взаимосвязанных процессов как системы содействует результативности и эффективности организации при достижении ее целей. Системный подход к менеджменту качества побуждает организации анализировать требования потребителей, определять процессы, способствующие получению продукции, удовлетворяющей

потребителей, а также поддерживать эти процессы в управляемом состоянии. *Постоянное улучшение* состоит в том, что улучшение деятельности организации в целом следует рассматривать как ее неизменную цель. Система менеджмента качества может быть основой постоянного улучшения с целью увеличения вероятности повышения степени удовлетворения потребителей и других заинтересованных сторон. Она дает уверенность самой организации и потребителям её продукции в способности поставлять продукцию, полностью соответствующую требованиям. *Принятие решений, основанное на фактах*, определяет, что эффективные решения основываются на анализе данных и информации. *Взаимовыгодные отношения с поставщиками* определяют понимание того, что организация и ее поставщики взаимозависимы, и отношения взаимной выгоды повышают способность обеих сторон создавать продукцию высокого качества.

## 4.5. СТАТИСТИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА

### Основные понятия

Статистический контроль качества продукции позволяет решать следующие задачи: установление гарантии качества для потребителя продукции; получение, систематизация и анализ информации о факторах, оказывающих влияние на качество процесса или продукта; определение параметров технологических процессов, при которых обеспечиваются технические требования к изделиям; прогнозирование уровня брака; создание *информационной базы для управления качеством продукции*. Основные понятия, относящиеся к статистическим методам контроля качества продукции приведены в стандартах серии ГОСТ Р 50779.

*Единица продукции* — отдельный экземпляр продукции. Продукция может быть штучной или нештучной. Для проведения статистического анализа в том и другом случае берётся определенное количество единиц продукции. Предназначенная для контроля совокупность единиц продукции одного наименования, одного номинала или типоразмера и исполнения, произведенная в течение установленного интервала времени в одних и тех же условиях составляет *контролируемую партию продукции* определённого объёма. Таким образом, *объём партии* — это количество единиц продукции в партии. Находящаяся в движении на технологической линии производимая продукция, представляет собой *поток продукции* одного наименования, одного номинала или типоразмера и исполнения.

Исходя из экономических соображений, контролю подвергается часть продукции — *выборка*, представляющая собой определенную совокупность изделий, отобранных для контроля из партии или потока продукции. *Объем выборки* — число изделий, составляющих выборку. Изделия, произведенные последними к моменту отбора в течение достаточно короткого интервала времени, называют *мгновенной выборкой*. *Период отбора* — интервал времени между моментами отбора смежных выборок из потока продукции.

Контроль, при котором решение о качестве контролируемой продукции принимают по результатам проверки одной или нескольких выборок или проб из партии или потока продукции, называют *выборочным контролем*. Контроль качества продукции, в ходе которого определяют значения одного или нескольких ее параметров, а последующее решение о контролируемой совокупности принимают в зависимости от этих значений, является *контролем по количественному признаку*. В тоже время можно проводить *контроль по качественному признаку*, в ходе которого каждую проверенную единицу продукции относят к определенной группе, а последующее решение о контролируемой совокупности принимают в зависимости от соотношения чисел ее единиц, оказавшихся в разных группах. Контроль по качественному признаку, в ходе которого каждую проверенную единицу продукции относят к категории годных или дефектных, а последующее решение о контролируемой совокупности принимают в зависимости от числа обнаруженных в выборке или пробе дефектных единиц продукции или числа дефектов, приходящихся на определенное число единиц продукции, называют *контролем по альтернативному признаку*.

Данные, полученные при помощи точечных проб или мгновенных выборок в результате выборочного контроля, являются исходными для решения задачи *статистического регулирования технологического процесса*. Регулирование осуществляют путём корректирования значений параметров технологического процесса, с целью достижения требуемого уровня качества. Таким образом, соответствующее технологическое обеспечение достигается за счёт включения обратной связи в виде статистического контроля.

Статистический контроль позволяет получить данные для проведения *статистического анализа точности технологического процесса* и оценить статистическими методами значения погрешностей параметров изготавливаемой продукции, а также закономерность изменения их во времени. Постоянство параметров точности технологического процесса в течение некоторого интервала времени без вмешательства извне является необходимым условием, которое необходимо учитывать при проектировании, эту характеристику называют *стабильностью технологического процесса*. Одновременно со стабильностью технологический процесс должен быть статистически управляемым, что означает возможность реагиро-

вания процесса на статистическое регулирование. В результате чего значения параметров продукции должны иметь только случайные отклонения, находящиеся в установленных техническими условиями пределах. Такой технологический процесс называют *статистически управляемым технологическим процессом*.

### Методы статистического контроля

Рассмотрим различные методы статистического контроля и статистического регулирования технологических процессов.

**Метод группировки**, состоит в том, что о выходе параметров процесса за установленные пределы судят по распределению отметок, соответствующих значениям выборочной характеристики в определенных зонах контрольной карты. *Контрольная карта* представляет собой наглядное табличное отображение состояния технологического процесса, где отмечены значения соответствующей регулируемой выборочной характеристики смежных выборок или проб. Графическое отображение зависимости одного или нескольких показателей точности технологического процесса от времени представляется в виде *точностной диаграммы*. Эмпирическую точностную диаграмму строят на основе исследования текущего технологического процесса. Теоретическую точностную диаграмму для прогнозирования точности технологического процесса строят на основании статистических расчетов. На контрольной карте наносят *границу регулирования*, которая является линией, ограничивающей область значений регулируемой выборочной характеристики, соответствующей наладке технологического процесса, удовлетворяющей требуемым условиям.

**Метод учета дефектов** характеризуется тем, что о недопустимом изменении параметров процесса судят по числу дефектов или дефектных единиц производимой продукции в выборках или пробах. При применении *метода средних арифметических* о нарушении нормального протекания процесса судят по выборочным средним арифметическим контролируемых параметров. *Метод медиан* предполагает использование для этой цели выборочных медиан, а *метод средних квадратических отклонений* — средних квадратических отклонений контролируемых параметров. Применяют также *метод размахов* и *метод средних размахов*, характеризующиеся тем, что о выходе параметров процесса за пределы судят по выборочным размахам или соответственно по средним размахам контролируемых параметров, которые получаются как результат осреднения размахов нескольких выборок. О нарушении процесса можно судить по наибольшим и наименьшим значениям контролируемых параметров в вы-

борках или пробах — *метод крайних значений* или по сумме значений выборочной характеристики контролируемого параметра, полученной по мере накопления этих значений по результатам проверок серии выборок или проб — *метод кумулятивных сумм*.

Контроль качества конечной продукции проводят на основании *статистического приемочного контроля*, представляющего собой выборочный контроль качества продукции, который основан на применении методов математической статистики. Приёмочный контроль осуществляется в целях проверки соответствия качества продукции установленным техническим условиям. При этом устанавливается *доля дефектных единиц продукции* — отношение числа дефектных единиц продукции к общему числу единиц продукции, выраженное в процентах, а также *уровень дефектности* — доля дефектных единиц продукции или число дефектов на сто единиц продукции. В результате указанных действий вырабатывается *решающее правило*, представляющее собой сведения, предназначенные для принятия решения относительно приемки партии продукции по результатам ее контроля. Статистический контроль координируется *планом контроля*, содержащего полные данные о виде контроля, объемах контролируемой партии продукции, выборок или проб, о контрольных нормативах и решающих правилах. Полный комплект планов статистического приемочного контроля в сочетании с совокупностью правил применения этих планов называют *схемой статистического приемочного контроля*, которая является по существу основным документом для проведения статистического контроля качества продукции.

### **Области применения статистических методов контроля**

Статистические методы управления качеством продукции обладают в сравнении со сплошным контролем продукции таким важным свойством, как возможность обнаружения отклонения от технологического процесса не тогда, когда вся партия деталей изготовлена, а в процессе, т.е. когда можно своевременно вмешаться в процесс и скорректировать его.

Основные области применения статистических методов управления качеством продукции представлены на рис. 4.2.

*Статистический анализ точности и стабильности технологического процесса* заключается в установлении статистическими методами значений показателей точности и стабильности технологического процесса и определении закономерностей его протекания во времени.

*Статистическое регулирование технологического процесса* заключается в корректировании значений параметров технологического процесса

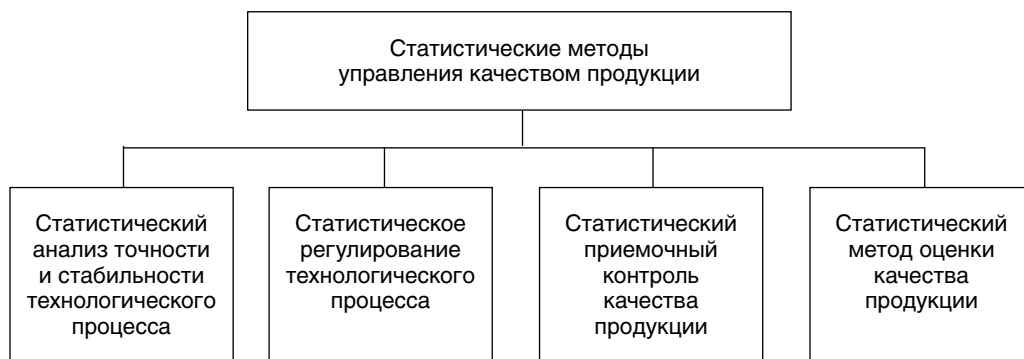


Рис. 4.2. Статистические методы управления качеством продукции

по результатам выборочного контроля контролируемых параметров, осуществляемое для технологического обеспечения требуемого уровня качества продукции.

*Статистический приемочный контроль качества продукции* представляет собой контроль, основанный на применении методов математической статистики для проверки соответствия качества продукции установленным требованиям и принятия продукции. Статистический приемочный контроль может применяться на операциях входного контроля, на операциях контроля закупок, при операционном контроле, при контроле готовой продукции и т.д., т.е. в тех случаях, когда надо решить — принять или отклонить партию продукции.

*Статистический метод оценки качества продукции* — это метод, при котором значения качества показателей качества продукции определяют с использованием правил математической статистики.

Область применения статистических методов в задачах управления качеством продукции охватывает весь жизненный цикл продукции (разработку, производство, эксплуатацию, потребление и т.д.). Статистические методы анализа и оценки качества продукции, статистические методы регулирования технологических процессов и статистические методы приемочного контроля качества продукции являются составляющими управления качеством продукции.

Статистический приемочный контроль качества продукции применяют в тех случаях, когда проведение 100% -ного контроля всех изделий партии продукции экономически нецелесообразно из-за большого объема партии или других условий. Такими условиями могут быть, например, невоз-

возможность осуществления контроля из-за необходимости разрушения определённого количества единиц продукции, сравнимого с предполагаемой долей дефектных единиц продукции в партии или применение дорогостоящих средств и процессов измерения. Статистический приёмочный контроль по исполнению является выборочным, т.е. из большой партии продукции берут одну или несколько случайных выборок, результаты измерения которых обрабатывают методами математической статистики. Согласно плану контроля, характеризующимся объемом выборки, устанавливают приемочное и браковочное числа. *Приемочное число* является критерием для приемки партии продукции. Оно равно максимальному числу дефектных единиц в выборке или пробе в случае статистического приемочного контроля по альтернативному признаку или соответствующему предельному значению контролируемого параметра в выборке или пробе в случае статистического приемочного контроля по количественному признаку. *Браковочное число* является критерием для браковки партии продукции. Оно равно минимальному числу дефектных единиц в выборке или пробе в случае статистического приемочного контроля по альтернативному признаку или соответствующему предельному значению контролируемого параметра в выборке или пробе в случае статистического приемочного контроля по количественному признаку.

В этом случае заранее устанавливают решающее правило, по которому принимают решение относительно приемки или отклонения партии продукции по результатам контроля. Кроме того, для принятия решения относительно приемки или отклонения партии продукции может быть предусмотрена определенная совокупность решающих правил. Последующая оценка служит для установления входного и выходного уровней дефектности, эффективности принятого плана контроля. По ней принимают решение о целесообразности корректирования плана контроля. Эту величину вычисляют как функцию результатов статистического приемочного контроля нескольких партий продукции.

Статистический анализ точности технологического процесса служит для выявления факторов, снижающих его точность. Решение таких задач на базе статистического анализа сводится к выполнению следующих этапов: планирование исследований, в частности, определение объемов выборок и метода их получения; формулирование математико-статистического описания и создание модели; описание параметров, относящихся к модели, и определение выборочных распределений для этих оценок; изучение согласия между моделью и наблюдениями; оценка результатов исследования и принятие управляющих решений. Методы статистического анализа точности технологического процесса могут быть разными. Наиболее распространенными являются следующие методы: сравнение средних; срав-

нение дисперсий; оценка коэффициента корреляции; регрессионный анализ; дисперсионный анализ и др.

*Метод сравнения средних* применяют в тех случаях, когда необходимо установить соответствие изготовленного изделия эталонному образцу или когда требуется сравнить значения одноименных показателей качества у двух или более групп изделий. *Метод сравнения дисперсий* применяют, когда требуется оценить рассеяние показателей качества в зависимости от способа обработки и параметров процесса обработки, а также типа технологического оборудования и других факторов. *Метод оценки коэффициента корреляции* применяют для проверки степени зависимости одного показателя качества от другого или в других случаях, когда требуется установить тесноту связи между параметрами. *Регрессионный анализ* позволяет оценить показатель качества по результатам наблюдений над другими параметрами технологического процесса. *Дисперсионный анализ* применяют, когда требуется оценить влияние тех или иных факторов на исследуемый показатель качества.

Статистическое регулирование технологического процесса направлено на предотвращение появления брака при изготовлении партии продукции. Этот вид контроля можно отнести к активным методам контроля, которые предполагают исполнение управляющих воздействий непосредственно в режиме текущего времени. Существуют варианты реализации метода статистического регулирования, имеющие свои области применения. В одном из вариантов применяется метод группировки, в котором контрольные карты имеют не только внешние границы, но и внутренние, как предупреждающие, что увеличивает чувствительность к отклонениям параметров контролируемого технологического процесса. При другом варианте применяется метод учета дефектов, при котором учитывается характер технологического процесса. Примером статистического регулирования качества сварочных процессов является оценка качества шва по числу дефектов на единицу длины. Другим примером является статистическое регулирование технологических процессов производства стекла и оптических деталей, в этом случае показателем качества является число дефектов на единицу площади. При статистическом регулировании технологических процессов штамповки изделий качество штамповки определяют по числу дефектных деталей в выборке и т. д.

В технологических процессах, формирующих заданный показатель качества, например, таких как: размер изделия при механической обработке, твердость термически обработанной поверхности при термообработке металлических изделий, процент содержания примесей при производстве химикатов и т.п., применяют метод средних арифметических или метод медиан. В этих случаях математическое ожидание показателя качества

в силу объективных причин с течением времени меняет свое значение. Следовательно, возникает необходимость в корректировке параметров технологического процесса в некоторый момент времени, что позволяет избежать появления брака.

Выборочное среднее арифметическое, являющееся оценкой показателя качества при применении метода средних арифметических, вычисляется по формуле

$$\bar{X} = 1/n (X_1 + X_2 + \dots + X_n),$$

где  $X_1, X_2, \dots, X_n$  — результаты выборочных наблюдений;  $n$  — объем выборки.

При методе медиан оценкой показателя качества является выборочная медиана  $\tilde{X}$ .

Среднее арифметическое  $\bar{X}$  в среднем дает более точную оценку неизвестному значению искомого параметра, чем медиана  $\tilde{X}$ . Объем выборки при применении метода медиан в среднем должен быть в 1,5 раза большим, чем при применении метода средних арифметических, при этом достигается приблизительно одинаковая точность при определении оценок, но сложность расчётов возрастает. В технологических процессах, характеризующихся возрастающим во времени рассеянием, применяют метод средних квадратических отклонений, метод размахов или метод крайних значений.

Мерой рассеяния является генеральное среднее квадратическое отклонение  $\sigma$ . В начальный момент времени, непосредственно после наладки процесса, среднее квадратическое отклонение принимает минимальное значение  $\sigma_0$ . При значении  $\sigma = \sigma_1$ , установленном нормативно-технической документацией, процесс должен быть налажен до получения равенства  $\sigma = \sigma_0$ . Значение  $\sigma$  неизвестно и оценивается по результатам наблюдений  $X_1, X_2, \dots, X_n$ , где  $n$  — объем выборки.

При методе средних квадратических отклонений определяют выборочное среднее квадратическое отклонение по формуле

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \approx \sigma, \text{ где } \bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i.$$

На контрольную карту наносят значения выборочных средних квадратических отклонений последовательных выборок  $S_1, S_2$  и т.д. Выход точки  $S_m$  за границу регулирования на контрольной карте указывает на то, что процесс разлажен, и требуется корректировка.

При методе размахов величину  $\sigma$  оценивают по размаху  $R = X_{\max} - X_{\min}$ , который определяют как разность между максимальным и минимальным результатами наблюдений в выборке. На контрольную карту наносят значения выборочных размахов последовательных выборок  $R_1, R_2$  и т.д. Вы-

ход точки  $R_m$  за границу регулирования на контрольной карте дает основание считать, что  $\sigma \geq \sigma_1$ , т. е. процесс считается разлаженным и, следовательно, требуется корректировка.

При методе крайних значений величину  $\sigma$  оценивают по крайним значениям  $X_{\max}$  и  $X_{\min}$  в выборке, наносимым на контрольную карту. При выходе крайнего значения за границы регулирования процесс считают разлаженным и проводят его корректировку.

Выборочное среднее квадратическое отклонение дает более точную оценку параметра  $\sigma$ , чей выборочный размах или крайние значения, но при этом расчеты усложняются. Точность метода средних квадратических отклонений с увеличением объема выборки повышается, а точность метода размахов понижается. При  $n > 10$  метод размахов применять не рекомендуется, его целесообразно заменять методом средних размахов.

### Карты контроля качества

Текущий мониторинг качества продукции в процессе ее производства является важной задачей, стоящей перед производителем. Под мониторингом качества понимается не только непосредственная проверка годности выпускаемого изделия, но и наблюдение за направлением изменения качества в процессе производства изделия. Для решения подобных вопросов в условиях современного производства менеджеры по контролю качества используют методики и процедуры, основанные на статистическом анализе характеристик изделий. Одним из таких инструментов являются незаменимые при поточном мониторинге качества *контрольные карты*, графически отражающие статистические характеристики исследуемого производственного процесса.

Общий подход к текущему контролю качества заключается в выполнении ряда этапов. В процессе производства проводятся выборочные измерения изделий. После этого на графике (карте) строятся диаграммы изменения выборочных значений плановых спецификаций в выборках и рассматривается степень их близости к заданным значениям. Если диаграммы обнаруживают наличие тенденции к изменению направления выборочных значений параметров процесса (тренд) или оказывается, что выборочные значения выходят из заданных пределов, то считается, что процесс вышел из-под контроля, и предпринимаются необходимые действия для того, чтобы найти причину его разладки. Решение задач контроля качества производимой продукции осуществляют на основе использования разработанных стандартных процедур и программ, основанных на статистическом анализе характеристик изделий. Блок программ для контроля качества продукции состоит из двух модулей: «*Карты контроля качества*» и «*Интерактивные карты контроля качества*». Оба модуля содержат полный набор функций, кото-

рые можно использовать для решения различных задач анализа данных и организации процедур контроля качества на производстве. Они применяются для автоматизированных систем контроля качества в цехах всех типов и уровней сложности, для аналитических исследований и для исследований в направлении повышения качества. Существуют методы автоматизации и средства быстрого просмотра, которые упрощают эти операции. Многочисленные графические опции могут быть изменены и сохранены как системные установки по умолчанию или как шаблоны многократного использования. Модуль «Карты контроля качества» включает в себя полные и простые в использовании средства для создания новых аналитических процедур и добавления их в состав приложения. Эти средства особенно полезны при интеграции средств анализа контроля качества с существующими на производстве системами хранения и сбора данных. В отличие от традиционного варианта, предлагаемого пользователю в модуле «Карты контроля качества», модуль «Интерактивный контроль качества» представляет собой интерактивную, настраиваемую среду для проведения анализа карт контроля качества, вычисления различных критериев и статистик. В этом модуле исследования реализованы в виде проектов, которые включают файлы данных, карты, настройки и пользовательские установки для карт, настройки пригодности процесса, определенные таблицы результатов и пользовательские шаблоны для использования с другими переменными и файлами данных. Этот модуль позволяет одновременно исследовать несколько типов карт для различных переменных и запускать несколько проектов, переключаясь между ними щелчком мыши. Модуль «Интерактивный контроль качества» — это полностью настраиваемая система, которая предлагает всесторонний выбор режимов функционирования, от простого, для одного компьютера, до интегрированной в масштабах предприятия контрольной системы, организованной с помощью централизованной базы данных. Этот модуль содержит специальный набор функций для быстрого интерактивного анализа результатов, например, выделение цветом и организация работы в режиме реального времени, например, для присвоения причин и действий или автоматического оповещения о тревоге при обнаружении разладки.

Контрольные карты используются в виде графиков, полученных в ходе технологического процесса. Графики отражают динамику процесса. Применяют различные контрольные карты: медиан,  $p$ -карты (дефектной продукции),  $pn$ -карты,  $c$ -карты. Существуют, в частности, следующие виды контрольных карт: средних арифметических значений ( $\bar{X}$ -карта); медиан ( $\tilde{X}$ -карта); средних арифметических отклонений ( $S$ -карта); размахов ( $R$ -карта); числа дефектных единиц продукции ( $np$ -карта); доли дефектных единиц продукции ( $P$ -карта); числа дефектов ( $C$ -карта); числа дефектов на единицу продукции ( $U$ -карта). Первые четыре вида контрольных

карт применяют при контроле по количественному признаку, последние четыре — при контроле по альтернативному признаку.

Выбор контрольных карт проводят с учётом следующих положений:

1. Контрольная карта  $\bar{X}$ - $R$  (средних арифметических значений и размахов) осуществляет контроль за изменением среднего арифметического и контрольной карты  $R$ , контролирующей изменения рассеивания значений показателей качества. Эта карта применяется при измерении таких регулируемых показателей, как длина, масса, диаметр, время, предел прочности при растяжении, прибыль и т.д.

Применяется на продукции серийного и массового производства, на технологических процессах с запасом точности  $K_T = 6\sigma/T$ , для которых коэффициент точности находится в пределах 0,75–0,85, и показатели качества которых определяются по закону Гаусса или Максвелла. Рекомендуются принять для процессов с высокими требованиями к точности; для продукции, связанной с обеспечением безопасности потребителя (авиатехника, автомобилестроение, сельхозмашиностроение и т.д.); для измерения, вычисления и управления процессами и т.д.

2. Контрольная карта  $\bar{X}$ - $R$  применяется для таких же элементов контроля, что и  $\bar{X}$ - $R$ , но для менее точных процессов (кавалитет  $IT8$  и грубее).

3. Контрольная карта  $P$  (для доли дефектных изделий) применяется для контроля и регулирования технологического процесса (после проверки небольшой части изделий и разделения их на доброкачественные и дефектные изделия) на основе использования доли дефектных изделий, полученной делением числа обнаруженных дефектных изделий на число проверенных изделий.

Кроме применения контрольной карты  $P$  для доли дефектных изделий ее можно использовать для определения интенсивности выпуска продукции, процента неявки на работу и т.д.

4. Контрольная карта  $pn$  применяется для контроля в случаях, когда контролируемым параметром является число дефектных изделий при постоянном объеме выборки  $n$ . Эта контрольная карта соответствует контрольной карте « $p$ » с вариантом постоянного « $n$ » и по существу одинакова с ней.

Обзор основных принципов и положений и сравнительные примеры применения различных контрольных карт с целью найти наиболее приемлемые из них для данных конкретных условий приведён в ГОСТ Р 50779.40—96 Статистические методы. Контрольные карты. Общее руководство и введение. Стандарт устанавливает ключевые элементы и основные принципы применения контрольных карт. В стандарте приведена характеристика видов контрольных карт, включающих в себя контрольные карты, аналогичные контрольным картам Шухарта, а также контрольные карты приема и прогноза состояния процесса.

## ГЛАВА 5 ИЗМЕРЕНИЕ И КОНТРОЛЬ ПАРАМЕТРОВ ИЗДЕЛИЙ

### 5.1. ВЫПОЛНЕНИЕ ИЗМЕРЕНИЙ И КОНТРОЛЯ

Основным требованием при проведении контроля в процессе производства продукции является обеспечение точности. Точность измерения зависит от множества факторов, главными из которых являются: предельные погрешности применяемых средств измерения и контроля, метрологические принципы их конструктивного исполнения, точность принятых методов измерения, влияние внешних факторов. Большое значение имеет разработка и принятие методики измерения и контроля. Под методикой выполнения измерений понимают совокупность методов, средств, процедур, условий подготовки и проведения измерений, а также правил обработки экспериментальных данных при выполнении конкретных измерений. Измерения должны осуществляться в соответствии с аттестованными в установленном порядке методиками.

Разработка методик выполнения измерений должна включать:

- анализ технических требований к точности объекта измерений;
- определение необходимых условий проведения измерений;
- выбор средств измерений;
- разработку средств дополнительного метрологического оснащения;
- испытание средств измерения и контроля;
- планирование процессов измерения и контроля;
- разработку и выбор алгоритма обработки результатов наблюдений;
- разработку правил оформления и представления результатов измерения.

Нормативно-техническими документами, регламентирующими методику выполнения измерений, являются:

- а) ГОСТы и методические указания по методикам выполнения измерений. Стандарты разрабатываются в том случае, если применяемые средства измерений внесены в Государственный реестр средств измерений;

б) отраслевые методики выполнения измерений, используемые в одной отрасли;

в) стандарты предприятий на методики выполнения измерений, используемые на данном предприятии.

В методиках выполнения измерений предусматриваются: нормы точности измерений; функциональные особенности измеряемой величины; необходимость автоматизация измерений; применение программного обеспечения для обработки данных и др. Методики выполнения измерений перед их вводом в действие должны быть аттестованы или стандартизованы.

*Аттестация* включает в себя: разработку и утверждение программы аттестации; выполнение исследований в соответствии с программой; составление и оформление отчета об аттестации; оформление аттестата методики выполнения измерений. При аттестации должна быть проверена правильность учета всех факторов, влияющих на точность измерений, установлена достоверность их результатов. Аттестацию методик выполнения измерений проводят государственные и ведомственные метрологические службы. При этом государственные метрологические службы проводят аттестацию методик особо точных, ответственных измерений, а также измерений, проводимых в организациях Госстандарта России.

*Стандартизация* методик применяется для измерений, широко применяемых на предприятиях. Методики выполнения измерений периодически пересматриваются с целью их усовершенствования.

## 5.2. ВЫБОР СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ И КОНТРОЛЯ

Выбор средств измерения и контроля предусматривает решение вопросов, связанных с выбором организационно-технических форм контроля, целесообразности контроля данных параметров и производительности этих средств. Одну и ту же метрологическую задачу можно решить с помощью различных измерительных средств, имеющих разную стоимость и разные метрологические характеристики. Совокупность метрологических, эксплуатационных и экономических показателей должна рассматриваться во взаимной связи. *Метрологическими показателями*, которые в первую очередь необходимо учитывать, являются: предельная погрешность измерительного прибора, цена деления шкалы, измерительное усилие, пределы измерения и др. *Эксплуатационными и экономическими показателями* являются: стоимость и надежность измерительных средств, продолжительность работы до ремонта, время, затрачиваемое на настройку и процесс измерения, масса, габаритные размеры и др. В большинстве

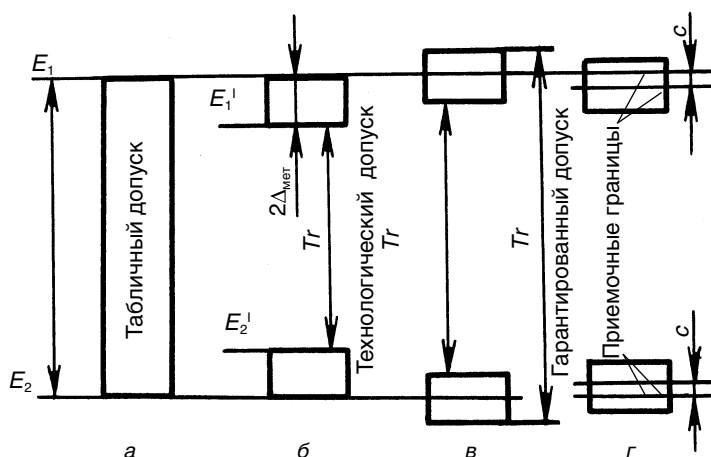
случаев, чем выше требуемая точность средства измерения, тем оно массивнее и дороже, тем выше требования, предъявляемые к условиям его использования.

### Точность средств измерения и контроля

Точность средств измерения и контроля оказывает влияние на использование табличного допуска  $T$  на изготовление детали, как бы уменьшая его (рис. 5.1, а). Если представить, что измерительное средство — идеально, т.е. не имеет погрешностей и настроено на границы поля допуска  $E_1$  и  $E_2$ , то допуск  $T$  оставался бы постоянным.

В действительности всегда возникает метрологическая погрешность измерения  $\pm\Delta_{\text{мет}}$ , поэтому во избежание пропуска бракованной детали и признание её ошибочно годной, необходимо уменьшить допуск  $T$  до значения технологического допуска  $T_r = T - 4\Delta_{\text{мет}}$  (рис. 5.1, б). Вариант, соответствующий настройке прибора на предельное значение погрешности  $\Delta_{\text{мет}}$ , т.е. на границы поля допуска  $E'_1$  и  $E'_2$ , уменьшает производственный допуск и следовательно увеличивает стоимость изготовления изделия. Снижение стоимости изготовления может быть достигнуто либо путём уменьшения метрологической погрешности  $\Delta_{\text{мет}}$ , либо путём смещения настройки, т.е. установления приемочных границ вне поля допуска (рис. 5.1, в). Таким образом, допуск расширится до гарантированного значения  $T_r$ . Действительное сочетание погрешностей измерения и измеряемого параметра является событием случайным. Предполагая, что обе со-

Рис. 5.1. Варианты расположения приёмочных границ по отношению к полю допуска



ставляющих подчиняются закону нормального распределения можно записать  $T = \sqrt{T_r^2 + \Delta_{\text{мет}}^2}$ .

Анализ этих зависимостей показывает, что если  $\pm \Delta_{\text{мет}}/T = 0,1$ , то практически весь допуск отводится на компенсацию технологических погрешностей, так как при этом  $T_r/T = 0,9 \div 0,995$ . Если принять  $T_r/T = 0,4$ , то и в этом случае на компенсацию технологических погрешностей можно выделить  $(0,6 \div 0,917)$   $T$ . Согласно ГОСТ 8.051—81 пределы допускаемых погрешностей измерения для диапазона 1—500 мм колеблются от 20% (для грубых квалитетов) до 35% табличного допуска.

Стандартизованные погрешности измерения включают как случайные, так и систематические погрешности средств измерения, в том числе установочных мер, элементов базирования и др. Они являются предельно допустимыми суммарными погрешностями. На практике экономически целесообразно принимать случайные погрешности приблизительно 0,1 от табличного допуска. Следовательно, точность средства измерения должна быть на порядок выше точности контролируемого параметра изделия. Повышение точности изготовления изделий с целью обеспечения требуемого уровня качества вызывает необходимость создания средств измерения со значительно большей точностью измерения, т.е. должен действовать принцип *опережающего повышения точности средств измерения* по сравнению с точностью средств изготовления. Другим вариантом расположения предельной погрешности изменения относительно предельного размера изделия является симметричное расположение (рис. 5.1, в). Однако при таком расположении существует, хотя и не большой, риск того, что бракованные изделия могут быть ошибочно признаны годными, а годные изделия будут признаны браком. При необходимости уменьшения риска попадания бракованных изделий к потребителю, приемочные границы смещают внутрь поля допуска изделия на величину  $c$  (рис. 5.1, г). Смещение приёмочных границ можно принять равным  $c = \Delta_{\text{мет}}/2$ , если же точность технологического процесса известна, то  $c$  подлежит расчёту. Допускаемая погрешность измерения зависит от допуска на изготовление изделия и, следовательно, учитывается при выборе измерительного средства. Допускаемые погрешности измерения для квалитетов  $IT2 \div IT17$  и диапазона размеров от 1 до 500 мм даны в ГОСТ 8.051—81.

Относительная погрешность измерения выразится формулой

$$A_{\text{мет}}(\sigma) = \sigma_{\text{мет}}/T,$$

где  $\sigma_{\text{мет}}$  — среднее квадратическое отклонение погрешности измерения. Влияние погрешностей измерения при приемочном контроле по линейным размерам можно оценить параметрами  $m$ ,  $n$  и  $c$  (рис. 5.2). Здесь:  $m$  — часть измеренных деталей, имеющих размеры, выходящие за предельные размеры, но принятых в числе годных (неправильно принятые);  $n$  — часть

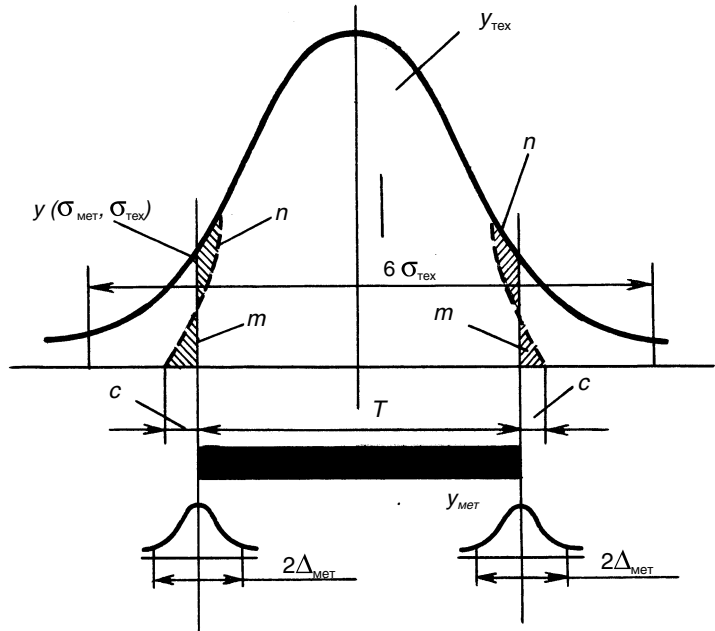


Рис. 5.2. Кривые распределения контролируемых параметров, с учётом погрешностей измерения

деталей, имеющих размеры, не превышающие предельные размеры, но забракованных (неправильно забракованные);  $c$  — вероятностная предельная величина выхода размера за предельные размеры у неправильно принятых деталей. На рис. 5.2 можно видеть представление  $m$ ,  $n$  и  $c$  в случае, когда кривые распределения размеров деталей ( $y_{\text{тех}}$ ) и погрешностей измерения ( $y_{\text{мет}}$ ), причем центр распределения погрешностей совпадает с границами допуска.

Наложение кривых  $y_{\text{мет}}$  и  $y_{\text{тех}}$  вызывает искажение кривой распределения  $y(\sigma_{\text{мет}}, \sigma_{\text{тех}})$ , в результате этого появляются области вероятностей  $m$  и  $n$ , обуславливающие выход размера за границу допуска на величину  $c$ . Большее отношение  $\Delta_{\text{мет}}/T$ , означающее более точный технологический процесс, приводит к меньшему числу неправильно принятых деталей по сравнению с неправильно забракованными, так как  $m/n = 0,1 \div 1,1$ . Наибольшее смещение  $c$  находится в пределах  $(1,5 \div 1,73) \sigma_{\text{мет}}$ . Параметры  $m$ ,  $n$  и  $c$  можно определить по табл. 5.1, при этом рекомендуется принимать для квалитетов  $IT2 \div IT7 A_{\text{мет}}(\sigma) = 0,16$ ; для квалитетов  $IT8, IT9 A_{\text{мет}}(\sigma) = 0,12$ , для квалитета  $IT10$  и грубее  $A_{\text{мет}}(\sigma) = 0,1$ .

В табл. 5.1 первый ряд значений  $m$ ,  $n$  и  $c$  соответствует закону нормального распределения погрешности измерения, второй ряд — закону равной

вероятности. При неизвестном законе распределения погрешности измерения значения  $m$ ,  $n$  и  $c$  можно определять как среднее из значений 1-го и 2-го рядов. Предельные значения параметров  $m$ ,  $n$  и  $c/T$  учитывают влияние только случайной составляющей погрешности измерения. Значения  $m$ ,  $n$  и  $c$  даются в литературе также в виде номограмм. ГОСТ 8.051—81 предусматривает два способа установления приемочных границ. *Первый способ* — приемочные границы устанавливаются совпадающими с предельными размерами, *второй способ* — приемочные границы смещают внутрь относительно предельных размеров.

Таблица 5.1

**Значения относительной погрешности измерения  
для разных законов распределения**

| $A_{мет}(\sigma)$ | $m$       | $n$       | $c/T$ | $A_{мет}(\sigma)$ | $m$       | $n$       | $c/T$ |
|-------------------|-----------|-----------|-------|-------------------|-----------|-----------|-------|
| 1,60              | 0,37–0,39 | 0,70–0,75 | 0,01  | 10,0              | 3,10–3,50 | 4,50–4,75 | 0,14  |
| 3,0               | 0,87–0,90 | 1,20–1,30 | 0,03  | 12,0              | 3,75–4,11 | 5,40–5,80 | 0,17  |
| 5,0               | 1,60–1,70 | 2,00–2,25 | 0,06  | 16,0              | 5,00–5,40 | 7,80–8,25 | 0,25  |
| 8,0               | 2,60–2,80 | 3,40–3,70 | 0,10  |                   |           |           |       |

Рассмотрим примеры выбора точности средств измерения.

**Пример 1.** Определить необходимую точность средств измерения при контроле изготавливаемых валов  $\varnothing 100h6_{(-0,022)}$ , а также значения статистических параметров  $m$ ,  $n$  и  $c$ . Приемочные границы устанавливаются совпадающими с предельными размерами.

Допускаемая погрешность измерения согласно ГОСТ 8.051—81 составляет  $\Delta_{мет} = 6$  мкм для  $A_{мет}(\sigma) = 16\%$  (квалитет  $IT\ 6$ ). По табл. 5.1 — число бракованных деталей, принятых как годные  $m = 5,2\%$ , число неправильно забракованных годных деталей  $n = 8\%$ , при этом  $c = 5,5\%$ . Общее рассеяние погрешности измерения бракованных деталей, принятых как годные, находится в интервале от  $-27,5$  до  $+5,5$  мкм (см. рис. 5.1,е), т.е. среди годных деталей может оказаться до  $5,2\%$  неправильно принятых деталей с предельными отклонениями  $+0,0055$  и  $-0,0275$  мм.

**Пример 2.** Если снижение точности из-за погрешностей измерения является недопустимым, приемочные границы смещают внутрь допуска на величину  $s$  (см. рис. 5.1,з).

При введении производственного допуска могут быть два варианта в зависимости от того, известна или неизвестна точность технологического процесса. В первом варианте при назначении предельных размеров точность технологического процесса неизвестна. В соответствии с ГОСТ 8.051—81 предельные размеры изменяются на половину допускаемой погрешности

измерения для рассмотренного примера,  $\varnothing 100_{-0,019}^{-0,003}$ . Во втором варианте при назначении предельных размеров точность технологического процесса известна. В этом случае предельные размеры уменьшают на значение параметра  $c$ . Предположим, что для рассмотренного выше примера  $T/\sigma_{\text{тех}} = 4$  (при изготовлении имеется 4,5% брака по обеим границам):  $A_{\text{мет}}(\sigma) = 16\%$ ;  $c/T = 0,1$ ;  $c = 22$  мкм. Точностные требования к размеру вала с учетом этих данных будут следующие  $\varnothing 100_{-0,020}^{-0,002}$ .

### Принцип инверсии

Изделие на стадиях жизненного цикла от момента изготовления до момента эксплуатации проходит несколько состояний или *инверсий* (превращений). *Принцип инверсии* заключается в том, что вначале деталь представляет собой заготовку — объект обработки, затем объект контроля или измерения и, наконец, становится составной частью изделия механизма, машины или другого изделия. Принцип инверсии устанавливает связь между технологическим процессом, процессом измерения и выполнением функций при эксплуатации. На стадии обработки деталь и технологическая система, являющаяся источником инструментальной погрешности, представляют собой части замкнутой цепи. В процессе измерения деталь входит в замкнутую систему вместе со средством измерения, являющегося источником погрешности измерения. На стадии эксплуатации деталь, имеющая значения геометрических параметров в пределах, установленных техническими требованиями, является частью функциональной системы изделия, т.е. выполняет функции в соответствии со своим назначением. Эксплуатационные свойства детали будут соответствовать установленным значениям только в том случае, когда источники погрешностей, возникающие на разных стадиях, рассматриваются во взаимной связи. Принцип инверсии позволяет сделать выводы, которые необходимо учитывать при назначении и обеспечении точности. Назначение требований к точности на стадии конструирования должно учитывать функциональное назначение детали. Схема технологического формообразования при обработке должна соответствовать схеме функционирования. Выбор средств измерения и контроля и организация процесса измерения должны проводиться с учётом принципа инверсии, т.е. учитывать две предыдущие схемы. Таким образом, положения принципа инверсии конструктор должен учитывать на стадии проектирования изделия, технолог — на стадии его изготовления, а метролог — при его контроле и измерениях.

Метод и схему измерения можно считать правильно выбранными, если условия контроля соответствуют условиям эксплуатации и этапам формо-

образования детали, т.е. траектория движения при измерении соответствует траектории движения при формообразовании и функционировании; линия измерения совпадает с направлением рабочего усилия при функционировании; метрологические, конструкторские и технологические базы совпадают с эксплуатационными; форма измерительного наконечника, силовая нагрузка на деталь и другие параметры соответствуют параметрам сопрягаемой с ней контрдетали; физические (в частности, геометрические) свойства образцовой детали, используемой при настройке средства измерения, подобны свойствам контролируемой детали.

На практике не всегда удаётся обеспечить соответствие метода формообразования детали оптимальной схеме, в этом случае вопрос о выборе схемы измерения следует решать, исходя из функционального назначения детали в зависимости от решения частной метрологической задачи. В любом случае стремление к наибольшему соответствию процесса измерения принципу инверсии позволяет обеспечить минимальные погрешности и повысить показатели качества при эксплуатации изделий.

Применение положений принципа инверсии можно проиллюстрировать на примерах. После изготовления ступенчатого вала  $D$  редуктора необходимо выбрать схему контроля радиального биения поверхности  $A$  с помощью показывающего измерительного прибора  $I$  (рис. 5.3, а).

В качестве метрологических баз следует выбрать поверхности  $B$  и  $B'$ , поскольку по ним происходит контакт вала с опорными подшипниками, а использование в качестве метрологических баз линии центров  $C—C'$  или поверхностей  $D—D'$  приводит к возникновению дополнительных погрешностей, вызванных отклонением от соосности этих элементов относитель-

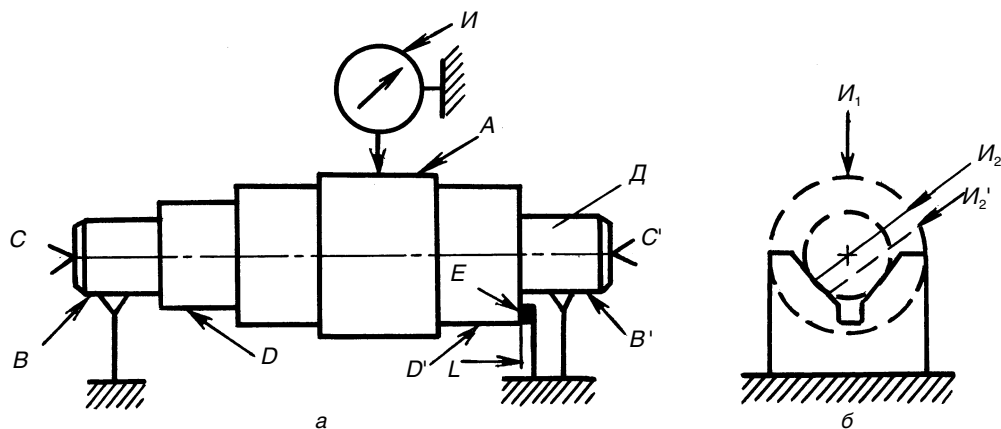


Рис. 5.3. Выбор измерительных баз при контроле базированием:  
а — на ножках; б — на призмах

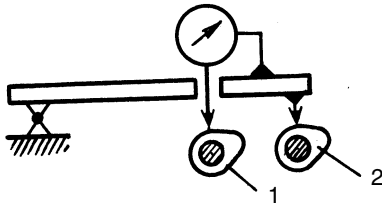


Рис. 5.4. Контроль профиля копира сравнением с образцом

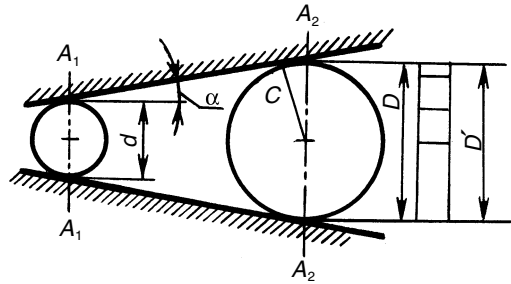


Рис. 5.5. Клиновой калибр

но базовых поверхностей  $B—B'$ . В осевом направлении в качестве базирующего элемента следует выбрать поверхность  $E$  (но не  $C$  или  $C'$ ), так как относительно этой поверхности устанавливается осевой зазор, влияющий на функционирование редуктора, т.е. она определяет осевое положение вала и от этой поверхности целесообразно проставлять линейные размеры  $L$ . При вращательном движении вала в процессе измерения его траектория соответствует траектории движения при эксплуатации. При базировании на призмах (рис. 5.3, б) и выборе линии измерения по направлению  $I_1$  погрешности формы базовых поверхностей влияют на результаты контроля. Погрешности можно устранить, расположив линию измерения по направлению  $I_2$ . При смещении линии  $I_2$  в положение  $I_2'$  вследствие погрешностей начальной установки измерительного прибора возникают дополнительные погрешности измерения.

Процессы обработки, основанные на методе копирования, особенно чувствительны к соблюдению принципа инверсии. Например, при обработке эвольвентных, спиральных, винтовых поверхностей и других сложных поверхностей методом обкатки, а также контроле зубчатого колеса в однопрофильном зацеплении с точным образцовым колесом, контроле копира 1 методом сравнения его и профилем образцового копира 2 (рис. 5.4) и др. Для крепежной резьбы одним из показателей является взаимозаменяемость, т.е. свинчиваемость сопряженных деталей, а для кинематической резьбы важно обеспечить одностороннее силовое замыкание. Соответственно этим функциональным требованиям выбирают методы контроля, например с использованием калибров. Сортировку шариков подшипников по диаметру можно проводить с использованием клинового калибра (рис. 5.5), выполненного в виде двух расходящихся под углом  $2\alpha$  линеек.

Существует два метода его настройки: первый — по образцовым шарам, расположенным в сечениях  $A_1—A_1$  и  $A_2—A_2$  и имеющих заданные диаметры  $D$  и  $d$  и второй — по блокам концевых мер длины. При настрой-

ке необходимо вводить поправки на размеры блоков, так как геометрия и материал этих образцов отличны от геометрии и материала контролируемых деталей.

### Конструктивные признаки средств измерения и контроля

Установление годности изделия предполагает необходимость контроля, по крайней мере, по двум предельным параметрам — наибольшему и наименьшему. *Наибольший или наименьший предельные параметры* называют проходным или непроходным пределами. Контроль изделия проводят с помощью проходного и непроходного калибров. Такой контроль должен осуществляться с соблюдением принципа конструирования средств измерения и контроля, получившего название «Принцип Тейлора». Принцип Тейлора учитывает, что на оценку годности изделия при контроле деталей могут влиять различные геометрические отклонения параметров: отклонения от круглости, отклонения от параллельности поверхностей, отклонения от соосности, отклонение шага и угла профиля резьбы и др. Взаимодействие измерительного средства с контролируемым объектом может быть точечным, например, сферический наконечник; линейным, например, плоские профильные шаблоны; поверхностным, например калибры — пробки, резьбовые калибры и др. Большинство универсальных и специальных средств измерения и контроля имеют точечный контакт с контролируемым изделием и осуществляют локальный контроль размеров в одном или нескольких сечениях, т.е. не учитывает отличие реальной поверхности от номинальной. Точечный контроль не гарантирует попадания бракованных изделий в годные. При повышении требований к недопустимости попадания в годные бракованных изделий по непроходному пределу контроль усложняется. В настоящее время получили распространение двух- и трехкоординатные измерительные машины. Результат достигается также применением устройств, обеспечивающих последовательный непрерывный контроль с заданным шагом текущего размера детали. На рис. 5.6 показана схема контроля радиусов цилиндрической детали 2, расположенных по винтовой линии. Зубчатое колесо 8 вращает винт 4, в результате чего каретка 7 с преобразователями перемещается в продольном направлении. Шаг  $p$  винтовой линии, на которой расположены контролируемые размеры, равен  $p = z_2 s / z_1$ , где  $s$  — шаг винта;  $z_1$  и  $z_2$  — числа зубьев зубчатых колес 8 и 1. Преобразователи 3 и 6 включены в дифференциальную схему, которая позволяет зафиксировать разность положений контролируемой поверхности детали и предварительно выверенной образцовой линейки 5.

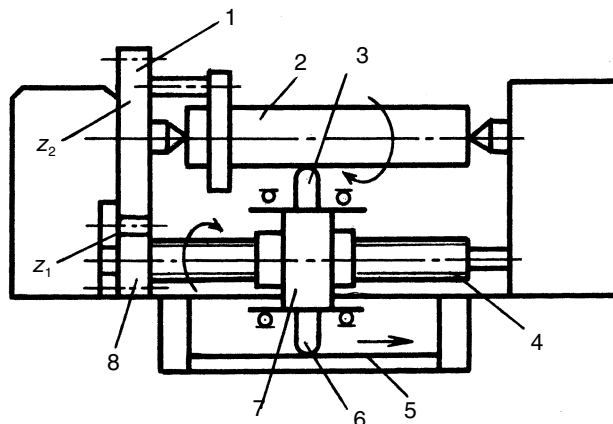


Рис. 5.6. Схема контроля радиусов детали по винтовой линии

Методы, основанные на использовании линейного и поверхностного контактов средств контроля с поверхностью детали, как правило, обеспечивают высокую производительность и универсальность используемых средств измерения, но позволяют надежно отбраковывать детали лишь по проходному пределу. Часто выбор этих методов контроля обусловлен видом технологического процесса, обеспечивающего малые погрешности формы или взаимного положения поверхностей.

Примером соблюдения принципа Тейлора является конструктивное исполнение проходного и непроходного калибров — пробок для контроля цилиндрических отверстий. *Проходной предел* контролируется поверхностным контактом (удлиненная цилиндрическая поверхность), *непроходной предел* — точечным контактом (укороченная цилиндрическая поверхность).

Минимальные погрешности измерения обеспечиваются, если контролируемый геометрический элемент и элемент сравнения находятся на одной линии — линии измерения. Этот принцип конструирования и выбора средств измерения и контроля получил название «Принцип Аббе» по имени исследователя Эрнеста Аббе, впервые предложившего его. Принцип Аббе нашёл широкое применение при выборе измерительных схем и конструировании средств измерения и контроля, а также при проектировании станков и других средств технологического оснащения. Полная реализация принципа Аббе осложняется необходимостью последовательного расположения контролируемого и образцового элемента на одной линии, что, как правило, приводит к увеличению габаритов измерительных средств. Уменьшение габаритов в ряде случаев может быть достигнуто примени-

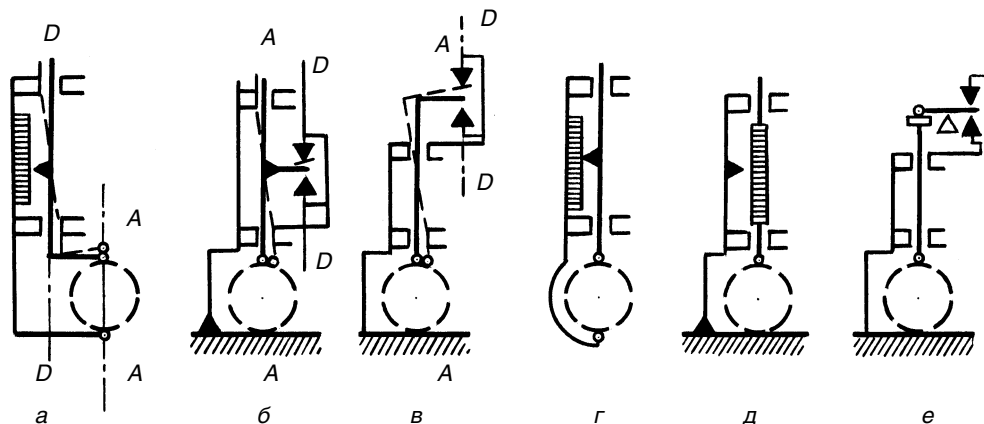


Рис. 5.7. Схемы измерения с полным или частичным соблюдением принципа Аббе

ем параллельного расположения сравнительных элементов. В этом случае также частично соблюдаются условия, позволяющие минимизировать погрешности измерения.

На рис. 5.7, а—е показаны типовые, измерительные схемы с частичным нарушением принципа Аббе, приводящим, вследствие возникающего перекоса штоков в опорах, к появлению погрешностей измерения первого порядка малости. К измерительным средствам, построенным по этим схемам, относятся в частности: а — штангенциркули; б, в — электроконтактные безрычажные преобразователи; г, д — микрометры; е — рычажные электроконтактные преобразователи. Погрешности возникают вследствие несовпадения линий измерения AA с линией сравнения DD. На рис. 5.7, е показана часто применяемая в измерительной технике типовая схема, в которой полностью соблюдается принцип Аббе, к таким приборам относятся, например, длиномер. В случае соблюдения принципа Аббе возникают только погрешности измерения второго порядка малости.

Существенные погрешности вносят зазоры между подвижными элементами средств измерения. На рис. 5.8 представлена схема измерения, в которой зазор между штоком и направляющими находится в пределах  $S_{\max} \div S_{\min}$ . Погрешность измерения можно выразить следующим уравнением

$$\Delta_A = 2S_{\max} h / H \pm \Delta_d, \quad (5.1)$$

где  $\Delta_d = f(R_d, R_k, L, l, H, S_{\max})$ ;  $R_d$  и  $R_k$  — радиусы детали и измерительного наконечника;  $L$  и  $h$  — плечи рычага;  $l$  — расстояние от нижней опоры до контролируемой поверхности детали;  $H$  — расстояние между опорами. В рассматриваемом случае  $\Delta_d$  имеет отрицательный знак:

$$\Delta_d = \sqrt{(R_d + R_k - c^2)} - \sqrt{R_d^2 - c^2} - R_k + (L + R_k)(1 - \cos \alpha); \quad (5.2)$$

$$c = (H/2 + l) \sin \alpha; \quad \sin \alpha = S_{\max}/H,$$

где  $\alpha$  — угол перекоса измерительного штока.

Взаимосвязь геометрических параметров, выраженная формулой (5.1), позволяет определить направления действий при конструировании или выборе средства измерения. Уменьшение погрешности измерения достигается уменьшением плеча рычага  $h$ , увеличением расстояния между опорами  $H$  и тем самым уменьшения зазора в опорах  $S_{\max}$ . Таким образом, выбор схемы *б* (рис. 5.7), при прочих равных условиях, позволяет повысить точность, по сравнению со схемой *в* (рис. 5.7). Схема на рис. 5.7, *б* наряду с большим расстоянием между опорами первой схемы, кроме того, удовлетворяет принципу наикратчайшей размерной цепи (см. соответствующий раздел). В соответствии с этим принципом большая точность измерения получается при наименьшем числе звеньев схемы, а также, в случае равного числа звеньев, при наименьшей протяженности отдельных звеньев в направлении линии измерений. Сравнение схем, представленных на рис. 5.7, *в* и на рис. 5.7, *б*, показывает также, что линейные элементы в схеме *б*

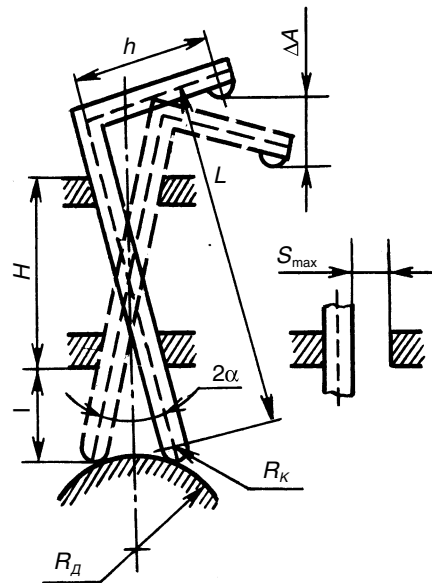


Рис. 5.8. Влияние зазора на погрешность контроля

имеют меньшие силовые и температурные деформации и следовательно меньшую погрешность.

Большое количество средств измерения имеют в своём конструктивном исполнении рычажные передачи, увеличивающие передаточные отношения. Несмотря на то, что в рычажных передачах принцип Аббе не выдерживается, и в этом случае необходимо принимать принцип выбора типов и параметров рычажных передач, при котором соблюдаются определенные требования, например, постоянство передаточного отношения.

Особенностью рычажной передачи является наличие скользящего контакта в точке сопряжения сферы с плоскостью. Как правило, выбирают пару «сфера — плоскость» ввиду возможности выполнения её с высокой точностью. Далее необходимо определить типы рычагов, их число и вид шарнира. В случае выбора рычага со сферами, где сфера расположена на поворотном звене, сопряжение называют *синусным* (синусный рычаг). Если поворотное звено имеет плоскости, с которыми соприкасаются сферы, расположенные на поступательно перемещающихся звеньях, сопряжение называют *тангенсным* (тангенсный рычаг). Для синусного рычага (рис. 5.9, а) основная зависимость, связывающая перемещение  $s$  поступательного звена с длиной рычага  $l$  и углом поворота  $\varphi$ , имеет вид

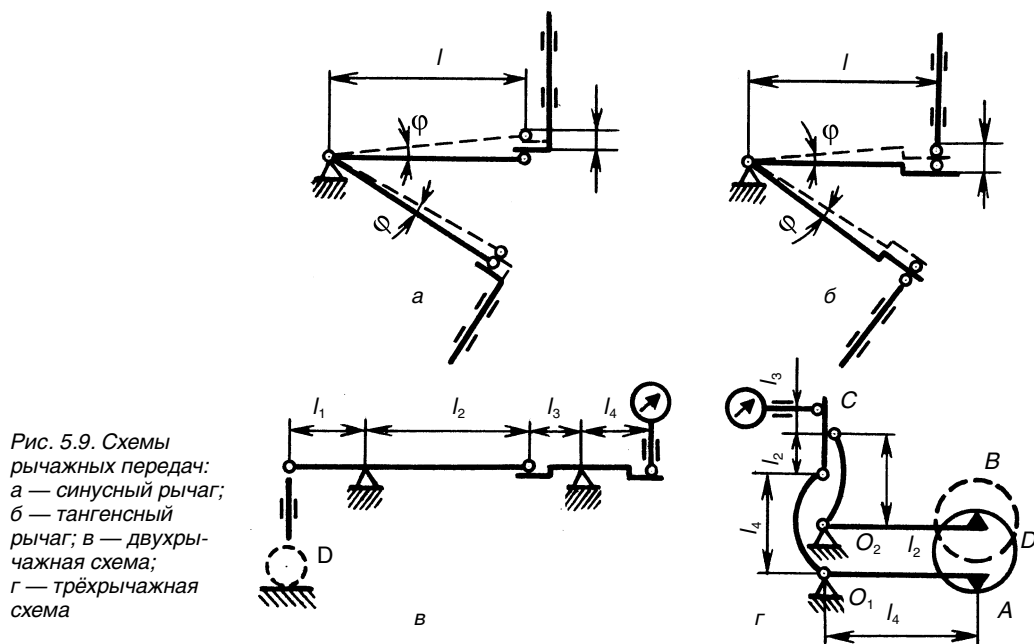
$$s = l \sin \varphi \approx l (\varphi - \varphi^3 / 6 + \dots); \quad (5.3)$$

для тангенсного рычага (рис. 5.9, б)

$$s = l \operatorname{tg} \varphi \approx l (\varphi + \varphi^3 / 3 + \dots). \quad (5.4)$$

В обеих рычажных передачах возникают систематические погрешности, пропорциональные  $\varphi^3$ , но знаки этих погрешностей различны и, кроме того, погрешность тангенсного рычага в 2 раза больше, чем синусного. Для уменьшения влияния систематических погрешностей оба плеча одного и того же рычага необходимо выполнять однотипными: либо синусными, либо тангенсными.

Центры сфер должны быть расположены на теоретическом рычаге в его начальном положении. По технологическим или конструктивным соображениям центры сфер в начальном положении могут быть смещены по отношению к линии теоретического рычага. В этом случае принимают  $a_1/a_2 = l_1/l_2$ , где  $a_1$  и  $a_2$  — смещение центров обоих рычагов;  $l_1$  и  $l_2$  — длины плеч рычагов. Для тангенсных рычагов, в которых рабочие плоскости проходят через ось качения, радиусы сфер выбирают из соотношения  $R_1/R_2 = l_1/l_2$ . При последовательной установке рычагов обоих видов (рис. 5.9, в) и регулировке длины плеч рычагов согласно формулам (5.3) и (5.4)



можно частично компенсировать погрешности. Этот подход используют при проектировании рычажно-зубчатых головок, где выбирают  $l_1/l_2 = 3/2$ ;  $l_3 = l_4$ . При проектировании более сложных рычажных передач, контролирующих изделие в точках А и В (рис. 5.9, г), с суммированием результатов с помощью дополнительных рычагов (например, с плечами  $l_5$  и  $l_6$ ) следует придерживаться принципа равных углов: наивысшая точность и простота двухточечных схем с двумя воспринимающими рычагами ( $l_1$  и  $l_2$ ) достигается при смещении контролируемой детали D в направлении линии измерения АВ и повороте воспринимающих рычагов на одинаковый угол. В трехрычажной схеме (рис. 5.9, г) выходная точка С не реагирует на смещение детали в направлении АВ, вызванном, например, силовыми и температурными деформациями базирующих элементов. Однако точка соприкосновения С измерительной головки с суммирующим рычагом неподвижна, если выдержаны определенные соотношения плеч рычагов:  $l_1 = l_2$ ;  $AB = O_1O_2$  и  $l_4(l_6 - l_5) = l_3 \cdot l_6$ . Например, часто выбирают соотношения  $l_1/l_4 = 1/2$ ;  $l_3/l_2 = 1/3$ ;  $l_5/l_6 = 1/2$ . Сокращение числа промежуточных рычагов при прочих равных условиях (неизменном передаточном отношении и др.) приводит к увеличению точности передачи, поэтому редко изготов-

ляют передачи, использующие более четырех рычагов. Рычажные передачи получили преимущественное распространение не только из-за возможности обеспечения высокой точности измерения, но и вследствие более широких, по сравнению с поступательными парами, конструктивных возможностей по расположению измерительных головок. В ряде случаев используют сочетание поступательных звеньев с рычажными передачами (см. рис. 5.7, е).

Опоры качения и скольжения для поступательно и вращательно перемещающихся пар ввиду низкой точности используют в схемах измерения редко. Вместо рассмотренных передач применяют звенья, подвешенные на плоских пружинах. Пружинные опоры имеют значительно меньшие погрешности, связанные с непостоянством перемещения и поворота. Недостатки подобных передач — относительно небольшие перемещения и возможность потери устойчивости плоских пружин при значительных продольных нагрузках.

### **Средства управляющего контроля**

При выборе измерительных средств необходимо стремиться к возможности автоматизации контроля и совмещения функций контроля с функциями управления технологическими процессами. Такие средства измерения и контроля позволяют предотвратить погрешности, обусловленные изменением параметров процессов обработки, параметров окружающей среды и другими причинами, непосредственно в процессе обработки. Принцип управляющего контроля — совмещения контроля за протекающими с различными скоростями процессами с оперативным управлением этими процессами приводит к необходимости создания и применения автоматизированного оборудования. Необходимым условием создания высокоэффективных средств управляющего контроля является применение компьютерных технологий. В настоящее время становится все сложнее отслеживать отклонения параметров и все сложнее управлять этими параметрами, что вызвано интенсификацией производственных процессов, увеличением скорости их протекания. Технической базой применения принципа управляющего контроля является компьютеризация и создание быстродействующих, точных и надежных средств измерения и автоматики. Принцип совмещения контроля и управления производственным процессом находит все большее распространение в различных отраслях машиностроения, поскольку позволяет совместить требования к высокой производительности или скорости протекания процесса с повышением качественных показателей этого процесса, в том числе точности.

Применение принципа управляющего контроля, как правило, приводит к уменьшению расхода энергии, уменьшению числа операторов, созданию предпосылок комплексной автоматизации всего производственного процесса и т. д. Совершенствование технологического производственного оборудования позволяет увеличить объем информации об объекте производства и повысить число контролируемых параметров. Качество информации тем выше, чем быстрее фиксируется момент изменения контролируемой величины, и чем быстрее она используется для управления. Средства, управляющие контролем, позволяют получить необходимую информацию о контролируемом процессе и оперативно ее использовать для дальнейшего совершенствования самого процесса. При этом контролируются не только основные, но и дополнительные влияющие параметры качества. Контроль за изменением дополнительных параметров позволяет в одних случаях осуществить непосредственную, более точную и быструю коррекцию процесса, а в других — применить полностью автоматические самонастраивающиеся системы, стабильно поддерживающие заданные характеристики при имеющихся внешних и внутренних воздействиях. Автоматический контроль параметров процессов позволяет создавать системы непрерывного управления этим процессом. В этом случае реальная закономерность протекания процессов приближается к номинальной (установленной). Автоматический контроль позволяет выполнять управление не только по отдельному значению параметра, но и по его начальному и текущему значению, а также по характеру или последовательности его изменения. Передача контрольным системам функций управления производственным процессом не исключает сохранения за ними функций автоматической рассортировки изделий по группам качества, поскольку информация об окончательном значении контролируемого параметра уже имеется, например, в памяти компьютера. Качество производственного процесса зависит от качества оборудования и устройств управляющего контроля. Развитие принципа совмещения контроля и управления производственным процессом основано на решении конструкторских, технологических и метрологических задач при создании нового, более совершенного оборудования с применением компьютерных технологий.

Содержание чертежей по каналам связи будет передаваться на технологические центры, в которых методами 3D и 2D проектирования будут разработаны оптимальные с учетом материала, инструмента, приспособлений и оборудования технологические процессы. Затем необходимо спроектировать системы контроля и управления производственными процессами с учетом обеспечения заданного качества. Поскольку качество изделия зависит от качества выбранного материала и заготовок, параметров предварительных процессов и других факторов, контрольное оборудова-

ние должно осуществлять коррекцию и предыдущих технологических операций. Эти процессы являются частью технологической подготовки производства в системе *CALS*-технологий. *CALS* — это средство компьютерных технологий, обеспечивающих создание единой информационной среды для процессов проектирования, производства, контроля и испытаний, поставки и эксплуатации продукции. Управляющий контроль будет основываться на применении технологии представления данных об изделии в электронном виде. При этом необходимо использовать набор методов для представления в электронном виде данных, относящихся к отдельным процессам жизненного цикла изделия.

При автоматизации отдельных процессов ЖЦ изделия используются существующие прикладные программные средства (САПР, АСУП и т.п.), однако к ним предъявляется важное требование — наличие стандартного интерфейса к представляемым им данным. При интеграции всех данных об изделии применяются специализированные программные средства — системы управления данными об изделии (*PDM* — *Product Data Management*). Задачей *PDM*-системы является аккумулирование всей информации об изделии, создаваемой прикладными системами, в единую логическую модель. Процесс взаимодействия *PDM*-системы и прикладных систем строится на основе стандартных интерфейсов. Это позволяет шире использовать средства контроля для управления производственными процессами для обеспечения качества выпускаемой продукции; исключения аварийных ситуаций и предотвращения условий, способствующих их возникновению; защиты окружающей среды и др.

### 5.3. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

Обработка результатов измерений статистическими методами применяется на практике для решения следующих задач: а) определение соответствия параметров технологического процесса заданной точности изделия; б) установление технологического допуска при обработке; в) определение точностных характеристик установочных и выборочных партий деталей, с целью контроля и управления качеством продукции; г) установление фактического рассеяния показателей качества однотипных изделий и др. Результаты измерений получаются путём соответствующей обработки показаний, полученных с помощью средств измерения. При этом вводятся следующие понятия: *результат наблюдения* — значение величины отсчёта показаний средства измерений, полученное при отдельном измерении; *результат измерения* — значение величины, полученное после обработки результатов наблюдений.

При изготовлении партии деталей неизбежно происходит рассеяние их геометрических и физико-механических параметров. Поэтому результаты измерения параметров конкретной детали являются *случайными величинами*. Вследствие этого для обработки результатов наблюдений при измерениях используют методы теории вероятностей и математической статистики, позволяющие находить статистические параметры эмпирического распределения, а также устанавливать параметры теоретического распределения, наиболее близко подходящие к описанию эмпирического распределения. При изготовлении и проведении измерений возникают систематические и случайные погрешности. *Систематическими* называют погрешности, постоянные по величине и знаку или изменяющиеся по определенному закону в зависимости от действия определённых заранее предсказуемых причин. Систематические погрешности, например, могут быть следствием действия таких факторов как: неточная настройка оборудования, погрешности измерительного прибора и приспособления, отклонение рабочей температуры от нормальной, силовых деформаций и др. Систематические погрешности измерений могут возникать также из-за ошибки установочной меры, отсчета по неправильно градуированной шкале и др. Перечисленные погрешности при сохранении условий опыта имеют одну и ту же величину для каждой изготовленной или измеренной детали в партии. Поэтому их относят к постоянным систематическим погрешностям. В тоже время имеют место изменяющиеся во времени систематические погрешности, например: возрастающая погрешность обработки, вызываемая износом режущего инструмента, изменение температуры окружающей среды и др.

Во многих случаях причины систематических погрешностей могут быть обнаружены и устранены. Систематические погрешности измерения могут быть полностью или частично устранены, например, при помощи поправочной таблицы к неправильно градуированной шкале прибора или путем определения средней арифметической величины из нескольких отсчетов в противоположащих положениях, например, при измерении шага и половины угла профиля резьбы. Систематические погрешности изготовления, которые трудно устранить, должны учитываться допуском на размер и форму детали.

*Случайными* называют переменные по величине и знаку погрешности, которые возникают при изготовлении или измерении и принимают то или иное числовое значение в зависимости от ряда случайно действующих причин. Характерным их признаком является вариация значений, принимаемых ими в повторных опытах. Эти погрешности вызываются множеством неменяющихся случайным образом факторов, таких как припуск на обработку, механические свойства материала, сила резания, измерительная

сила, различная точность установки деталей на измерительную позицию и другие, причем в общем случае ни один из этих факторов не является доминирующим. Погрешности изготовления и измерения являются случайными величинами. Примеры случайных величин: размеры деталей при обработке, зазоры в подвижных соединениях, результаты повторных измерений одной и той же величины и т.п. Случайные погрешности трудно устранить, поэтому их влияние учитывают при назначении допуска на размер или на какой-либо другой параметр. Появление того или иного числового значения случайной величины в результате измерений рассматривается как случайное событие. То же самое происходит при проведении, каких либо испытаний продукции, например, для установления его показателей качества.

Отношение числа  $n$  случаев появления случайной величины или события  $A$  к числу  $N$  всех произведенных испытаний, при которых это событие могло появиться, называют *частотой*, или относительной частотой  $W(A) = n/N$ .

При достаточно большом числе испытаний  $N$  обнаруживается устойчивость значения указанного отношения для большинства случайных событий. Величина  $W(A)$  для события  $A$  будет колебаться около некоторого постоянного числа, равного единице. Это число, всегда меньшее единицы, называют *вероятностью*  $P(A)$  появления события  $A$ , т. е.  $P(A)$  является мерой объективной возможности появления события  $A$ . Вероятность достоверного события равна единице, невозможного события — нулю.

За приближенное значение вероятности  $P(A)$  события  $A$  при достаточном числе испытаний можно принимать частоту

$$P(A) \approx W(A) = n/N. \quad (5.5)$$

Частота  $W(A)$  отличается от вероятности  $P(A)$  тем, что представляет собой случайную величину, которая в различных сериях однотипных испытаний может принимать в зависимости от случайных факторов различные значения, тогда как вероятность  $P(A)$  представляет постоянное для каждого данного события число, определяющее в среднем частоту его появления в опытах.

По мере увеличения  $N$  частота приближается к вероятности. Зависимость между числовыми значениями случайной величины и вероятностью их появления устанавливается законом распределения вероятностей случайных величин. Закон распределения вероятностей дискретной случайной величины можно представить в виде таблицы или графика, показывающего, с какой вероятностью случайная величина  $X$  принимает то или иное числовое значение  $x_i$ . Закон распределения вероятностей непрерывной случайной величины, которая может принимать любое значение в пределах заданного интервала нельзя представить в виде таблицы. За-

кон распределения представляют в виде дифференциальной функции распределения или плотности распределения вероятности  $p_x(x)$ . Эта функция представляет собой предел отношения вероятности того, что случайная величина  $X$  примет значение, лежащее в интервале от  $x$  до  $x + \Delta x$ , к величине интервала  $\Delta x$  при  $\Delta x$ , стремящемся к нулю. Характер рассеяния достаточно большой совокупности значений случайной величины, как правило, соответствует определённому теоретическому закону распределения.

Рассеяние значений случайной величины, изменение которой зависит от большого числа факторов, когда ни один из факторов не имеет преобладающего влияния, подчиняется *закону нормального распределения вероятностей (закону Гаусса)*, показанного на рис 5.10.

Этому закону с некоторым приближением может подчиняться: рассеяние погрешностей изготовления, погрешности измерения линейных и угловых размеров, а также массы деталей, величин твердости и других механических и физических величин. Закон нормального распределения имеет следующие свойства: а) вероятность появления положительных и отрицательных погрешностей одинакова; б) малые по величине погрешности имеют большую вероятность появления, чем большие; в) алгебраическая сумма отклонений от среднего значения равна нулю.

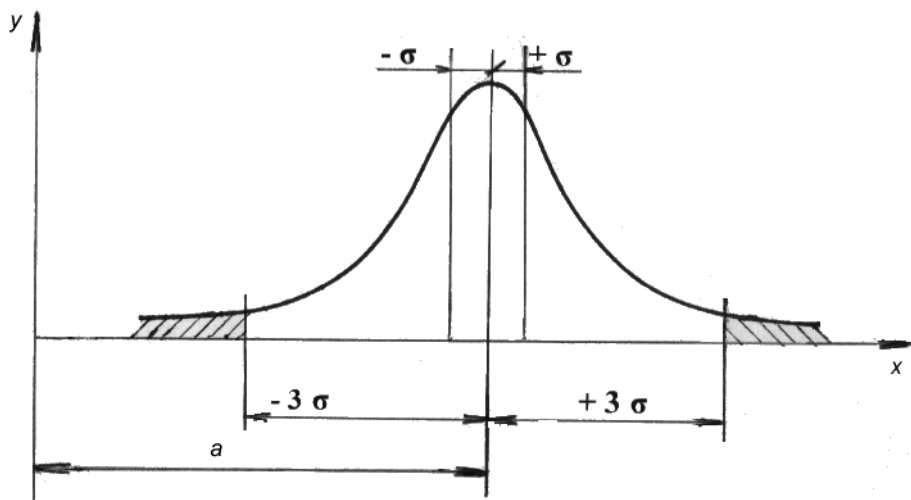


Рис. 5.10. Кривая плотности вероятности нормального распределения

Зависимость плотности вероятности определяется уравнением:

$$y = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-a)^2}{2\sigma^2}}, \quad (5.6)$$

где  $a$  и  $\sigma$  — параметры распределения;  $x$  — аргумент функции плотности вероятности, т.е. случайная величина, изменяющаяся в пределах  $-\infty < x < +\infty$ ;  $e$  — основание натуральных логарифмов.

Нормальное распределение представляет собой кривую симметричную относительно оси ординат. Величина  $a$  равна *математическому ожиданию*  $MX$  случайной величины  $X$ , определяемому по формулам:

для дискретной величины

$$MX = \sum_{i=1}^k x_i p(x_i), \quad (5.7)$$

где  $x_i$  — возможное значение дискретной случайной величины;  $p(x_i)$  — вероятность значения  $x_i$  дискретной случайной величины;

для непрерывных величин

$$MX = \int_{-\infty}^{+\infty} x p_X(x) dx, \quad (5.8)$$

где  $p_X(x)$  — плотность вероятности непрерывной случайной величины  $X$ .

Значение  $MX$  характеризует положение центра группирования случайных величин, около которого располагаются, например, размеры большинства деталей в партии. При отсутствии систематических погрешностей в результатах многократных измерений одной и той же величины в одних и тех же условиях, математическое ожидание можно рассматривать как наибольшее приближение к истинному значению измеряемой величины.

При анализе характера рассеяния размеров деталей, обрабатываемых на станке, математическое ожидание можно рассматривать как размер, на который был настроен станок.

Величину рассеяния значений случайной величины относительно центра группирования определяет параметр  $\sigma$ , который называют *средним квадратическим отклонением* случайной величины, его определяют по формулам:

для дискретной величины

$$\sigma_X = \sqrt{\sum_{i=1}^k (x_i - MX)^2 p(x_i)}, \quad (5.9)$$

для непрерывной величины

$$\sigma_X = \sqrt{\int_{-\infty}^{+\infty} (x - MX)^2 p_X(x) dx} \quad (5.10)$$

Рассеяние случайных величин характеризуется также дисперсией  $DX = \sigma_X^2$ . Формула (5.6) выражает уравнение кривой, если начало отсчета расположено на оси  $x$  произвольно. При совпадении центра группирования с началом отсчета величины  $x$  уравнение кривой нормального распределения будет иметь вид

$$y = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}}. \quad (5.11)$$

В тоже время существуют другие законы распределения, описывающие случайные величины, природа возникновения которых имеет несколько иной характер. В рассматриваемом случае необходимо упомянуть *закон Максвелла*, которому подчиняются существенно положительные величины, например: рассеяние значений эксцентриситета, радиальное и торцевое биения, отклонения от соосности, дисбаланс и другие величин, которые не могут принимать отрицательные значения. Для оценки надёжности работы изделий используют *закон Вейбулла*, который даёт представление о вероятности отказов, получили распространение также *закон Симпсона* или *закон треугольника* и *закон равной вероятности*.

Однако, для обработки результатов наблюдений в основном применяют закон нормального распределения — закон Гаусса, который здесь и будем рассматривать.

*Вероятность попадания величины в заданный интервал* можно определить следующим образом.

Ветви теоретической кривой нормального распределения (рис. 5.10) уходят в бесконечность, асимптотически приближаясь к оси абсцисс. Площадь, ограничиваемая кривой и осью абсцисс, равна вероятности того, что случайная величина, например, погрешность размера, лежит в интервале  $\pm\infty$ . Площадь под кривой распределения равна 1 или 100%, она определяется интегралом

$$\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{+\infty} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}} dx = 1 \quad (5.12)$$

Начало координат расположено в точке, совпадающей с центром группирования.

Так как подинтегральная функция четная и кривая симметрична относительно максимальной ординаты, можно записать

$$\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_0^{+\infty} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}} dx = 0,5 \quad (5.13)$$

Для выражения случайной величины  $x$  в долях ее  $\sigma$  примем:

$x/\sigma = z$ , откуда  $x = \sigma z$ ,  $dx = \sigma dz$ .

В этом случае абсцисса на рис. 5.11 будет выражена в долях  $\sigma$ .

Если принять за пределы интегрирования 0 и  $z$ , то интеграл в выражении (5.12) будет функцией  $z$ , т.е.

$$\Phi_0(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^z e^{-\frac{z^2}{2}} dz. \quad (5.14)$$

Функцию  $\Phi_0(z)$  называют *нормированной функцией Лапласа*:

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

Из формулы (5.13) и рис. 5.11 следует, что площадь, ограниченная отрезком  $-z_1 + z_1$  оси абсцисс, кривой плотности вероятности и двумя ординатами, соответствующими границам отрезка, представляет собой вероятность попадания случайной величины  $z_1$  в данный интервал.

В Приложении 1 приведены данные для функции  $\Phi_0(z)$ , пользуясь которыми можно определить вероятность того, что случайная величина  $x$ , выраженная через  $\sigma$ , будет находиться в пределах того или иного интервала  $\pm z_1\sigma$ . Например, находим, что при  $z_1 = 3$ , что соответствует случайной величине  $x = 3\sigma$   $\Phi_0(3) = 0,49865$  или  $\Phi_0(-3) - \Phi_0(3) = 2\Phi_0(3) = 0,9973$ .

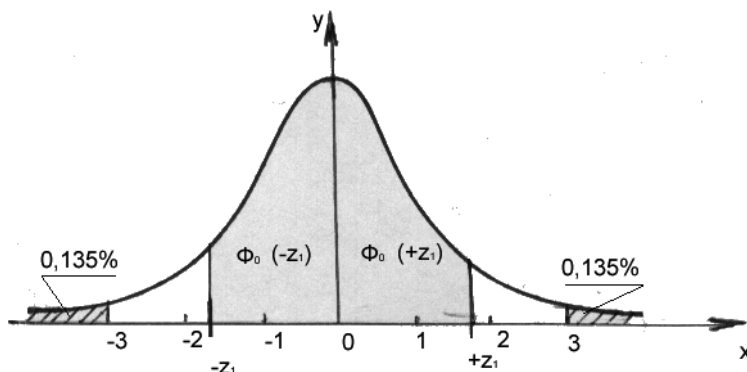


Рис. 5.11. Кривая нормального распределения и иллюстрация подинтегральных функций

Так как площадь, ограниченная кривой Гаусса и осью абсцисс, равна 1, то площадь, лежащая за пределами значений  $x = \pm 3\sigma$ , равна  $1 - 0,9973 = 0,0027$  и расположена симметрично по 0,00135 или по 0,135% справа и слева относительно оси  $y$  (см. рис. 5.11). Следовательно, с вероятностью, близкой к единице, можно утверждать, что случайная величина  $X$  не будет выходить за пределы  $\pm 3\sigma$ . Поэтому при распределении случайной величины по закону Гаусса поле рассеяния равно  $V_{\text{lim}} = 6\sigma$  или диапазон  $\pm 3\sigma$  считают за практически предельное поле рассеяния случайной величины и принимают за норму точности — допуск. При этом вероятность выхода случайной величины за пределы значений  $\pm 3\sigma$  равна 0,0027 или 0,27%.

В условиях производства из-за ограниченности числа измерений при обработке вместо математического ожидания и дисперсии получают их приближенные статистические оценки — соответственно эмпирическое среднее  $\bar{x}$  и эмпирическую дисперсию  $s^2$ , характеризующие средний результат измерений и степень рассеяния результатов. Эти оценки определяют по формулам:

$$\bar{x} = \frac{x_1 n_1 + x_2 n_2 + \dots + x_k n_k}{n_1 + n_2 + \dots + n_k} = \sum_{i=1}^k x_i \frac{n_i}{N} \quad (5.15)$$

$$s \approx \sqrt{\sum_{i=1}^k (x_i - \bar{x})^2 \frac{n_i}{N}} \quad (5.16)$$

В этих выражениях  $x_i$  — значение, соответствующее середине  $i$ -го интервала, а  $k$  — число интервалов. Чем меньше величина  $s$ , тем выше точность процесса изготовления или измерения, т. е. тем меньше величины случайных погрешностей. Поэтому параметр  $s$  используют в качестве меры точности процесса изготовления или при повторных измерениях одной и той же величины в качестве меры точности метода измерения.

Рассмотрим совокупность случайных величин, подчиняющихся закону нормального распределения и критериев, при помощи которых можно установить, что рассматриваемое эмпирическое распределение наилучшим образом соответствует именно этому закону. Ограничимся случаем, когда при контроле в партии деталей какого-либо размера мы рассматриваем совокупность значений дискретной случайной величины, т. е. совокупность действительных значений размера или значений погрешностей размера.

*Рассмотрим примеры обработки результатов измерения*

Методику статистической обработки результатов наблюдений рассмотрим на примере измерения дискретных размеров валов  $\varnothing 12 \text{ h}10_{(-0,07)}$ , обработанных на токарном станке. Размер выборки из генеральной совокуп-

ности (объём всей партии) примем равным  $N = 200$ . Измерения проводим на приборах типа длиномер или оптиметр с ценой деления 0,001 мм. Обработку результатов проводим в ручную — без применения компьютера. Пример обработки на ПК см. Приложение 2.

Анализируя результаты наблюдений, приходим к выводу, что среди них встречаются значения существенно отличающиеся от большинства результатов, они являются промахами или грубыми ошибками. Такие наблюдения могут быть вызваны невнимательностью контролера, попаданием в выборку посторонних деталей, а также другими причинами, нарушающими нормальные условия получения опытных данных. Следует иметь в виду, что эти наблюдения визуально резко отличаются от среднего результата для данной выборки. При наличии промахов причины их должны быть проанализированы и устранены. Наблюдение, которое является промахом, исключают из совокупности, а остающиеся наблюдения снова обрабатывают и получают новые значения,  $\bar{x}$  и  $s$ , после чего проводят дальнейший анализ результатов и исключают другие промахи, пользуясь критериями Колмогорова, Ирвина или другими. При предварительных расчетах исключают погрешности, т.е. отклонения от  $\bar{x}$ , превосходящие по абсолютной величине  $3\sigma$ .

Полученные после предварительного анализа результаты наблюдения располагаем в возрастающем порядке, тем самым образуем *вариационный ряд*.

Находим из всего числа наблюдений максимальное и минимальное значения  $d_{\max}$  и  $d_{\min}$ , находим размах. В нашем примере минимальное значение наблюдаемого размера равно 11,915 мм, а максимальное равно 12,005 мм, тогда размах  $R$ , равный разности полученных предельных значений, равен:  $R = d_{\max} - d_{\min} = 12,005 - 11,915 = 0,09$  мм. Далее вариационный ряд разбиваем на  $k$  интервалов. Число интервалов  $k$  в определённой степени зависит от объёма выборки  $N$  и может быть принято по следующим рекомендациям:  $5 < k < 7$ , при  $N < 40$ ;  $7 < k < 9$ , при  $40 < N < 100$ ;  $9 < k < 12$ , при  $100 < N < 500$ , кроме того при небольшом числе интервалов удобным выбирать нечётное  $k$ . Из представленных рекомендаций видно, что значения существенно перекрываются и выбор числа интервалов не является определяющим, таким образом рекомендации носят ориентировочный характер. Примем  $k = 9$ , тогда величина интервала равна  $R/k = 0,09/9 = 0,01$  мм, а половина интервала равна  $0,5R/k = 0,005$  мм. Находим значения середин интервалов и образуем *интервальный ряд*, для чего к  $d_{\min}$  прибавим значение  $0,5R/k$ , к полученному значению прибавим снова  $0,05R/k$  и так далее, получим в итоге  $d_{\max} - 0,5R/k$ , т.е. 12,000 мм. Далее находим количество наблюдений попавших в каждый из интервалов, например, в интервал 11,935÷11,945 попало 20 результатов; в интер-

вал 11,975÷11,985 попало 12 результатов наблюдений и т.д. Следует иметь в виду, что значения, попавшие на границу интервала, включают в левый интервал. Число наблюдений, попавших в данный интервал, называют *частотой*. Порядок обработки результатов и пример оформления расчётов приведён в табл. 5.2. Значения  $\bar{x}$  и  $s$  определяются по формулам 5.15 и 5.16.

$$\bar{x} = (11,920 \cdot 2 + 11,930 \cdot 6 + \dots + 12,000 \cdot 2) / 200 = 11,96 \text{ мм}$$

$$s = \sqrt{(-0,04)^2 \cdot 0,01 + (-0,03)^2 \cdot 0,03 + \dots + (+0,04)^2 \cdot 0,01} \approx 0,015 \text{ мм}$$

Таблица 5.2

**Пример обработки результатов измерения**

| Интервалы действительных размеров $d_i$ , мм | Среднее значение $x_i$ интервала, мм | Число $n_i$ деталей в интервале | Отклонение от среднего значения $v_i = x_i - \bar{x}$ , мм      | Частота $n_i / N$          |
|----------------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------------------------------------|----------------------------|
| От 11,915 до 11,925                          | 11,920                               | 2                               | —0,04                                                           | 0,01                       |
| Свыше 11,925 » 11,935                        | 11,930                               | 6                               | —0,03                                                           | 0,03                       |
| » 11,935 » 11,945                            | 11,940                               | 20                              | —0,02                                                           | 0,10                       |
| » 11,945 » 11,955                            | 11,950                               | 48                              | —0,01                                                           | 0,24                       |
| » 11,955 » 11,965                            | 11,960                               | 56                              | 0,00                                                            | 0,28                       |
| » 11,965 » 11,975                            | 11,970                               | 34                              | +0,01                                                           | 0,17                       |
| » 11,975 » 11,985                            | 11,980                               | 20                              | +0,02                                                           | 0,10                       |
| » 11,985 » 11,995                            | 11,990                               | 12                              | +0,03                                                           | 0,06                       |
| » 11,995 » 12,005                            | 12,000                               | 2                               | +0,04                                                           | 0,01                       |
| $\bar{x} = 11,96$                            | —                                    | $N = 200$                       | $\sum_i v_i = \begin{bmatrix} +0,10 \\ -0,10 \end{bmatrix} = 0$ | $\sum_i \frac{n_i}{N} = 1$ |

Характер рассеяния значений случайной величины, которой в рассматриваемом примере является действительный размер вала, более наглядно определяется *гистограммой*, состоящей из прямоугольников, высота которых равна частоте, а основание величине интервала. Рассеяние определяется также эмпирической кривой распределения, которую называют *полигоном распределения* (рис. 5.12). Графическое представление результатов при ручной обработке удобно выполнять на миллиметровой бумаге. По оси абсцисс откладывают интервалы действительных размеров валов, а по оси ординат — высоты прямоугольников, равные частотам. Расстояния по оси абсцисс и по оси ординат для лучшей наглядности рекомендуется откладывать в отношении равном 0,8÷1,0. На рис. 5.12 представлены полигон и гистограмма распределения размеров валов, также расположение поля допуска отражающего требования к точности по чертежу, как можно



Рис. 5.12. Гистограмма и полигон распределения случайной величины

видеть эмпирические результаты несколько не совпадают с требованиями технической документации, что в принципе так и должно быть. Например, несовпадение координаты середины поля допуска с эмпирическим центром группирования рано 0,005 мм, а размах превышает допуск на величину равную  $0,09 - 0,07 = 0,02$  мм.

Для заключения о годности партии необходимо провести анализ полученных результатов по следующим признакам: соответствие эмпирического распределения закону нормального распределения; оценка доверительных вероятностей эмпирических параметров; установление технологических допусков.

Анализ результатов измерения случайных величин становится возможным, если знать, какому теоретическому закону распределения вероятностей случайной величины соответствует эмпирическое распределе-

ние. Исходя из формы эмпирической кривой и из значений эмпирических параметров, выдвигается гипотеза о соответствии ее тому или иному теоретическому закону распределения. Следует иметь в виду важность графического представления формы эмпирической кривой, на которую влияют, кроме всего прочего, выбор числа интервалов и соотношение значений по осям абсцисс и ординат.

Соответствие эмпирического распределения предполагаемому теоретическому распределению устанавливается на основании критериев  $\chi^2$  по ГОСТ 11.006—74, например критерия Колмогорова.

Сравнение характеристик эмпирического и теоретического распределений проводят следующим образом. Рассматривают значения параметров эмпирического и принятого теоретического распределений. Параметры  $\bar{x}$  и  $s$ , определённые по данным выборки, дают лишь приближенную характеристику точности генеральной совокупности исследуемых объектов. Характеристикой рассеяния значений случайной величины в генеральной совокупности служат математическое ожидание  $MX$  и среднее квадратическое отклонение  $\sigma$ . Между вероятностными характеристиками  $MX$  и  $\sigma$  и эмпирическими значениями  $\bar{x}$  и  $s$  различия заключаются в том, что первые рассматриваются как постоянные неизвестные величины, характеризующие распределение генеральной совокупности, а вторые являются случайными величинами, определенными из выборочной совокупности и дают лишь приближенную оценку  $MX$  и  $\sigma$ . С увеличением объема выборки и числа наблюдений, разница между  $MX$  и  $\bar{x}$ , а также между  $\sigma$  и  $s$  уменьшается. Обработка результатов наблюдений выборки заданного объема, позволяет установить границы, внутри которых с определенной, вероятностью, будут находиться значения параметров генеральной совокупности. Степень этого доверия или так называемый *доверительный интервал* выбирают исходя из технических требований на показатели качества функционирования изделия. Границы доверительного интервала определяют *доверительную вероятность*, которая характеризует надёжность принятого результата. Для нормального распределения таким доверительным интервалом, например, для математического ожидания  $MX$  будет интервал, имеющий границы  $MX$ , равные  $\pm 3\sigma_{\bar{x}}$ , где  $\sigma_{\bar{x}}$  — среднее квадратическое отклонение для распределения величин  $\bar{X}$ . Так как  $\sigma_{\bar{x}} = \frac{s_i}{\sqrt{N-1}}$ , то границами доверительного интервала будут  $\bar{X} \pm \frac{3}{\sqrt{N-1}} s_i$ .

Из Приложения 1 значений  $\Phi_0(z)$  находим, что в границах  $\pm z_1 = \pm 3\sigma$  лежит 99,73% всех значений случайной величины  $X$ , выраженной через  $z$ , так как  $2\Phi_0(3) = 2 \cdot 0,49865 = 0,9973$ . Таким образом, с надёжностью 0,9973 можно утверждать, что значение  $MX$  лежит в интервале  $X \pm 3\sigma_{\bar{x}}$ .

Так как  $x$  и  $s$  — случайные величины, то доверительные интервалы, как это следует из приведенного выше расчета, зависят от множителя, при  $\sigma_{\bar{x}}$ , который обозначим для общего случая через  $z$ . Очевидно, надежность того, что значение  $MX$  лежит в пределах  $X \pm z\sigma_{\bar{x}}$ , будет больше, чем 0,9973, если  $z > 3$ , и меньше, чем 0,9973, при  $z < 3$ . Обычно задаются надежностью, равной одной из следующих величин: 0,90; 0,95; 0,99; 0,999, что соответствует значениям  $z$ , равным 1,645; 1,96; 2,576 и 3,291.

Рассмотрим *пример*. Примем, что рассмотренное выше распределение погрешностей изготовления валов, являющееся выборкой объемом  $N = 200$ , имеет нормальное распределение, тогда

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{s_i}{\sqrt{N-1}} = \frac{0,015}{\sqrt{199}} \approx 0,001 \text{ мм.}$$

Доверительный интервал для  $MX$  определяют по формуле

$$\bar{x} - z\sigma_{\bar{x}} < MX < \bar{x} + z\sigma_{\bar{x}}$$

Тогда с надежностью 0,9 или 90% можно ожидать, что

$$11,96 - 1,645 \cdot 0,001 < MX < 11,96 + 1,645 \cdot 0,001 \text{ или } 11,958 < MX < 11,962.$$

Для выборок, малых объемом, множитель  $z$  должен быть заменён множителем  $t_{\alpha}$ , который находят по табл. 5.3 по распределению Стьюдента. Значения  $t_{\alpha}$  зависят от объема выборки, т. е. от  $N - 1$  пользуясь этими таблицами, можно получить, например, что при  $N = 20$  и надежности 0,9 коэффициент  $t_{\alpha} = 1,73$ ; при том же значении  $N$  и надежности 0,95; 0,99 и 0,999 величина  $t_{\alpha}$  будет равна соответственно 2,09; 2,86; 3,88. Выбор надёжности определяется объектом производства, например: для изделий общего назначения можно принять надёжность 0,9; для изделий повышенной надёжности — 0,95; для авиационной техники — 0,99; наконец — 0,999 или как говорят: «три девятки» для особо ответственных изделий, нарушение работоспособности которых представляет собой опасность для жизнедеятельности людей.

Таким образом, если бы значения  $\bar{x} = 11,96$  и  $s = 0,015$  были получены из выборки объемом 20 шт., а не 200 шт., как это было показано в предыдущем примере, то при заданной надежности 0,9 границы доверительного интервала были бы следующими

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{s_i}{\sqrt{N-1}} = \frac{0,015}{\sqrt{19}} \approx 0,003 \text{ мм;}$$

$$11,96 - 1,73 \cdot 0,003 < MX < 11,96 + 1,73 \cdot 0,003 \text{ или } 11,955 < MX < 11,965.$$

При надежности «три девятки» получили доверительный интервал значительно больший

$$11,96 - 3,88 \cdot 0,003 < MX < 11,96 + 3,88 \cdot 0,003 \text{ или } 11,948 < MX < 11,972.$$

Таблица 5.3

**Значение коэффициента Стьюдента  
при разной доверительной вероятности  $P$**

| Число наблюдений | Значение коэффициента Стьюдента при доверительной вероятности $P$ |      |       |       |       | Число наблюдений | Значение коэффициента Стьюдента при доверительной вероятности $P$ |      |      |      |      |
|------------------|-------------------------------------------------------------------|------|-------|-------|-------|------------------|-------------------------------------------------------------------|------|------|------|------|
|                  | 0,50                                                              | 0,90 | 0,95  | 0,98  | 0,99  |                  | 0,50                                                              | 0,90 | 0,95 | 0,98 | 0,99 |
| 2                | 1,00                                                              | 6,31 | 12,71 | 31,82 | 63,66 | 10               | 0,70                                                              | 1,84 | 2,26 | 2,76 | 3,25 |
| 3                | 0,82                                                              | 2,92 | 4,30  | 6,96  | 9,92  | 15               | 0,69                                                              | 1,76 | 2,14 | 2,60 | 2,98 |
| 4                | 0,77                                                              | 2,35 | 3,18  | 4,54  | 5,84  | 20               | 0,69                                                              | 1,73 | 2,09 | 2,53 | 2,86 |
| 5                | 0,74                                                              | 2,13 | 2,78  | 3,75  | 4,60  | 30               | 0,68                                                              | 1,70 | 2,04 | 2,46 | 2,76 |
| 6                | 0,73                                                              | 2,01 | 2,57  | 3,65  | 4,03  | 60               | 0,68                                                              | 1,67 | 2,00 | 2,39 | 2,66 |
| 7                | 0,72                                                              | 1,94 | 2,45  | 3,14  | 3,71  | 120              | 0,68                                                              | 1,66 | 1,98 | 2,36 | 2,62 |
| 8                | 0,71                                                              | 1,90 | 2,36  | 2,97  | 3,50  | $\infty$         | 0,67                                                              | 1,65 | 1,96 | 2,33 | 2,58 |
| 9                | 0,71                                                              | 1,86 | 2,31  | 2,90  | 3,36  |                  |                                                                   |      |      |      |      |

При уменьшении объема выборки и увеличении требуемой надежности величина доверительного интервала будет возрастать, т. е. границы возможных значений величины  $MX$  будут расширяться.

Аналогично могут быть определены доверительные интервалы для значения  $\sigma_{\bar{x}}$ .

В ГОСТ 11.004—74 дан уточненный метод определения доверительных границ. Так, для определения доверительных границ генеральной средней при неизвестной генеральной дисперсии заданы односторонними доверительными вероятностями  $\gamma_1$  и  $\gamma_2$ . Обычно задают  $\gamma_1 = \gamma_2$ . В этом случае двусторонняя доверительная вероятность  $\gamma^* = \gamma_1 + \gamma_2 - 1$  при условии, что  $\gamma_1 > 0,5$ ;  $\gamma_2 > 0,5$ . Значение  $\gamma$  выбирают из ряда 0,80; 0,90; 0,95; 0,975; 0,990; 0,995; 0,9975; 0,9990.

Верхнюю и нижнюю границы доверительного интервала находят по формулам  $a_b = \bar{x} + \varepsilon$ ;  $a_n = \bar{x} - \varepsilon$ ; где  $\varepsilon = t_\gamma s / \sqrt{N}$ . Значение  $t_\gamma$  по заданной односторонней доверительной вероятности  $\gamma$  и  $k = N - 1$  находят по ГОСТ 11.004—74,

Для рассмотренного выше примера  $\bar{x} = 11,96$ ;  $s = 0,015$  мм. Задавая  $\gamma = 0,9975$  по ГОСТ 11.004—74 для  $k = 200 - 1 = 199$ ,  $t_\gamma = 2,837$ , как результат интерполяции между значениями  $k = 150$  и  $k = 200$ , получим  $\varepsilon = 2,837 \cdot 0,015 / \sqrt{200} \approx 0,003$  мм, откуда  $a_b = \bar{x} + \varepsilon = 11,96 + 0,003 = 11,963$  мм и  $a_n = \bar{x} - \varepsilon = 11,96 - 0,003 = 11,957$  мм или  $11,963 < MX < 11,957$ .

*Пример* обработки результатов наблюдений на компьютере представлен в Приложении 2.

## 5.4. МЕТОДЫ СУММИРОВАНИЯ ПОГРЕШНОСТЕЙ

При нормировании точности технологического процесса или процесса измерения, а также при анализе действительной точности этих процессов возникает задача суммирования погрешностей, т.е. получение суммарной погрешности. Возникает также задача разложения полученной в результате измерения суммарной погрешности на отдельные составляющие. Вторая задача является более сложной и не всегда имеет единственное, т.е. вполне определенное, решение.

Методы суммирования погрешностей различны в зависимости от вида погрешностей, т.е. в зависимости от того, являются ли погрешности величинами скалярными, векторными, постоянными или переменными, изменяющимися по экспоненциальному закону, убывающими, возрастающими или изменяющимися по периодическому закону. Кроме того, следует различать, являются ли для данного процесса суммируемые погрешности случайными или систематическими. Поставленную задачу невозможно решить путем вывода какой-либо общей универсальной формулы, поэтому рассмотрим вопросы суммирования отдельных конкретных видов погрешностей, а также рассмотрим некоторые вопросы анализа суммарных погрешностей.

Систематические постоянные погрешности должны входить в суммарную погрешность полностью с учетом знака, т.е. должны суммироваться алгебраически. Систематические переменные погрешности в том случае, если определяется наибольшая величина суммарной погрешности, должны суммироваться с тем знаком, при котором абсолютная величина суммы увеличивается. Так, например, если сумма остальных слагаемых отрицательна, то в неё следует включать наибольшее по абсолютной величине отрицательное значение систематической погрешности, если она такое значение имеет или наименьшие по абсолютной величине положительные значения, если они их принимают.

При проведении расчетов считаем погрешностью  $\Delta x_i$  величины  $x_i$  её отклонение от среднего значения  $\bar{x}$ . Таким образом, в дальнейшем будем полагать, что возможные для величины  $x_i$  погрешности будут  $+\Delta x_i$  и  $-\Delta x_i$ , а диапазон изменения погрешности равен  $2\Delta x_i$ . Это условие учитывается во всех расчетах, так например, если в расчете участвуют величины диаметров валов  $d_0 = 12_{-0,07}$ , следует считать, что возможны наибольшие по абсолютной величине погрешности, т.е. отклонения от среднего размера, равные  $+0,035$  и  $-0,035$ .

Согласно уравнению  $V_{\text{lim}} = 6\sigma$  можно считать, что при нормальном распределении с вероятностью, равной 0,9973, предельная случайная погрешность измерения  $\Delta_{\text{lim}} = \pm 3\sigma \approx \pm 3s$ .

Предельная погрешность для совокупности, состоящей из среднеарифметических значений, равна  $\Delta_{\text{lim } \bar{X}} = \Delta_{\text{lim}} / \sqrt{N}$ , где  $\Delta_{\text{lim}} = \pm 3\sigma \approx \pm 3s$ .

Из теории вероятностей известно, что дисперсия суммы нескольких независимых случайных величин равна сумме дисперсий этих величин, поэтому

$$D(x_1 + x_2 + \dots + x_n) = Dx_1 + Dx_2 + \dots + Dx_n$$

Так как  $Dx = \sigma_x^2$ , можно записать

$$\sigma(x_1 + x_2 + \dots + x_n) = \sqrt{\sigma_{x_1}^2 + \sigma_{x_2}^2 + \dots + \sigma_{x_n}^2} \text{ или } \sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^n \sigma_{x_i}^2} \quad (5.17)$$

Из полученного уравнения следует, что суммирование средних квадратических погрешностей для случайных величин, входящих в общую погрешность результата измерения, при их взаимной независимости и нормальном распределении производится квадратически.

Предельная суммарная погрешность измерения или изготовления, состоящая из систематических и случайных погрешностей, равна

$$\Delta_{\Sigma \text{ lim}} = \sum \Delta_{i \text{ сист}} \pm \sqrt{\Delta_{\text{lim } 1}^2 + \Delta_{\text{lim } 2}^2 + \dots + \Delta_{\text{lim } n}^2}, \quad (5.18)$$

где  $\sum \Delta_{i \text{ сист}}$  — алгебраическая сумма систематических погрешностей, с полученным знаком плюс или минус;  $\Delta_{\text{lim } 1}, \Delta_{\text{lim } 2}, \dots, \Delta_{\text{lim } n}$  — предельные случайные погрешности, входящие в  $\Delta_{\Sigma \text{ lim}}$ .

Представленные зависимости справедливы, если законы распределения всех случайных погрешностей соответствуют или близки к нормальному.

При определении наибольшей предельной погрешности знак квадратичной суммы случайных погрешностей принимается одинаковым с суммой систематических погрешностей  $\sum \Delta_{i \text{ сист}}$ .

Рассмотрим следующий *пример*: гладкий рабочий калибр-пробку для контроля отверстия  $\varnothing 100H7$  измеряют на горизонтальном оптиметре. Настройку оптиметра производят по концевым мерам 1-го класса точности. Необходимо определить предельную погрешность измерения. Принимаем для всех случайных погрешностей нормальный закон распределения.

По стандарту ГОСТ 24853—81 допуск на изготовление рабочего калибра — пробки равен 0,006 мм. Пределы допускаемой погрешности оптиметра  $\Delta_{\text{lim опт}} = \pm 0,0003$  мм. Пределы допускаемой погрешности блока концевых мер находим исходя из допусков, входящих в блок концевых мер

1-го класса точности:  $\Delta_{\text{lim мер}} = \pm 0,0005$ . Влиянием промежуточных притирочных слоев смазки толщиной  $0,02 \div 0,03$  мкм пренебрегаем.

Определяем предельную погрешность, вызванную отклонением температуры от нормальной. Допустимые колебания температуры при применении концевых мер 1-го класса равны  $\pm 3^\circ\text{C}$ . Коэффициент линейного расширения материала калибра  $\alpha_1 = (11,5 \pm 2) \cdot 10^{-6}$ , концевых мер  $\alpha_2 = (11,5 \pm 1) \cdot 10^{-6}$ . Предельная разность коэффициентов линейного расширения равна  $\alpha_{\text{max}} = \alpha_{1\text{max}} - \alpha_{2\text{min}} = 13,5 \cdot 10^{-6} - 10,5 \cdot 10^{-6} = 3 \cdot 10^{-6}$ . Предельная температурная погрешность равна  $\pm 0,0009$  мм.

Погрешность, вызываемую измерительным усилием, в расчет не принимаем, так как ее влияние мало. Будем считать, что систематические погрешности устранены.

Находим суммарную предельную случайную погрешность измерения

$$\begin{aligned} \Delta_{\Sigma \text{ lim}} &= \sum \Delta_{i \text{ сист}} \pm \sqrt{\Delta_{\text{lim } 1}^2 + \Delta_{\text{lim } 2}^2 + \dots + \Delta_{\text{lim } n}^2} = \\ &= \pm \sqrt{0,3^2 + 0,5^2 + 0,9^2} \approx \pm 1 \text{ мкм}. \end{aligned}$$

## 5.5. УСТАНОВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ДОПУСКОВ

*Технологическим допуском  $T_r$*  называют допуск, который обеспечивается в определенном технологическом процессе (рис. 5.13). Он зависит от факторов, сопутствующих процессу обработки изделия: метода изготовления деталей, применяемого оборудования, инструмента, используемых приспособлений, режимов процесса обработки и др. Технологический допуск можно выразить формулой

$$T_r = V_{\text{lim}} + \sum \Delta_{i \text{ сист}}, \quad (5.19)$$

где  $V_{\text{lim}}$  — поле рассеяния наблюдаемого параметра;  $\sum \Delta_{i \text{ сист}}$  — алгебраическая сумма неустраняемых систематических погрешностей, действующих в данном технологическом процессе.

Такой метод определения  $T_r$  применим только при непрерывном и достаточно надежном регулировании точности технологического процесса и использования при статистическом регулировании достаточно большой выборки деталей.

Для определения технологического допуска можно применить другой метод, который основан на том, что оценка рассеяния размеров производится по установочной случайной выборке; статистические характе-

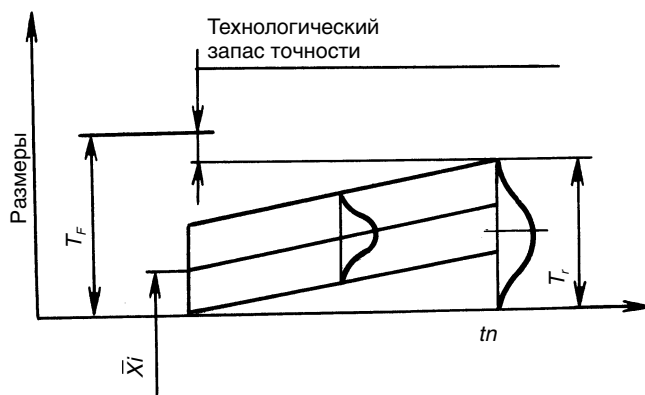


Рис. 5.13. Технологический допуск

ристики генеральной совокупности могут быть другими.

Технологический допуск должен быть таким, чтобы наименьшее и наибольшее значения действительных размеров деталей в генеральной совокупности не выходили за границы нижнего и верхнего пределов. Нижний предел равен  $x_{min} = \bar{x} - ls$ , верхний —  $x_{max} = \bar{x} + ls$ , где  $\bar{x}$  и  $s$  определяют по полученным результатам обработки данных выборки. Коэффициент  $l$  зависит от объема выборки, допускаемой вероятности возникновения брака  $2\beta$  или требуемой надёжности получения годных деталей  $1 - 2\beta$ , а также от вероятности  $P$  того, что  $(1 - 2\beta) \cdot 100\%$  деталей, составляющих всю генеральную совокупность, будут иметь размеры в пределах назначенного допуска. Коэффициент определяется по табл. 5.4 для вероятности  $P = 0,95$  и  $(1 - 2\beta) \cdot 100\% = 0,9973$ .

Таблица 5.4

### Значения коэффициента $\lambda$

| Объем<br>выборки $N$ | $l$  | Объем<br>выборки $N$ | $l$  |
|----------------------|------|----------------------|------|
| 20                   | 4,39 | 70                   | 3,70 |
| 30                   | 4,20 | 80                   | 3,66 |
| 40                   | 3,94 | 90                   | 3,63 |
| 50                   | 3,84 | 100                  | 3,60 |
| 60                   | 3,76 | 200                  | 3,47 |

В этом случае допуск будет равен

$$T_r = ((\bar{x} + ls) - (\bar{x} - ls)) + \sum \Delta_{i\text{сист}}. \quad (5.20)$$

Для примера, данные которого представлены в табл. 5.2, принимаем, что алгебраическая сумма систематических погрешностей равна смещению настройки, по уравнению (5.19) определим технологический допуск:

$$T_r = 6 \cdot 0,015 + 0,005 = 0,095 \text{ мм.}$$

Если определить допуск по уравнению (5.20), то получим: при  $P = 0,95$  и  $(1 - 2\beta) = 0,9973$ .

$T_r = (11,96 + 3,47 \cdot 0,015) - (11,96 - 3,47 \cdot 0,015) + 0,005 = 0,109 \text{ мм,}$   
где  $l = 3,47$  — коэффициент, определённый по табл. 5.4 для  $P = 0,95$ ;  $(1 - 2\beta) = 0,9973$  и  $N = 200$ .

Из рассмотренного примера можно сделать вывод, что назначенный допуск по *IT10* с заданной надёжностью не обеспечивается, поэтому нужно изменить параметры технологического процесса для повышения точности обработки или изменить исходные технические требования, снизив точность до *IT11*.

## ГЛАВА 6

# УНИВЕРСАЛЬНЫЕ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ

Средства измерения по назначению можно разделить на универсальные и специальные. *Универсальные* средства измерения используют во всех случаях, когда измеряемый параметр является типовым, общим для большинства изделий, например, диаметры валов и отверстий, длины, другие линейные размеры. *Специальные* приборы предназначены для измерения одного или нескольких параметров деталей определенного типа, например, отклонения формы, шероховатость поверхностей, геометрические и кинематические параметры зубчатых колёс и передач и др. По числу параметров, проверяемых при одной установке детали, различают одномерные и многомерные измерительные средства, а по степени автоматизации процесса измерения — ручного действия, механизированные, полуавтоматические и автоматические.

### 6.1. ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ

Средства измерения, имеющие достаточно простую конструкцию ручного действия называют **измерительными инструментами**. Наиболее широкое распространение получили: *штангенциркули*, предназначенные для измерения наружных и внутренних размеров (рис. 6.1), *штангенглубиномеры*, служащие для контроля глубины отверстий и пазов; *штангенрейсмусы* для разметки и измерения высоты (рис. 6.2) и *микрометрические измерительные инструменты* (рис. 6.3).

В штангенинструментах применяется *нониус* — отсчетное устройство в виде линейной шкалы, по которой перемещается шкала нониуса. Оно позволяет отсчитывать дробные доли деления основной шкалы. Нониусы изготавливают с величиной отсчета 0,1; 0,05 и 0,02 мм (рис. 6.1, в).

Расчет нониуса производится следующим образом. По заданной длине деления с основной шкалы, величине отсчета по нониусу  $i$ , количеству де-

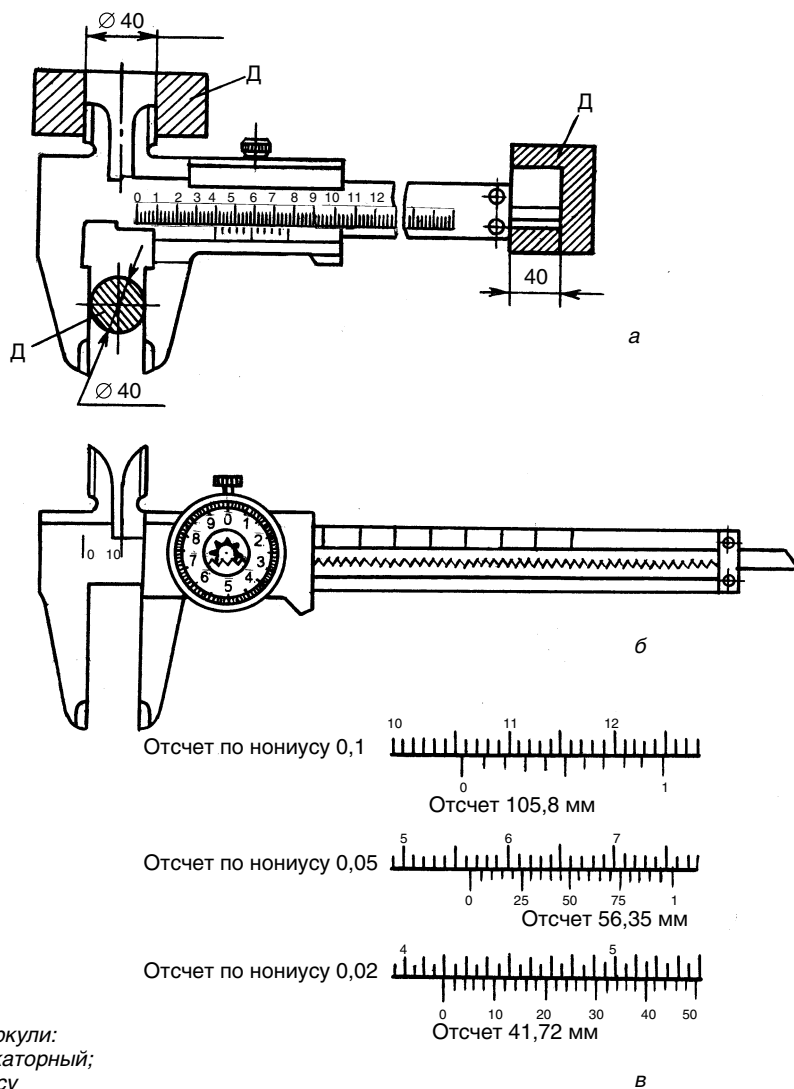


Рис. 6.1. Штангенциркули:  
а — ШЦ-I; б — индикаторный;  
в — отсчёт по нониусу

лений основной шкалы, соответствующему одному делению нониуса, длине деления  $b$  шкалы нониуса и длине  $l$  шкалы нониуса:

$$n = c/i; b = \gamma c - i; i = nb = n(\gamma c - i).$$

Например, при  $i = 0,1$  мм,  $c = 1$  мм и  $\gamma = 2$ , число делений  $n = 10$ , длина деления  $b = 1,9$  мм и длина шкалы  $l = 19$  мм.

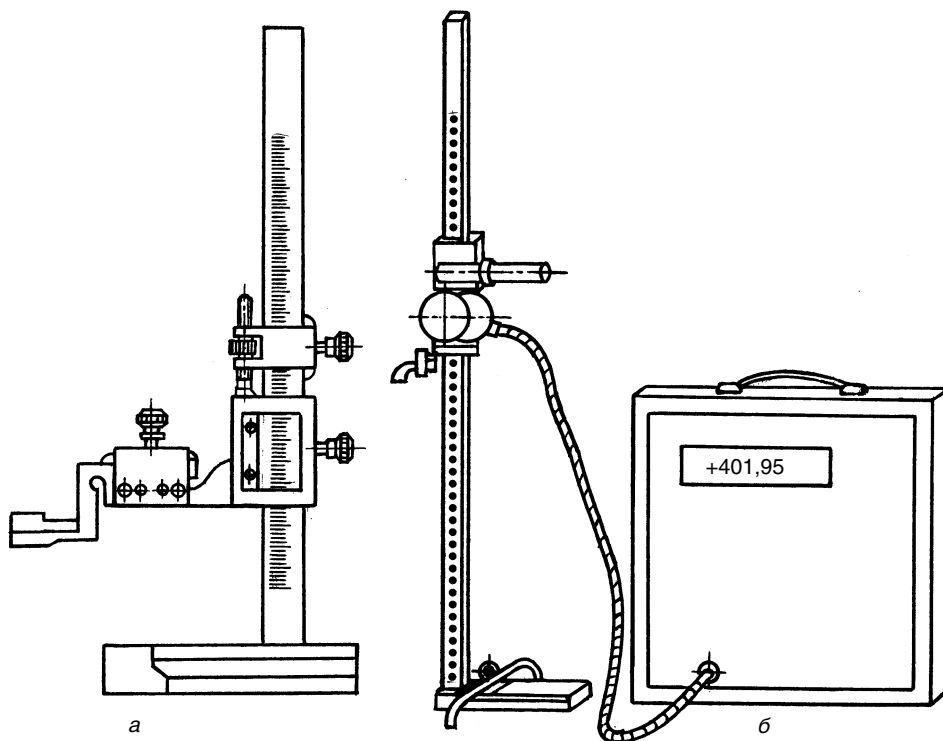


Рис. 6.2. Штангенрейсмусы:  
а — с штриховым отсчётом; б — с цифровым отсчётом

Штангенциркули выпускают следующих типов: ШЦ-I — с двусторонним расположением губок для наружных и внутренних измерений и с линейкой для определения глубин (рис. 6.1, а), величина отсчета по нониусу составляет 0,1 мм; ШЦ-II — с двусторонним расположением губок для измерения и для разметки, величина отсчета по нониусу 0,05 или 0,1 мм; ШЦ-III — с односторонними губками для наружных и внутренних измерений с величиной отсчета по нониусу 0,05 или 0,1 мм.

Изготавливают штангенциркули, в которых в качестве отсчётного устройства применяется индикаторная головка с ценой деления 0,1; 0,05 и 0,02 мм (рис. 6.1, б) или жидкокристаллический дисплей с цифровым отсчётом.

Выпускаются инструменты, позволяющие измерять глубину и высоту расположения поверхностей. Для измерения глубины применяется штан-

генглубиномер с величиной отсчёта по нониусу 0,05 мм и пределами измерения 0÷250 мм. Выпускаются также штангенглубиномеры с величиной отсчёта 0,1 мм и пределами измерения 0÷500 мм.

Для разметочных работ и определения высоты деталей, установленных на поверочной плите, предназначены штангенрейсмусы (рис. 6.2, а, б).

На штанге штангенрейсмуса с цифровым отсчётом показаний (рис. 6.2, б) нарезана зубчатая рейка, по которой перемещается зубчатое колесо. За один оборот зубчатого колеса генерируется определённое число импульсов, которые считывает ротационный фотоэлектрический счетчик импульсов, закрепленный на рамке, связанной с измерительным наконечником. Счетчик имеет выход на цифровое отсчетное устройство или интерфейс для связи с компьютером.

Для измерения угловых размеров применяют угломеры в конструкции шкалы которых также применяется принцип отсчёта по нониусу. Построение шкал основания и нониуса представлено на рис. 6.3. Угол между крайними штрихами нониуса равен  $29^\circ$  и разделен на 30 частей, таким образом в угловых единицах длина деления составляет  $29^\circ : 30 \cdot 60 = 58$  мин, что на 2 мин меньше целого числа.

Угломер типа УН предназначен для измерения наружных и внутренних углов деталей. Цена деления равна 2 мин. Диапазон измерения наружных углов составляет 0÷180°, внутренних 40°÷180°. Размер углов больше развернутого (180°) получается как разность между 360° и измеренным углом. Конструкция угломера и его основные элементы показаны на рис. 6.4.

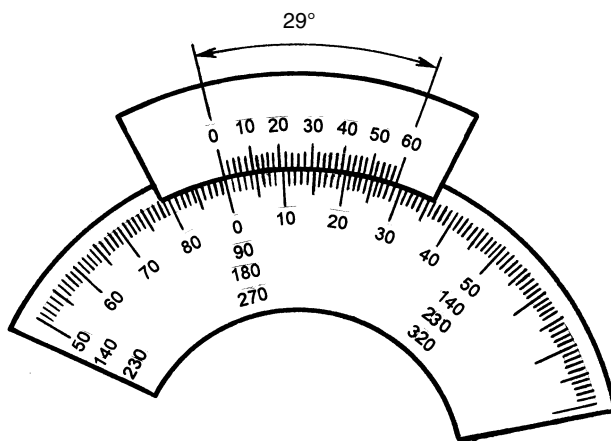


Рис. 6.3. Шкала угломера

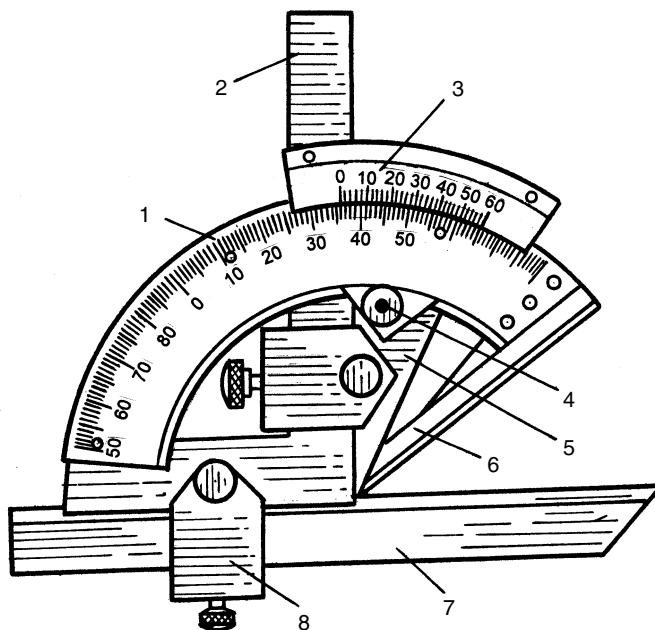


Рис. 6.4. Угломер:  
1 — основание; 2 — угольник;  
3 — нониус; 4 — стопор;  
5 — сектор; 6 — линейка  
основания; 7 — съемная  
линейка; 8 — державка

Микрометрические измерительные инструменты основаны на использовании винтовой пары (винт — гайка), позволяющей преобразовывать вращательное движение микровинта в поступательное. Цена деления таких инструментов — 0,01 мм.

Принцип микрометрических пар используется в конструкциях многих измерительных приборов. Выпускают следующие микрометрические инструменты: микрометры гладкие для измерения наружных размеров (рис. 6.5); нутромеры для определения внутренних размеров; глубиномеры; специальные микрометры — листовые, трубные, зубомерные, со вставками и др. На измерительные поверхности микрометров часто напаивают пластинки из твердого сплава, что значительно повышает их износостойкость.

Отсчетное устройство микрометрических инструментов (рис. 6.5) состоит из двух шкал: продольной 1 и круговой 2. Продольная шкала имеет два ряда штрихов, расположенных по обе стороны горизонтальной линии и сдвинутых один относительно другого на 0,5 мм. Оба ряда штрихов образуют, таким образом, одну продольную шкалу с ценой деления 0,5 мм, равной шагу микровинта.

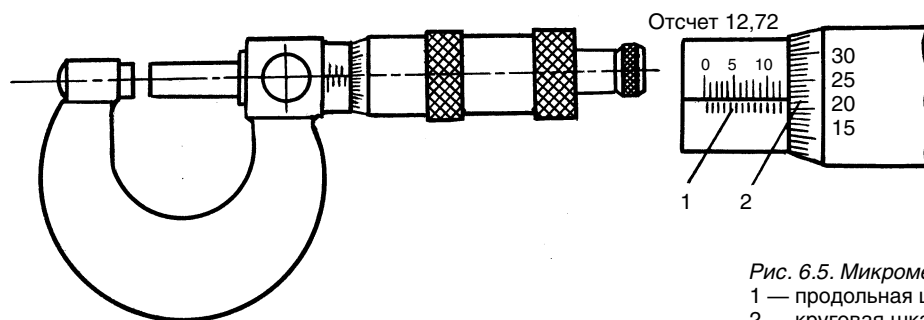


Рис. 6.5. Микрометр:  
1 — продольная шкала;  
2 — круговая шкала

Круговая шкала обычно имеет 50 делений (при шаге винта  $S = 0,5$  мм). По продольной шкале отсчитывают целые миллиметры и 0,5 мм, по круговой шкале — десятые и сотые доли миллиметра. Выпускают микрометры с цифровым отсчетом результата измерения.

## 6.2. МЕХАНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА

Средства измерений, основанные на механическом способе преобразования измерительной информации, включают: *измерительные головки, скобы, микрометры* и др. Большинство из них представляют собой рычажно-механические измерительные устройства, принцип действия которых основан на преобразовании малых перемещений измерительного стержня в увеличенные перемещения указателя (стрелки). В зависимости от типа механизма они делятся на *рычажные, с зубчатой, рычажно-зубчатой и с пружинной передачей*.

Рычажно-механические устройства просты в изготовлении и надежны в эксплуатации, благодаря чему они получили широкое распространение. Эти приборы применяют, главным образом, для относительных измерений, проверки радиального и торцевого биения, а также для контроля отклонений формы деталей (овальности, огранки, конусообразности и др.).

К приборам с рычажной передачей относятся *миниметры*; они имеют цену деления 1, 2, 5 и 10 мкм. Конструкция миниметра основана на применении неравноплечевого рычага (рис. 6.6).

Малым плечом  $a$  является расстояние между подвижной 2 и неподвижной 4 опорами в виде ножей, которые входят в V-образные вырезы составной призмы 3. Перемещая верхнюю часть этой призмы относительно нижней, можно установить такую длину плеча  $a$  (1,0; 0,5; 0,2 или 0,1 мм), которая необходима для получения требуемого передаточного отношения

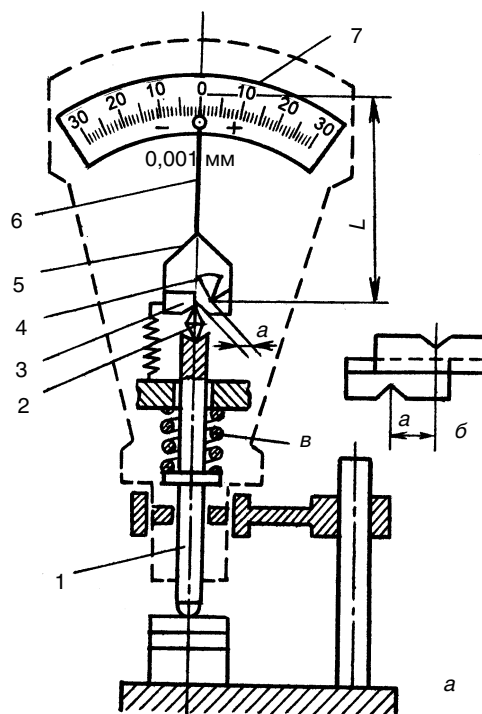


Рис. 6.6. Миниметр:  
а — конструктивная схема; б — призма;  
в — пружина

(100, 200, 500 или 1000). Большим плечом является расстояние  $L$  от конца стрелки 6 до опорного ножа 4. Перемещение измерительного стержня 1 передается качающейся опоре 2, которая поворачивает призму 3 вокруг острия неподвижной опоры 4. При этом происходит поворот рамки 5 и связанной с ней стрелки 6 относительно шкалы 7. К недостаткам миниметров следует отнести быстрый износ ножей и призм, требующий частого ремонта, малые пределы измерения по шкале, значительная измерительная сила, инерционность. Поэтому, несмотря на простоту конструкции, миниметры уступают место более совершенным приборам с пружинной передачей (микрокаторам) и рычажно-зубчатым головкам.

К числу приборов с зубчатой передачей относятся *индикаторы часового типа*, которые широко применяются в практике технических измерений.

На рис. 6.7, а показана кинематическая схема индикатора с ценой деления 0,01 мм. Зубчатая рейка, нарезанная на измерительном стержне 1, сцепляется с зубчатым колесом  $z_2$ , на оси которого неподвижно сидит колесо  $z_3$ .

При измерении детали линейное перемещение измерительного стержня в точных направляющих втулках 3 вызывает поворот колес  $z_2$ ,  $z_3$  и соответственно зубчатого колеса  $z_1$  с закрепленной на его оси большой стрелкой 4 индикатора. Колесо  $z_4$ , на оси которого неподвижно посажена втулка 8 с пружинным волоском 7, находится в зацеплении с колесом  $z_1$ . Пружинный волосок обеспечивает работу передачи по одной стороне профиля зуба, что устраняет мертвый ход. Измерительное усилие создается пружиной 2. Один оборот большой стрелки 4 индикатора соответствует перемещению измерительного стержня 1 на 1 мм. Целые миллиметры отсчитываются по шкале 5 при помощи малой стрелки 6, сидящей на оси колеса  $z_4$ . Существуют индикаторы часового типа с цифровым отсчетом показаний (рис. 6.7, б).

В рычажных микрометрах или скобах (рис. 6.8) при измерении чувствительная «пятка» 1, перемещаясь, воздействует на рычаг 2, зубчатый сектор которого поворачивает зубчатое колесо 3 и стрелку, неподвижно укрепленную на его оси. Пружина 4 постоянно прижимает колесо 3 к зубчатому сектору, устраняя, таким образом, мертвый ход. У рычажной скобы микровинт 5 не имеет отсчетного устройства, оно есть на микровинте рычажного микрометра.

Цена деления шкалы рычажного микрометра и скобы 0,002 мм. Пределы измерений по шкале составляют: у рычажной скобы  $\pm 0,08$  мм, у рычажного микрометра  $\pm 0,02$  мм. Выпускаются также рычажные скобы с встроенным цифровым отсчетным устройством (рис. 6.8, б).

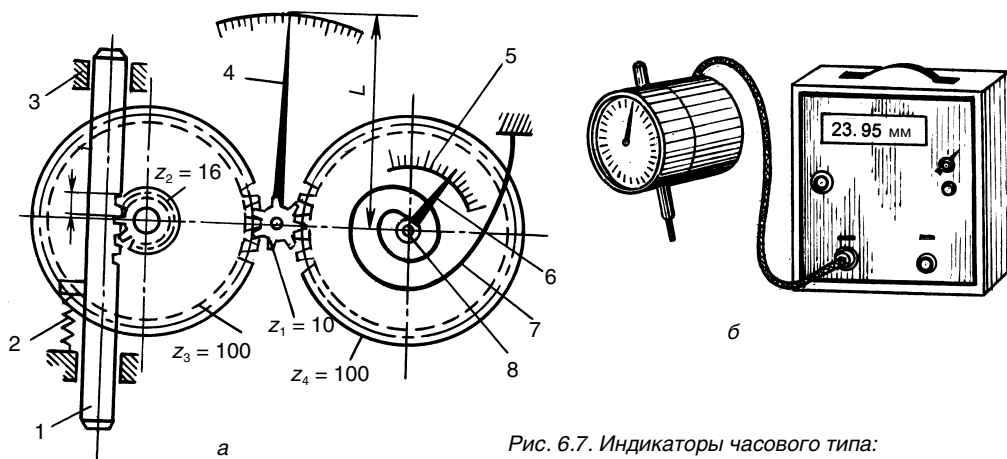


Рис. 6.7. Индикаторы часового типа:  
а — кинематическая схема; б — цифровой отсчёт

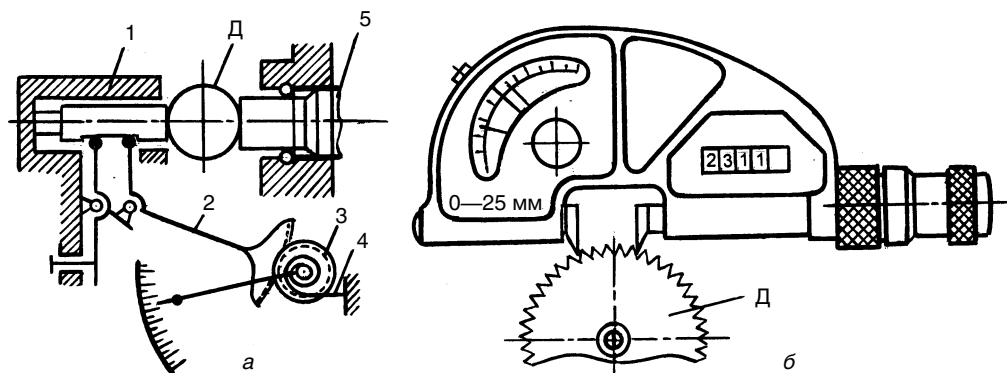


Рис. 6.8. Рычажно-зубчатый инструмент:  
а — схема рычажной скобы (микрометра); б — скоба с цифровым отсчётом

Рычажно-зубчатые измерительные головки изготавливаются двух моделей: однооборотные — 1ИГ и 2ИГ с ценой деления 1 и 2 мкм и с пределами измерений по шкале  $\pm 50$  и  $\pm 100$  мкм; многооборотные — 1МИГ и 2МИГ с ценой деления 1 и 2 мкм с пределами измерений 1 и 2 мм. Многооборотные головки позволяют получить большие пределы измерения при высокой точности измерений.

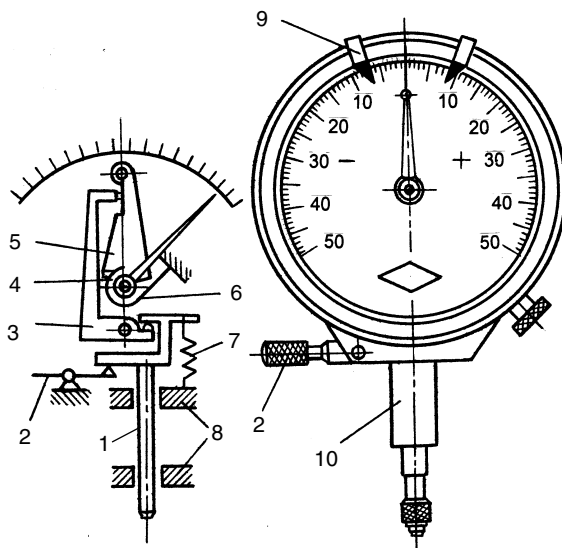


Рис. 6.9. Рычажно-зубчатая измерительная головка 1ИГ:  
а — кинематическая схема;  
б — общий вид

В головке модели 1 ИГ (рис. 6.9) применен механизм с двумя рычажными и одной зубчатой передачами. При перемещении измерительного стержня 1 в двух направляющих втулках 8 происходит поворот рычага 3, который воздействует на рычаг 5, имеющий на большом плече зубчатый сектор, входящий в зацепление с зубчатым колесом (трибом) 4. На оси колеса 4 сидят стрелка и втулка, связанная со спиральной пружиной 6, выбирающей мертвый ход. Измерительное усилие создается пружиной 7.

Для арретирования (перемещения) измерительного стержня служит рычажок 2. Шкала снабжена двумя переставляемыми указателями допуска 9. Головка крепится в стойке или в приспособлении за втулку 10 диаметром 8 мм.

### 6.3. УСТРОЙСТВА С ПРУЖИННОЙ И ПРУЖИННО-ОПТИЧЕСКОЙ ПЕРЕДАЧЕЙ

Измерительные устройства данного типа построены по принципу использования в передаточных механизмах упругих свойств скрученной бронзовой ленты, закрепленной по концам и скрученной за середину. Если такую ленту растягивать, то ее средняя часть, к которой прикрепляется стрелка, будет раскручиваться вместе со стрелкой. Такие приборы отличаются простотой конструкции передаточного механизма, отсутствием трения в звеньях механизма, что делает их достаточно долговечными. Эти устройства не имеют погрешности обратного хода, обладают высокой чувствительностью и малым измерительным усилием. Конструкция устройств технологична и, следовательно, имеет сравнительно невысокую стоимость изготовления. Они предназначены для точных относительных измерений размеров и контроля отклонений формы деталей. Приборы этого типа нашли широкое применение для лабораторных и цеховых измерений наравне с миниметрами и оптиметрами.

Пружинные и пружинно-оптические измерительные устройства в основном выпускаются четырех типов: *микрометры ИГП, микрометры ИПМ, миниметры ИРП и оптикаторы* (рис. 6.10).

Первые три типа приборов имеют цену деления 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 2,0 мкм. Пределы измерений по шкале микрометра  $\pm 30$  мкм, по шкале оптикатора до  $\pm 300$  мкм. Широкопредельный микрометр с ценой деления 1 мкм имеет пределы измерения по шкале  $\pm 100$  мкм (рис. 6.10, б). Передаточный механизм микрометра включает скрученную бронзовую пружинную ленту 3 (рис. 6.10, а). Одна ее половина завита вправо, другая — влево. Лента 3 правым концом прикреплена к пружинному угольнику 6, а левым — к плоской пружине 2. Измерительный стержень 8, перемещаясь вверх, вызывает поворот угольника 6, что приводит к растяже-

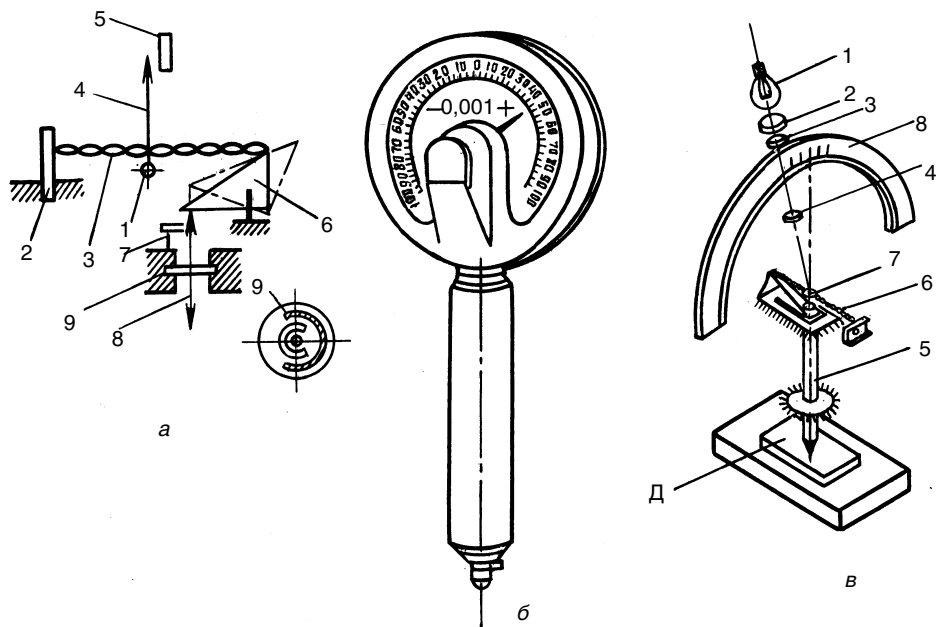


Рис. 6.10. Пружинные и пружинно-оптические измерительные головки:  
 а — схема микрокатора; б — широкопредельный микрокатор;  
 в — схема пружинно-оптической головки (оптикатора)

нию ленты 3 и повороту прикрепленной к ней в середине стрелки 4 относительно шкалы 5. Стрелка представляет собой тонкую стеклянную коническую трубочку диаметром 50–80 мкм, сбалансированную при помощи противовеса 1. Измерительный стержень 8 подвешен к корпусу прибора на мембране 9 и пружинном угольнике 6. Измерительная сила создается пружиной 7. К недостаткам микрокаторов можно отнести излишнюю чувствительность тонкой стрелки к вибрациям, статическому электричеству и другим внешним воздействиям, которые вызывают дрожание стрелки или прилипание её к шкале.

Оптикатор, схема которого показана на рис. 6.10, в создан на базе микрокатора, но лишён его недостатков. В этом приборе пружинный передаточный механизм микрокатора совмещен с увеличивающей оптической передачей. На ленте 6 вместо стрелки укреплено зеркальце 7. Пучок лучей от источника света 1 падает на него, проходя через конденсор 2, стеклянную пластинку 3 (с нанесенным на ней указательным штрихом) и объектив 4. Отразившись от зеркальца, лучи попадают на стеклянную шкалу 8,

на которой видно изображение (на круглом световом поле) указательного штриха, нанесенного на пластинку 3. При перемещении измерительного стержня 5 и раскручивании ленты 6 по шкале 8 перемещается световой зайчик с изображением штрихового указателя.

#### 6.4. ОПТИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ

К приборам этого типа относятся: *координатные измерительные машины, измерительные микроскопы, длиномеры, оптиметры* и др. Точность отсчета и измерений достигается сочетанием механических передаточных механизмов с оптическим автоколлимационным устройством, в оптиметрах применён принцип оптического рычага. Приборы данного типа нашли широкое применение в измерительных лабораториях и в цехах. Эти приборы могут выполняться либо контактными: оптиметры, длиномеры, измерительные машины, либо бесконтактными: микроскопы, проекторы. Приборы позволяют измерять размеры деталей по одной (оптиметры, длиномеры), двум (микроскопы, проекторы) или трем (универсальные измерительные микроскопы, специальные измерительные машины) координатам. Оптиметры выпускают с ценой деления 0,001 мм. В конструкции оптиметра используется принцип автоколлимации — свойство объектива ОБ превращать пучок расходящихся лучей, исходящих из точечного источника света  $O$ , расположенного в фокусе объектива ОБ, в пучок параллельных лучей, который после отражения плоским зеркалом собирается в том же фокусе объектива (рис. 6.11, а, б).

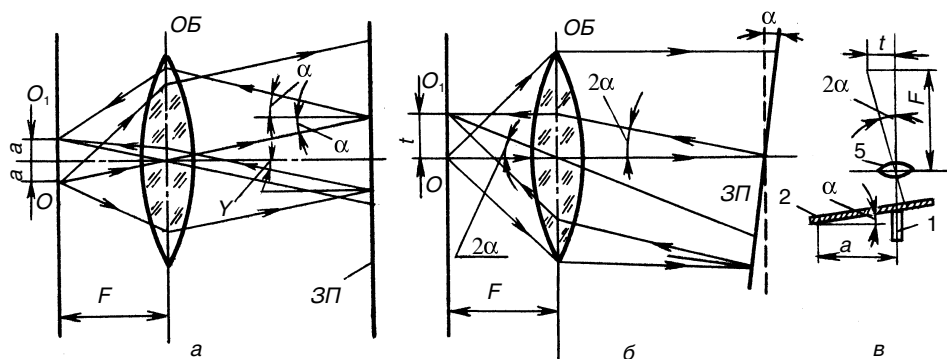


Рис. 6.11. Оптические схемы оптиметра:  
а, б — ход лучей; в — схема трубки оптиметра

Если источник света  $O$  расположить не в фокусе объектива, а в фокальной плоскости на расстоянии  $a$  от главной оптической оси (рис. 6.11, *а*), то один из лучей (центральный) пройдет по побочной оптической оси, а остальные, преломившись, пойдут параллельно побочной оптической оси. Встретившись с зеркальной плоскостью (ЗП), перпендикулярной к главной оптической оси, лучи возвратятся параллельным пучком и, преломившись в объективе, соберутся в точке  $O_1$ , симметричной точке  $O$  и находящейся на расстоянии  $a$  по другую сторону от главной оптической оси. Если же источник света расположен в фокусе объектива, а зеркальная плоскость находится под углом  $\alpha$  к главной оптической оси (рис. 6.11, *б*), то лучи, отразившись от зеркала, пойдут под углом  $2\alpha$  к главной оптической оси и, преломившись в объективе, сойдутся в точке  $O_1$ , отстоящей от точки  $O$  на расстоянии  $t$ .

В оптиметре используется принцип оптического рычага: малым плечом рычага является расстояние  $a$  от точки опоры качающегося зеркала 2 до оси измерительного стержня 1, большим — фокусное расстояние объектива  $F$  (см. рис. 6.11, *з*).

Трубка оптиметра устанавливается на вертикальной (вертикальный оптиметр) или на горизонтальной (горизонтальный оптиметр) стойке (рис. 6.12). Вертикальный оптиметр типа ОВО-1 или ИКВ служит для измерения наружных размеров, горизонтальный оптиметр типа ОГО-1 или ИКГ — для измерения наружных и внутренних размеров.

Пределы измерения по шкале трубки оптиметра равны  $\pm 0,1$  мм, а всего прибора (при измерении длины деталей):  $0 \div 180$  мм у вертикального и  $0 \div 350$  мм у горизонтального оптиметра. Предельные погрешности показа-

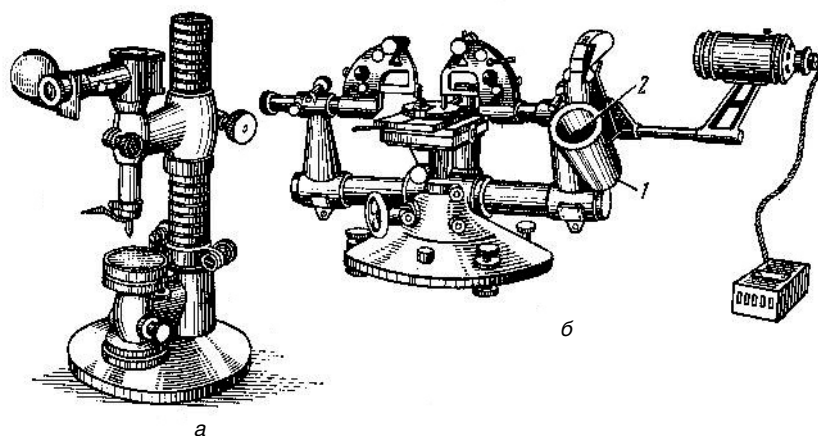


Рис. 6.12. Оптиметры: *а* — вертикальный; *б* — горизонтальный

ний оптиметров составляют от 0,3 до 0,07 мкм. Оптиметры предназначены для линейных измерений относительным методом. Для облегчения отсчета на окуляр надевают проекционную насадку 1 (рис. 6.12, б), на экране 2 которой можно наблюдать изображение шкалы оптиметра. Приборы с оптическим рычагом (оптиметры) имеют небольшие пределы измерения по шкале ( $\pm 100$  мкм) и применяют для относительных измерений. При контроле малых партий деталей, вследствие необходимости установки приборов на заданный размер по концевым мерам и перенастройки приборов, возникают неудобства при измерениях.

*Оптические длиномеры* предназначены для абсолютных измерений в пределах 0÷100 или 0÷250 мм с высокой точностью и не требуют постоянной перенастройки на измеряемый размер. Большинство длиномеров имеет цену деления — 1 мкм. Существуют длиномеры с ценой деления — 0,1 мкм.

Принцип работы длиномера ИЗВ-1 представлен на рис. 6.13, а. Конструкция длиномеров соответствует принципу Аббе, т.е. основная шкала 4 является продолжением измеряемого размера детали 1. Стеклоплатинная шкала 4 имеет деления от 0 до 100 мм. В пиноли 3 закреплен измерительный наконечник 2. Сила тяжести пиноли уравновешена противовесом 8, перемещающимся внутри масляного демпфера 9, противовес с пинолью соединены гибкой стальной лентой 7, перекинутой через блоки. Измерительная сила прибора определяется разностью масс пиноли и противовеса. Она регулируется при помощи грузовых шайб 6. Отсчеты по шкале 4, освещаемой источником света, производятся при помощи отсчетного микроскопа 5 (спирального микрометра) со спиральным нониусом. Спиральный нониус состоит из окуляра ОК и двух стеклянных пластинок, установленных одна над другой (рис. 6.13, б). На неподвижной пластинке 1, расположенной в поле зрения окуляра, нанесена шкала 2, имеющая десять штрихов с ценой деления 0,1 мм. На пластинке 5 нанесены две эквидистантные линии 3, представляющие собой спирали Архимеда и круговая шкала 4, разделенная на 100 делений. Расстояние  $l$  между витками спирали Архимеда представляет собой шаг, он равен интервалу деления — 0,1 мм шкалы 2 (рис. 6.13, в). Один оборот пластинки 5 (рис. 6.13, б) равен 100 делениям ее круговой шкалы, что соответствует поступательному перемещению точки спирали вдоль радиальной прямой, равному одному шагу спирали. Таким образом, одному делению круговой шкалы будет соответствовать отсчет, равный  $\frac{0,1}{100} = 0,001$  мм.

В поле зрения микроскопа через объектив ОБ (рис. 6.13, г) видны штрихи миллиметровой шкалы МШ (45, 46, 47), один из которых находится в

зоне линейной шкалы 2, часть круговой шкалы 4 и дуги витков двойной архимедовой спирали 3. Отсчет производится после того, как дуги витка двойной спирали не расположатся симметрично штриху миллиметровой шкалы, находящемуся в пределах шкалы 2 (в нашем примере — 46 мм). Совмещение штриха со сдвоенной спиралью достигается вращением головки 6 и поворотом пластинки 5 через коническую зубчатую передачу 7. Целые миллиметры отсчитывают по штрихам, обозначенным на миллиметровой шкале, десятые доли миллиметра — по линейной шкале 2 (0,3 мм), сотые и тысячные доли — по круговой шкале 4 (0,062 мм). Отсчет с точностью до 1 мкм, показанный на рис.6.13, *г*, равен 46,362 мм (штрих 46 мм располагается между дугами двойной спирали).

В настоящее время выпускают длиномеры ИЗВ-2, имеющие такой же принцип действия, но более совершенную конструкцию, например сила

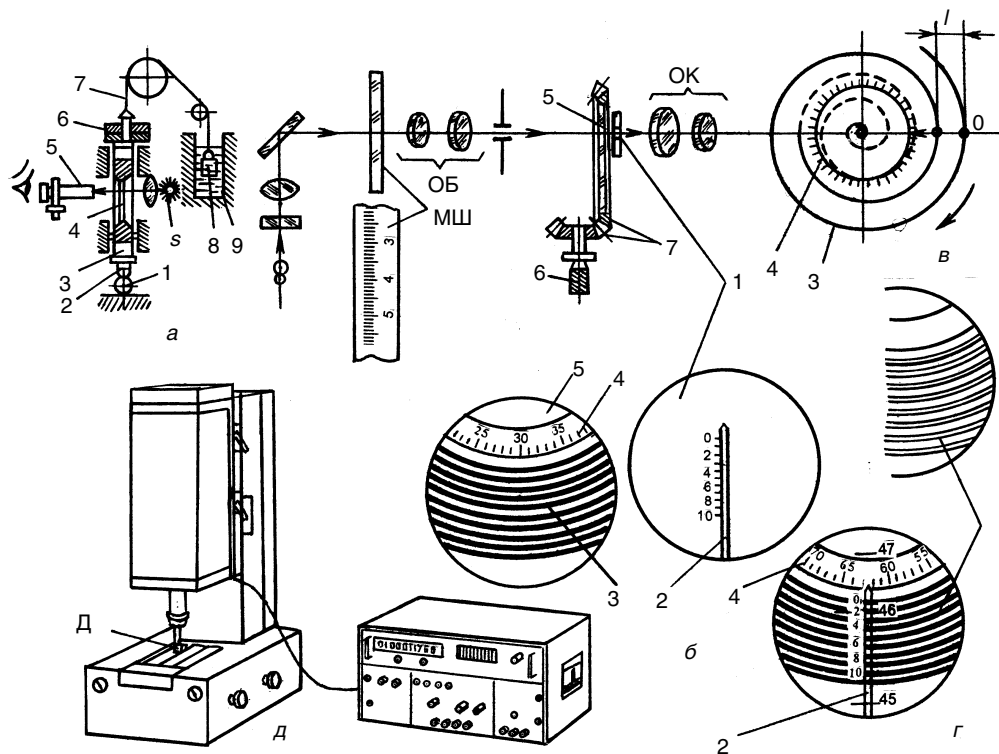


Рис. 6.13. Вертикальный длиномер:

*а* — принципиальная схема; *б* — схема микроскопа со спиральным нониусом;  
*в* — спираль Архимеда; *г* — пример отсчёта; *д* — прибор с цифровым отсчётом

тяжести пиноли уравнивается не масляным демпфером, а центробежным тормозом. Длинномеры имеют диапазон показаний по шкале  $0\div 100$  мм, а диапазон измерения равен  $0\div 250$  мм, что достигается соответствующей перенастройкой прибора. Выпускаются также горизонтальные длинномеры ИКУ-2, имеющие цену деления — 1 мкм, диапазон показаний по шкале  $0\div 100$  мм, а диапазон измерения —  $0\div 500$  мм. Длинномеры с цифровым отсчетом (рис. 6. 13, д) могут иметь интерфейс для подключения к компьютеру или к любому другому цифровому устройству.

В настоящее время для проведения измерений и контроля сложных профилей: линий, контуров и поверхностей получили распространение координатные методы измерений. Реализация координатных методов измерения стала возможной с появлением информационно-измерительных средств на базе высокоточной механической оснастки и компьютерной обработки измерительной информации. Оптико-механическая промышленность выпускает *одно-, двух- и трехкоординатные измерительные машины* (КИМ). Первые предназначены для точных измерений длины, а также наружных и внутренних диаметров абсолютным или относительным методами. Вторые позволяют измерять расстояния между осями отверстий, лежащих в одной плоскости, а также контролировать параметры плоских профильных шаблонов (измерения здесь осуществляются в прямоугольных и полярных координатах). Третьи служат для определения расстояний между осями отверстий, лежащих в разных плоскостях, а также для контроля корпусных деталей и объемных шаблонов. Существуют двух- и трехкоординатные машины, у которых перемещения по всем проверяемым координатам осуществляет сам измерительный преобразователь (рис. 6.14, а, б). Существуют КИМ, у которых измерительный стержень дви-

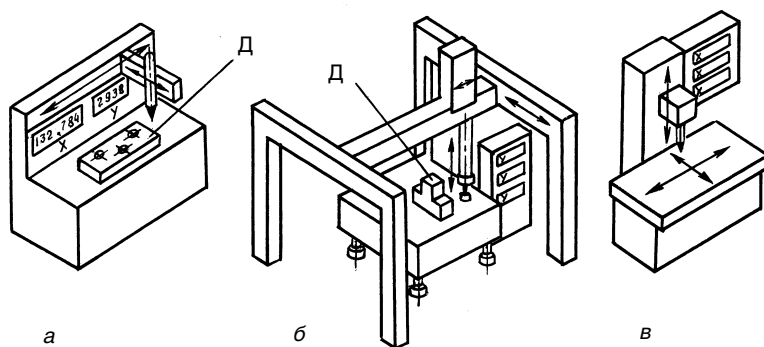


Рис. 6.14. Конструктивные исполнения координатных измерительных машин:  
а — двухкоординатная; б — трёхкоординатная — порталная;  
в — трёхкоординатная — с перемещением стола и наконечника

жется только по одной координате, а сама измеряемая деталь, лежащая на столе машины, перемещается вместе со столом по двум остальным координатам (рис. 6.14, в). Современные двух- и трехкоординатные измерительные машины имеют интерфейс для связи с компьютером.

Однокоординатные измерительные машины могут быть четырех типов: ИЗМ-1, ИЗМ-2, ИЗМ-4 и ИЗМ-6 с пределами измерения соответственно 1000, 2000, 4000 и 6000 мм. Устройство этих машин и принцип их действия одинаковы, конструктивно они различаются только длиной станины.

Измерительная машина типа ИЗМ (рис. 6.15, а, б) имеет жесткую станину 9, по направляющим которой могут перемещаться пинольная 1 и измерительная 5 бабки. Пинольная бабка 1 с установленной в ней трубкой 2 (типа, применяемой на горизонтальном оптиметре) может перемещаться в пределах всей длины направляющих станины 9, а измерительная бабка 5

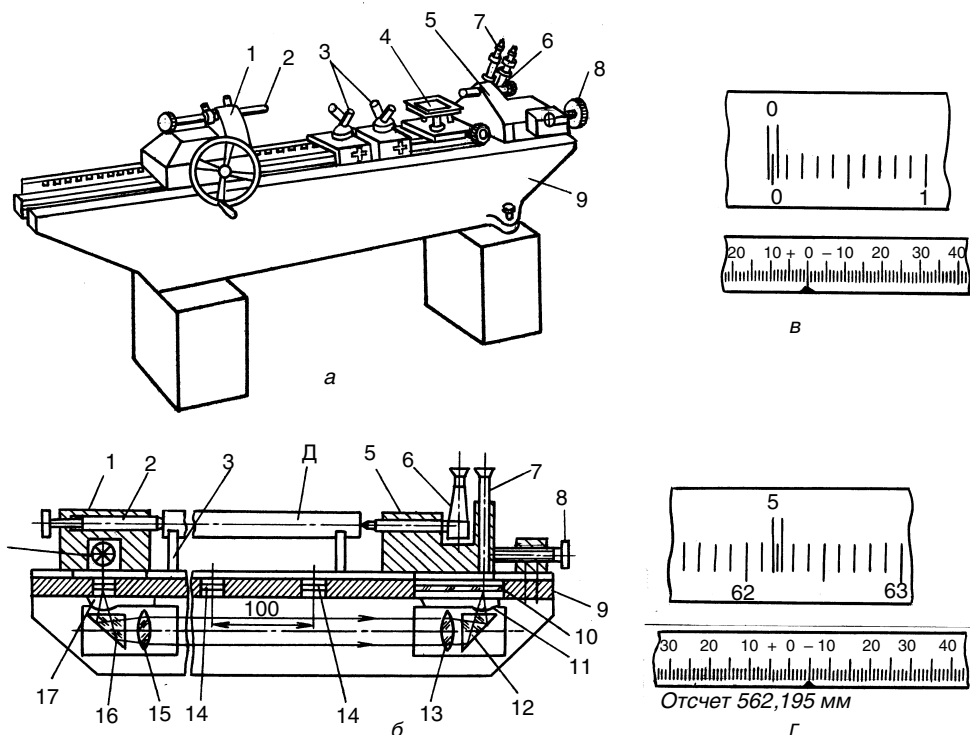


Рис. 6.15. Измерительная машина ИЗМ:  
а — общий вид; б — конструктивная схема; в, г — пример отсчёта

с оптиметром 6 и отсчетным микроскопом 7 — только в пределах 100 мм. Предварительно измерительную бабку устанавливают при помощи реечной передачи, а точно — микрометрическим винтом 8. К обеим бабкам на кронштейнах 11 и 17 присоединены две одинаковые оптические системы, состоящие из призм 12 и 16 и объектов 13 и 15, которые перемещаются вместе с бабками.

На станине 9 находится дециметровая шкала, на которой через каждые 100 мм (т.е. через каждый дециметр) расположены отдельные стеклянные пластинки 14 с нанесенными на них двойными штрихами с цифрой. Если верхний предел измерений машины равен 1000 мм (ИЗМ-1), то таких дециметровых интервалов будет девять, если 2000 мм (ИЗМ-2), то девятнадцать, т.е. до полного верхнего предела измерений не хватает одного дециметра. Недостающий дециметр заменяет стеклянная шкала 10 длиной 100 мм с ценой деления 0,1 мм. В пинольной бабке 1 смонтирована низковольтная лампа накаливания 18, служащая для освещения стеклянных пластин 14, над которыми устанавливается бабка. Лучи света, освещающие пластину со штрихами, отражаются в призме 16 в горизонтальном направлении и, пройдя через объектив 15, идут параллельным пучком. Объектив 12 дает в плоскости стеклянной шкалы 10 изображение двойного штриха и номера стеклянной пластины 14, которые вместе с делениями шкалы 10 наблюдаются в поле зрения микроскопа 7. Для установки измеряемых объектов на машине служат регулируемые люнеты 3 (для длинных деталей) и универсальный столик 4 (для коротких деталей), аналогичный столику горизонтального оптиметра. Отсчет по микроскопу и оптиметру при установке машины на нуль показан на рис. 6.15, в.

Трехкоординатные измерительные машины, как правило, встраиваются в единую комплексную автоматизированную систему, в которую входит компьютер, задающий программу работы технологическому оборудованию и измерительной машине. Изготовленные изделия измеряются по заданной программе на измерительной машине, после этого результаты измерения поступают на компьютер и обрабатываются. Результаты обработки измерительной информации в дальнейшем используются для управления технологическим процессом или для решения других задач.

Измерения высокой точности проводят с помощью *интерферометров*. Интерферометры относятся к оптико-механическим приборам, принцип действия которых основан на использовании явления интерференции световых волн. Интерферометры для линейных измерений делятся на *контактные* и *бесконтактные*. Контактные интерферометры выполняют с регулируемой ценой деления от 0,05 до 0,2 мкм. Они могут быть двух типов: *вертикальные ИКПВ* и *горизонтальные ИКПГ*, в обоих типах интерференционные трубки — одинаковые (рис. 6.16).

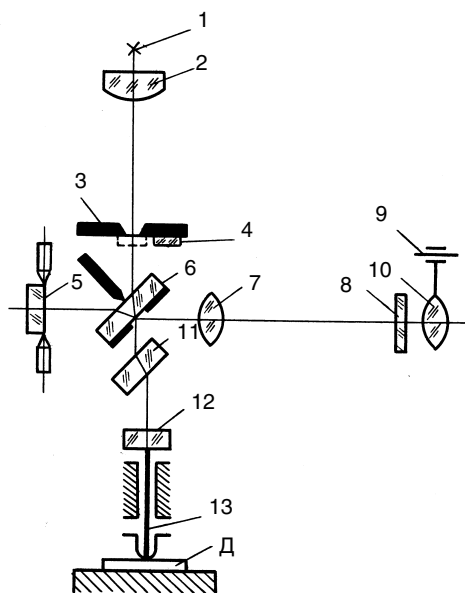


Рис. 6.16. Схема трубки контактного интерферометра

Свет от лампы 1 направляется конденсатором 2 через диафрагму 3 на полупрозрачную разделительную пластину 6. Часть лучей, пройдя через пластину 6 и компенсатор 11, отразится от зеркала 12, закрепленного на верхнем конце измерительного стержня 13, и через компенсатор 11 вновь вернется к пластине 6. Другая часть пучка света, отразившись от рабочей поверхности разделительной пластины 6, попадет на зеркало 5 и после отражения также возвратится к пластине 6. Таким образом, на рабочей поверхности пластины 6 обе части пучка света интерферируют при небольшой разности хода. Объектив 7 проектирует интерференционную картину полос равной толщины в плоскость сетки 8. Интерференционные полосы и нанесенная на сетку шкала наблюдаются через окуляр 10, который может поворачиваться на оси 9, обеспечивая возможность наблюдения необходимого участка шкалы через середину окуляра при минимальных оптических искажениях.

Интерференционные полосы равной толщины образуются в результате поворота зеркала 5 на небольшой угол относительно поверхности зеркала 12. При освещении белым светом на фоне шкалы видна одна черная (ахроматическая) полоса и по обе стороны от нее несколько окрашенных полос убывающей интенсивности. При включении светофильтра 4 наблюдается интерференционная картина при монохроматическом освещении. При этом все поле зрения окуляра заполняют полосы одинаковой интенсивности.

ти. Расстояние между отдельными полосами соответствуют половине длины световой волны, пропускаемой светофильтром. По монохроматическим полосам калибруется шкала интерферометра. Черная интерференционная полоса служит указателем при отсчетах по шкале, имеющей по 50 делений в обе стороны от нуля, который смещается пропорционально перемещению измерительного стержня 13.

*Вертикальный* контактный интерферометр (рис. 6.17) имеет жесткие литые основания 1 и стойку 10. По направляющей стойки может перемещаться при помощи кремальеры 9 кронштейн 8, несущий трубку 7 интерферометра. Винт 6 позволяет сдвигать шкалу трубки в пределах  $\pm 10$  делений. На трубке закреплен теплозащитный экран 5. Измерительный стол 4 может перемещаться в вертикальном направлении винтом микроподачи 3 и стопориться в установленном положении винтом 2. Диапазон измерения вертикального интерферометра —  $0 \div 150$  мм.

Основное назначение контактных интерферометров — поверка концевых мер длины разрядов 2; 3 и 4 классов 0; 1 и 2. С помощью интерферометров контролируют также размеры и форму особо точных изделий, например, шариков высоких степеней точности (ГОСТ 3722—81).

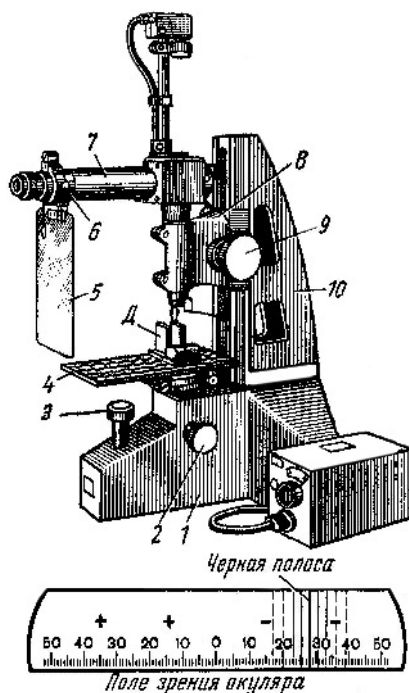


Рис. 6.17. Контактный интерферометр

Контактные интерферометры могут иметь экран, который облегчает отсчет по шкале прибора. Экранные интерферометры (вертикальный — модели 250 и горизонтальный — модели 251) выпускаются с ценой деления от 0,02 до 0,2 мкм.

В настоящее время применяют *бесконтактные* интерферометры, в которых в качестве источника света используется лазер. Лазер является когерентным источником света, что позволяет использовать его для измерений с высокой точностью. Схема бесконтактного лазерного интерферометра показана на рис. 6.18. Поступающий от лазера 1 пучок света полупрозрачной пластиной 3 делится на два потока. Один направляется на неподвижное зеркало 2 и, отразившись от него, возвращается к пластине 3. Второй, проходящий сквозь пластину 3, попадает на подвижный V-образный рефлектор 4, а от него — на неподвижное зеркало 8. Отразившись от зеркала 8 и рефлектора 4, пучок возвращается к пластине 3, где интерферирует с первым пучком. Корпус 12 лазерного интерферометра смонтирован на кронштейне 10, связанном со станиной 7 станка или измерительного прибора. Рефлектор 4 закреплен на стойке 5, устанавливаемой на подвижном столе 6 станка или прибора, перемещение которого нужно измерить. Величину перемещения стола 6 можно измерять в процессе его движения по количеству полос, сосчитанных реверсивным счетчиком 11, с которым связан фотоэлектрический детектор 9.

При помощи лазерных интерферометров осуществляют поверку двух- и трехкоординатных измерительных машин, микроскопов, прецизионных станков и других точных механизмов.

Большое распространение в промышленности получили *инструментальные и универсальные микроскопы*, предназначенные для измерения углов и линейных размеров в прямоугольных и полярных координатах,

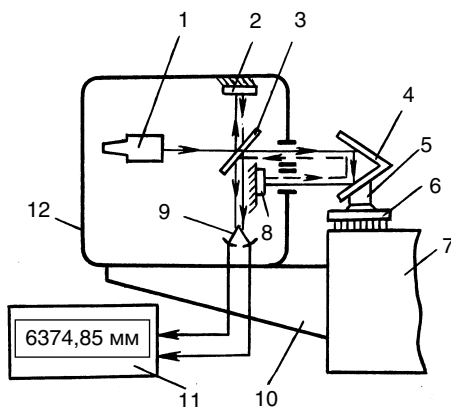


Рис. 6.18. Схема лазерного интерферометра

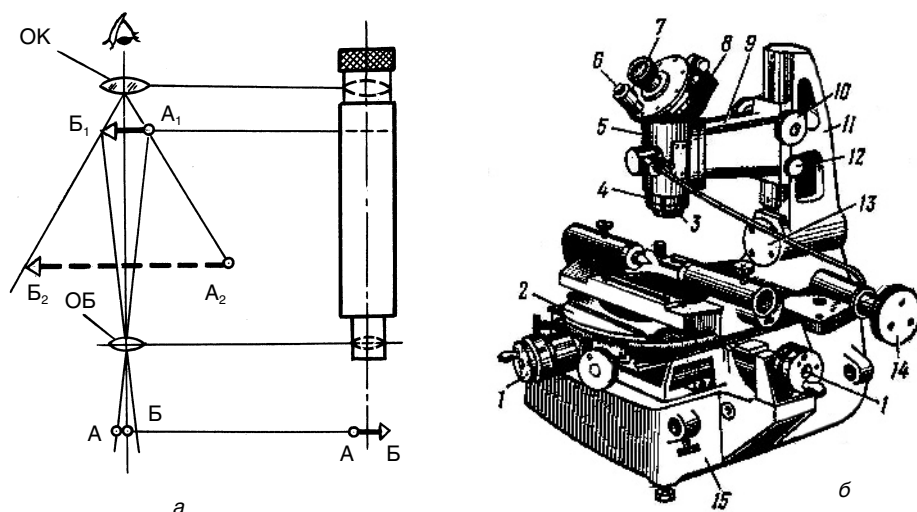


Рис. 6.19. Инструментальный микроскоп типа БМИ:  
а — оптическая схема; б — общий вид

основных параметров наружной резьбы резьбовых калибров, метчиков, резьбовых фрез и других изделий с резьбой. На микроскопах проверяют также изделия и калибры сложных форм: шаблоны, фасонные резцы, вырубные штампы и т.п.

Измерения на микроскопах, как правило, производят бесконтактным методом в прямоугольных или полярных координатах. Оптическая схема микроскопа показана на рис. 6.19, а. Измеряемая деталь АБ рассматривается через объектив ОБ микроскопа. Изображение детали  $A_1B_1$  получается действительным, обратным и увеличенным. Глаз наблюдателя через окуляр ОК видит мнимое, обратное и еще раз увеличенное окуляром изображение детали  $A_2B_2$ .

Инструментальные микроскопы выпускаются по ГОСТ 8074—82 двух типов: ММИ — малый микроскоп инструментальный и БМИ — большой микроскоп инструментальный (рис. 6.19, б). Микроскоп имеет литое чугунное основание 15, на котором на шариковых направляющих установлен стол 2, перемещающийся в двух взаимно-перпендикулярных направлениях при помощи микрометрических винтов 1 с ценой деления 0,005 мм и пределами измерения 0÷25 мм. Пределы измерения можно увеличить в продольном направлении до 75 мм у микроскопов ММИ и до 150 мм у

микроскопов БМИ, если установить между концом микровинта и измерительным упором на столе микроскопа концевую меру соответствующего размера. С целью точного совмещения линии измерения с направлением продольного или поперечного перемещения стола его верхнюю часть с предметным стеклом можно поворачивать (у БМИ на  $360^\circ$ ) и стопорить в нужном положении. Угол поворота стола определяют по нониусу с величиной отсчёта  $3'$ . Предметное стекло, вставленное в центральную часть верхнего стола, дает возможность при освещении снизу наблюдать в микроскоп контур изделия (при измерениях теневым методом). Тубус 5 микроскопа с объективом 3 установлен в кронштейне 9, перемещающемся по вертикальным направляющим стойки 11. Стойка при помощи маховичка 14 может наклоняться вокруг оси 13 на  $12,5^\circ$  в обе стороны для установки микроскопа под углом подъема измеряемой резьбы. Угол наклона определяют по шкале маховичка 14. Ось 13 наклона стойки 11 совпадает с осью центров, устанавливаемых на столе микроскопа при измерении тел вращения (бабка с центрами является обязательной принадлежностью микроскопа). Для фокусирования микроскопа служит маховичок 10, перемещающий кронштейн 9. Установленное положение фиксируется винтом 12. Микроскопы типа БМИ имеют механизм точного фокусирования: вращая рифленое кольцо 4, тубус микроскопа смещают по цилиндрическим направляющим кронштейна. Сверху на тубусе микроскопа крепится сменная угломерная окулярная головка ОГУ-21 с визирным 7 и отсчётным 6 микроскопами или револьверная (профильная) окулярная головка ОГР-23, либо головка двойного изображения ОГУ-22. Каждая из этих головок имеет десятикратное увеличение. Прилив 8 предназначен для крепления проекционной насадки типа НП-7, на экране которой получается изображение, обычно наблюдаемое в окуляр микроскопа 7. Микроскоп может быть выполнен с цифровым отсчётом и иметь интерфейс для связи с компьютером.

Универсальные микроскопы по принципиальному устройству и назначению аналогичны инструментальным. Они отличаются лишь большими пределами и повышенной точностью линейных измерений. На машиностроительных заводах наиболее распространён универсальный микроскоп УИМ-21 (рис. 6.20). Он имеет жесткую литую станину 13 с каретками 2 и 11, которые могут перемещаться соответственно в продольном и поперечном направлениях. В продольной каретке 2 выполнен цилиндрический направляющий желоб, в который устанавливают центровые бабки 3. Опорные поверхности этой каретки служат для установки предметного стола и различных приспособлений. На поперечной каретке 11 снизу смонтирована осветительная система, а сверху стойка 7 с визирным микроскопом 8. Как и в инструментальном микроскопе, стойку 7 с микроскопом можно

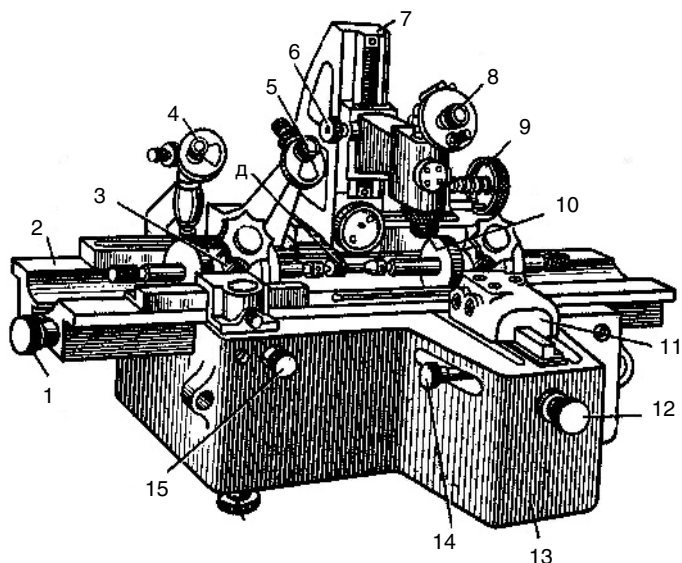


Рис. 6.20. Универсальный измерительный микроскоп УИМ-21

наклонять вокруг горизонтальной оси при помощи маховичка 9. Ось вращения стойки пересекается с линией центров бабок продольной каретки. На обеих каретках установлены стеклянные шкалы с ценой деления 1 мм, освещаемые проходящим светом. Над шкалами смонтированы отсчетные микроскопы 4 и 5 со спиральными нониусами, имеющими величину отсчета 0,001 мм. Конструкция и способ отсчета показаний микроскопов аналогичны длиномеру (см. рис. 6.13).

Быстрое перемещение кареток 2 и 11 в нужное положение осуществляют при отпущенных винтах 14 и 15, точно их устанавливают при помощи микрометрических винтов 1 и 12 после закрепления винтов 14 и 15. Направляющие обеих кареток выполнены на шарикоподшипниках, обеспечивающих малое трение и высокую точность установки кареток.

В вертикальном направлении кронштейн микроскопа перемещают кремальерой 6, а для окончательной фокусировки тубус устанавливают в требуемое положение вращением накатанного кольца 10. Микроскоп имеет сменные объективы и окулярные головки: угломерную, профильные и двойного изображения, аналогичные головкам инструментального микроскопа.

Пределы измерения микроскопа УИМ-21: линейные — в продольном направлении — 0÷200 мм, в поперечном — 0÷100 мм; угловые — 0÷360° при цене деления угловой головки 1'. Увеличение главного микроскопа равно 10<sup>x</sup>, 15<sup>x</sup>, 30<sup>x</sup> или 50<sup>x</sup> в зависимости от примененного объектива.

Погрешность измерения диаметров гладких цилиндров, установленных в центрах на микроскопе, равна  $\pm \left(6 + \frac{D}{67}\right)$  мкм, где  $D$  — диаметр детали в миллиметрах.

Аналогичную характеристику имеет микроскоп УИМ-23 с пределами измерения 200 и 100 мм, на котором главный и отсчетные микроскопы заменены проекционными устройствами с экранами. Изготавливаются также универсальные измерительные микроскопы с автоматическим цифровым отсчётом с точностью отсчёта 0,1 мкм и диапазоном измерений до 600 мм.

Контроль деталей со сложным контуром, таких как: профильные шаблоны и контршаблоны, мелкозубчатые колеса и долбяки, модульные и фасонные фрезы, резьбы, резьбообразующего инструмента и т.п. удобно проводить с помощью проекторов. *Проекторами* называют оптические приборы, дающие на экране увеличенное изображение контролируемой детали. В зависимости от способа освещения контролируемой детали различают проекторы, работающие в проходящих и в отраженных лучах. На машиностроительных заводах преимущественно используют первый тип проекции. Большинство проекторов, работающие в проходящих лучах, имеет также дополнительные осветители для работы в отраженных лучах.

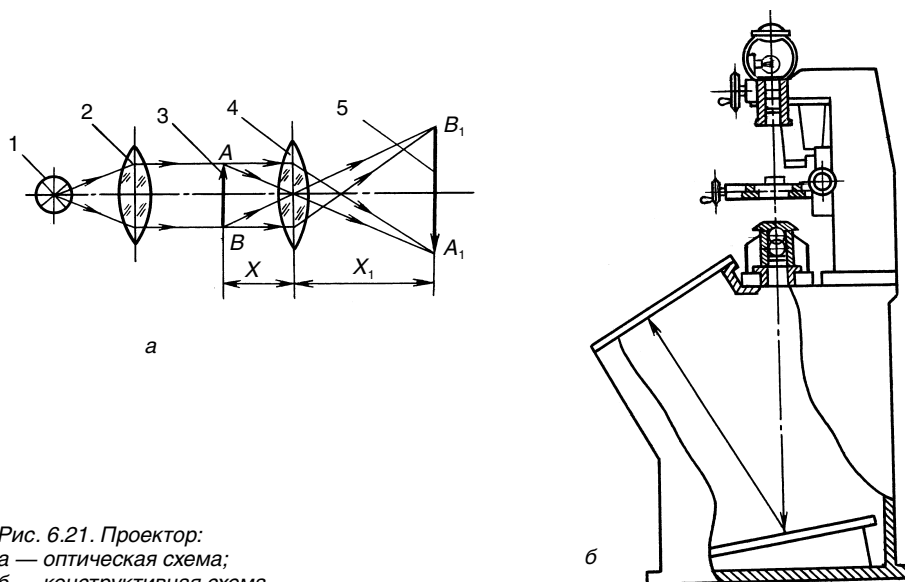


Рис. 6.21. Проектор:  
а — оптическая схема;  
б — конструктивная схема

Принципиальная оптическая схема проектора показана на рис. 6.21, *а*. Свет от источника 1, пройдя через конденсор 2, идет дальше параллельным пучком лучей, который встречает на своем пути проверяемую деталь 3 ( $AB$ ). Затем лучи попадают в объектив 4 и дают в плоскости экрана 5 увеличенное обратное теневое изображение  $A_1B_1$  контура детали. Увеличение  $V$  проектора определяется отношением  $V = A_1B_1 / AB \approx x_1 / x$ .

Проекторы обычно имеют несколько сменных объективов, позволяющих получать увеличения  $10\times$ ,  $20\times$ ,  $50\times$ ,  $100\times$  и  $200\times$ . Схема проектора представлена на рис. 6.21, *б*.

Основные способы проверки размеров деталей на проекторах следующие: 1) сравнение на экране полученного изображения детали с ее вычерченным номинальным контуром; 2) сравнение изображения детали, полученного на экране, с двойным контуром (полем допуска), вычерченным в соответствии с наибольшим и наименьшим предельными размерами детали; 3) определение линейных и угловых размеров при помощи отсчетных устройств, которыми снабжен проектор; 4) измерение изображения детали, полученного на экране, при помощи масштабной стеклянной линейки; 5) измерение путем совмещения на экране противоположных участков изображения контуров детали.

## 6.5. ПНЕВМАТИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ

Принцип действия пневматических приборов для контроля линейных размеров основан на зависимости между размером и давлением или расходом сжатого воздуха (рис. 6.22).

На рис. 6.22, *а* показана схема прибора для измерения размеров с водяными манометрами. Такой прибор представляет собой цилиндрический баллон 1, сообщающийся с атмосферой и наполненный водой, в которую погружена трубка 2. К верхней части этой трубки через трубопровод 3 и дроссельное устройство 4 компрессором подается воздух под давлением  $P$ . В трубке 2 автоматически поддерживается постоянное давление, определяемое высотой  $H$  столба воды в баллоне 1. С трубкой 2 соединена камера 6, имеющая входное 5 и выходное 11 сопла. Сопло установлено с зазором  $S$  над поверхностью измеряемой детали 10. Для измерения переменного давления  $P_k$  в камере 6 прибор снабжен водяным манометром в виде стеклянной трубки 7 со шкалой 8. Давление  $P_k$  определяется разностью уровней столбов воды в баллоне 1 и трубке 7, которая соединена одним концом с камерой 6, а другим — с баллоном 1. Из трубки 2 воздух под постоянным давлением проходит через входное сопло 5 в камеру 6 и выходит через измерительное (выходное) сопло 11. От величины зазора  $S$  зависят

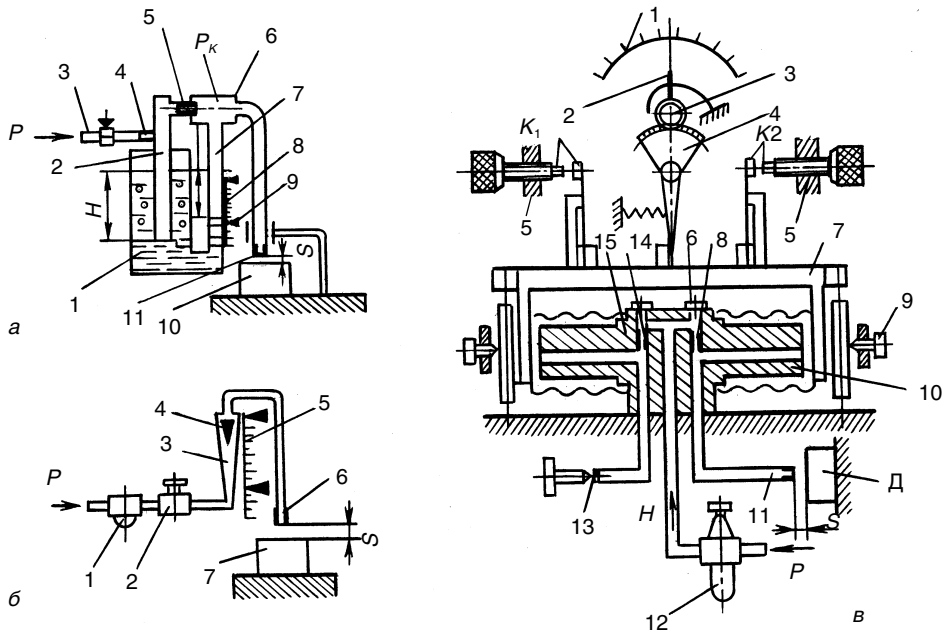


Рис. 6.22. Схемы пневматических приборов:  
 а — с водяным манометром; б — с расходомером; в — дифференциального типа

давление  $P_k$  и, следовательно, разность уровней  $h$ , отсчитывается по шкале 8. При уменьшенном размере детали 10 зазор  $S$  возрастает и уровень воды в трубке 7 повышается, при увеличенном — зазор  $S$  уменьшается и уровень воды в трубке 7 понижается. На шкале 8 устанавливают указатели допуска 9, между которыми должен находиться уровень воды в трубке 7 при контроле годных деталей. Высоту водяного столба  $H$  выбирают обычно равной 500 мм или 1000 мм. Цена деления шкалы от 1 до 5 мкм. Приборы с водяными манометрами применяют главным образом для визуального контроля.

На рис. 6.22, б показана схема прибора, представляющего собой расходомер типа «Ротаметр» с поплавковым указателем. Он имеет коническую стеклянную трубку 3 с широким концом вверх. По ней снизу под рабочим давлением  $100 \div 200$  кН/м<sup>2</sup> проходит воздух, поднимающий поплавок 4. Верхняя плоскость поплавка является указателем для отсчета по шкале, помещенной рядом с трубкой. Высота подъема поплавка зависит от разности статического давления воздуха до и после него, которая тем больше, чем больше зазор  $S$  между торцом измерительного сопла 6 и поверхностью измеряемой детали 7. С увеличением зазора  $S$  возрастает расход воздуха и

следовательно скорость его истечения через кольцевую щель вокруг поплавка. Увеличение скоростной составляющей давления воздуха поднимает поплавок в трубке до тех пор, пока не уравниваются расходы воздуха через кольцевой зазор между поплавком и стенками трубки 3 и через зазор  $S$  между измерительным соплом и контролируемой деталью. В этом случае поплавок заводится в трубку. Таким образом, каждому значению зазора  $S$  соответствует определенное по высоте положение поплавка в трубке 3. Точность измерения зависит от стабильности давления и чистоты подаваемого в систему воздуха, для чего в схему прибора включены стабилизатор давления 2 и фильтр 1. Цена деления шкалы 5 ротаметра в разных моделях может обеспечиваться от 0,5 до 5 мкм. Ротаметры отличаются простой конструкции и удобством в эксплуатации, их используют в качестве одномерных и многомерных приборов.

Существуют дифференциальные пневматические измерительные приборы, принцип действия которых основан на измерении разности давлений в двух ветвях пневматической схемы измерительной и регулировочной. Принципиальная схема дифференциального пневматического прибора высокого давления показана на рис. 6.22, *в*.

Воздух после фильтра и стабилизатора давления 12 подводится к сухарю 6, проходит через входные сопла 8 и 14, которыми начинаются две ветви дифференциальной пневматической системы, и попадает в сильфоны 10 и 15 (упругие гофрированные металлические трубки, герметично закрытые с наружного конца). Воздух через сопло 8 поступает по шлангу к измерительному устройству 11, а через сопло 14 — к узлу регулирования противодействия, представляющему собой выходное сопло, в отверстие которого входит конический конец регулировочного винта 13. Внешние концы сильфонов 10 и 15 соединены между собой жесткой рамкой 7, подвешенной на параллелограмме из плоских пружин. Изменение давления в сильфонах вызывает смещение рамки в сторону большей его величины до тех пор, пока упругие силы сильфонов не уравновесят разность давлений в них. Рабочее перемещение сильфонов и рамки ограничено жесткими упорами 9. При движении рамки 7 рычажно-зубчатая передача 4–3 поворачивает стрелку 2, по которой производится отсчет на шкале 1. Показания прибора пропорциональны разности давлений в сильфонах. Зазоры в контактах  $K_1$  и  $K_2$  регулируются винтами 5.

## 6.6. СРЕДСТВА АВТОМАТИЗАЦИИ КОНТРОЛЯ

Средства автоматизации контроля можно классифицировать по различным признакам.

По степени автоматизации они разделяются на полуавтоматические и автоматические.

В *полуавтоматических устройствах (полуавтоматы)* загрузка контролируемых деталей осуществляется вручную, а все остальные операции автоматически. В *автоматических устройствах (автоматы)* все процессы автоматизированы. Автоматы широко применяют для сортировки готовых деталей по группам размеров при селективной сборке, при 100%-ном контроле ответственных деталей, а также в тех случаях, когда нестабильность технологического процесса не позволяет применять выборочный контроль.

По воздействию на технологический процесс все средства контроля разделяют на пассивные и активные (управляющие). *Пассивные средства контроля* лишь фиксируют размер деталей, разделяя их на годные, брак неисправимый и исправимый (устройства для приемки деталей), или сортируют их на группы (контрольно-сортировочные устройства). *Активные средства контроля* вырабатывают сигнал о достижении деталью заданного размера в процессе ее обработки. Средства активного контроля как правило имеют обратную связь, позволяющую по результатам контроля воздействовать на положение исполнительных механизмов станка и производить подналадку. Активный или управляющий контроль целесообразно применять на финишных операциях (шлифование, хонингование), где требуется высокая точность обработки. Активный контроль широко используют в непрерывных производственных процессах, например, при прокатке листов, лент, труб, а также сварке протяжённых объектов. При активном контроле повышается точность обработки, предупреждается появление брака, устраняются потери времени на измерение детали.

В средствах активного и пассивного контроля, независимо от степени их автоматизации, в качестве измерительных устройств применяются различные *измерительные преобразователи (датчики)*.

По принципу действия датчики могут быть: механические, оптические, электрические, радиационные, пневматические и др. Электрические преобразователи могут быть: электроконтактные, индуктивные, емкостные, фотоэлектрические, механотронные. Наибольшее распространение получили электроконтактные датчики. *Электроконтактные* датчики предназначены для автоматизации линейных размеров деталей в светосигнальных многомерных приспособлениях, в контрольных автоматах и приборах активного контроля. По ГОСТ 3899—81 электроконтактные датчики делятся на два типа: *предельные* — для контроля предельных размеров деталей и *амплитудные* — для контроля амплитуды (разности между наибольшим и наименьшим значениями) изменяющегося размера, например, при контроле овальности, биения и других отклонений формы и взаимного расположения поверхностей. По назначению различают одно-,

двух- и многопредельные электроконтактные датчики соответственно количеству пар контактов. По конструкции они могут быть рычажными и безрычажными, бесшкальными и шкальными. Шкальные датчики имеют стрелочный показывающий прибор, по которому можно визуально определять действительный размер детали. Схема бесшкального двухпредельного рычажного электроконтактного датчика показана на рис. 6.23. Измерительный стержень 2 и опирающийся на него рычаг 3 с закрепленным на нем контактом 4 занимают положение в соответствии с размером контролируемой детали 1.

В случае, если размер детали 1 находится в поле допуска, подвижный контакт 4 располагается между двумя неподвижными контактами 5 и 6, не касаясь их при этом горит желтая сигнальная лампочка Г (рис. 6.23, а). В случае, если размер детали 1 превышает максимальный предельный размер, подвижный контакт 4 касается верхнего контакта 5, благодаря чему загорается зеленая сигнальная лампочка (+), свидетельствующая об условно исправимом браке. В случае, если размер детали 1 меньше минимального предельного размера, контакт 4 касается нижнего контакта 6, благодаря чему загорается красная сигнальная лампочка (—), свидетельствующая о неисправимом браке.

Датчик настраивают по двум образцам, имеющим наибольший и наименьший предельные размеры или по мерам длины, имеющим соот-

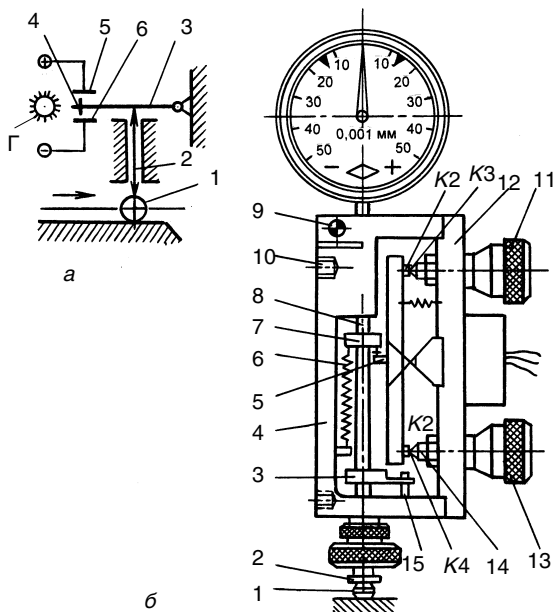


Рис. 6.23. Электроконтактный двухпредельный датчик:

а — принципиальная схема датчика;

б — общий вид датчика

ветствующие размеры. При настройке на максимальный предельный размер верхний контакт 5 перемещается до соприкосновения с контактом 4; момент касания фиксируют по загоранию зеленой лампочки. При установке второго образца (наименьший предельный размер) перемещают нижний контакт 6 до тех пор, пока не загорится красная лампочка.

Конструктивное устройство преобразователя показана на рис. 6.23, б. В направляющих втулках корпуса 4 перемещается измерительный стержень 8 со съёмным наконечником 1. Хомутик 3 с прорезью, в которую входит запрессованный в корпус 4 направляющий штифт 15, удерживает стержень 8 от поворота. Гайка 2 микроподачи 8 служит для перемещения стержня при настройке датчика. Измерительное усилие создается пружиной 6. Сверху в отверстие корпуса 4 вставляется индикатор (типа 1МИГ или 1ИГ), который крепится с помощью винта 9. Измерительный наконечник индикатора опирается на верхний торец стержня 8. Индикатор необходим для настройки датчика для внесения поправок на отклонения действительных размеров настроечных образцов от предельных размеров детали. Пластмассовая планка 12 с рычагом 10 и настроечными винтами 14 образует узел, собираемый отдельно от датчика. Рычаг 10 подвешен на пружинном кресте и несет два подвижных контакта  $K1$  и  $K2$ , расположенных по концам рычага против винтов 14 с контактами  $K3$  и  $K4$ . Снаружи на этих винтах закреплены барабаны 11 и 13 с ценой деления 0,002 мм, используемые для поднастройки датчика. Связь рычага 10 с измерительным стержнем 8 осуществляется через хомутик 7, к которому припаяна пластинка из твердого сплава, опирающегося на корундовый штифт 5, образующий малое плечо рычага 10. Перемещение стержня 8 вызывает угловое отклонение рычага и замыкание или размыкание соответствующих контактов, которые соединены с источником тока и усилителем. Погрешность срабатывания электроконтактных датчиков находится в пределах  $\pm 0,5 \div \pm 1,0$  мкм.

Для устройств активного (управляющего контроля) применяют индуктивные датчики. Индуктивные датчики делятся на контактные и бесконтактные, безрычажные и рычажные, дифференциальные и недифференциальные. Схема контактного безрычажного дифференциального индуктивного прибора показана на рис. 6.24. Отклонение размеров проверяемой детали 1 вызывает перемещение измерительного стержня 2, на котором закреплен якорь 4, находящийся в воздушном зазоре между магнитопроводами индуктивных катушек 3 и 5. В зависимости от положения якоря меняется, сопротивление одной катушки возрастает, а другой уменьшается. При этом нарушается равновесие моста, образованного катушками 3 и 5 и сопротивлениями 6 и 8, который питается от стабилизированного генератора звуковой частоты 7. В результате в диагонали моста возникает ток,

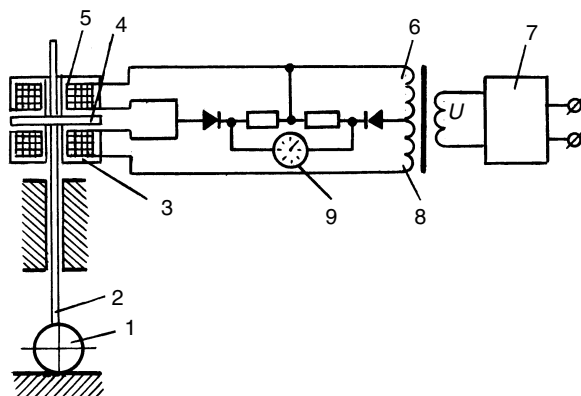


Рис. 6.24. Схема индуктивного дифференциального преобразователя

направление которого определяется отклонением в ту или иную сторону измерительного стержня от среднего положения.

Отсчетный прибор 9, включенный в диагональ моста через фазочувствительный выпрямитель, показывает величину этого отклонения.

Индуктивные преобразователи могут применяться в универсальных измерительных приборах (вместо оптиметров и ультраоптиметров) для проверки особо точных деталей, например, концевых мер длины.

Автоматизация контроля может производиться одновременно по нескольким параметрам детали — многопараметрический контроль. При массовом и крупносерийном применяют контрольно-сортировочные полуавтоматы и автоматы. Контрольно-сортировочным автоматом является устройство, осуществляющее автоматическую загрузку, транспортирование, ориентирование, контроль и разбраковку или сортировку по группам для селективной сборки. Контрольно-сортировочным полуавтоматом называют устройство, автоматически осуществляющее контроль при ручной загрузке детали и ручном выполнении некоторых других операций.

Контрольно-сортировочные автоматы выпускают с датчиками механического действия, электронными и пневматическими. Механические датчики без преобразования измерительного импульса выполняют в виде предельных, клиновых и раздвижных калибров. Кроме того, бывают механические датчики с преобразованием (увеличением) измерительного импульса.

На рис. 6.25 показан контрольно-сортировочный автомат с клиновидными калибрами.

Из бункера 1 шарики (с диаметром  $4 \div 20$  мм) попадают на две линейки 2, установленные под определенным углом  $\alpha$  между ними (при этом вершина угла  $\alpha$  обращена в сторону бункера) и под углом  $\beta$  к горизонтали.

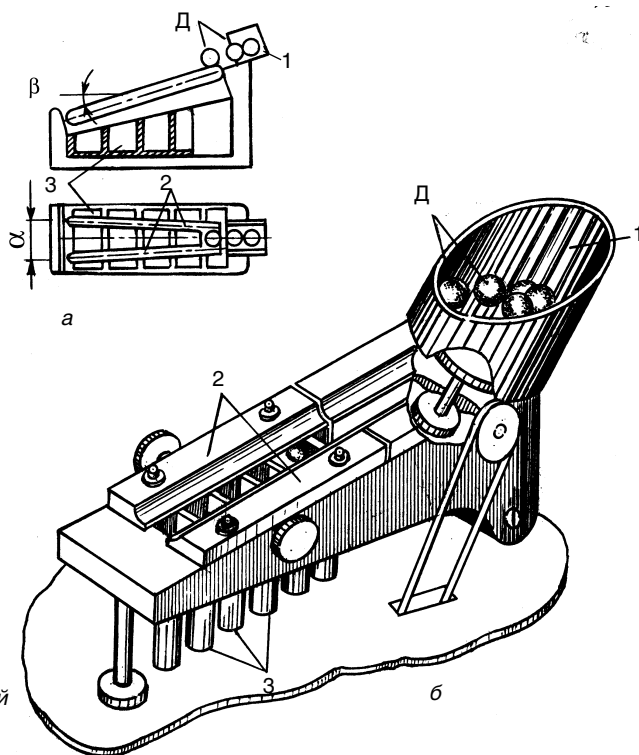


Рис. 6.25. Контрольно-сортировочный автомат с клиновыми калибрами:  
а — схема; б — общий вид

Попадая на линейки, шарики катятся по ним, постепенно опускаясь (так как линейки образуют расширяющуюся щель). В этом месте, где расстояние между линейками равно диаметру контролируемого шарика, шарик проваливается и попадает в отсеки ящика 3. Количество отсеков — 5, т.е. детали сортируются на 5 групп. Допуск на сортировочную группу  $2 \div 5$  мкм. Производительность автомата 9 тыс. шариков в час.

Для автоматизации контроля крупногабаритных деталей: валов прокатных станов, валов бумагоделательных машин, диаметров обечаек аппаратов, а также длин протяжённых изделий: длины проката размеров листовых материалов разработаны средства автоматизированного контроля, с использованием принципа обката образцовым роликом.

### 6.7. ТРЁХМЕРНЫЕ ОПТИЧЕСКИЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

Трёхмерные оптические системы применяются для быстрой оцифровки бесконтактным методом сложных объектов. Трёхмерные оптические измерительные системы позволяют: получать математические модели объектов; проводить измерения размеров деталей; производить сравнение геометрических размеров моделей, деталей, оснастки с полученными при *CAD*-проектировании; проводить контроль качества. Основные преимущества этих систем следующие: бесконтактный оптический метод оцифровки; высокая скорость оцифровки геометрически сложных объектов; быстрая обработка оцифрованных данных; назначение единой координатной системы для оцифрованных данных и для *CAD* данных; сравнение размеров и геометрии объектов с *CAD* данными; вывод результатов оцифровки в виде множества точек, трехмерных кривых на поверхности или файла. Трёхмерные оптические системы относятся к системам компьютерного стереоскопического зрения.

Компьютерное стереоскопическое зрение можно сравнить со зрением человека. Отличительной особенностью человеческого зрения является то, что, получая посредством зрения информацию об окружающем пространстве, человек способен анализировать ее и на основе этого анализа принимать дальнейшее решение. Таким образом, под зрением понимаются две составляющие отображение — информации и ее дальнейший анализ. Приблизительно так же устроено и компьютерное зрение. Компьютер адекватно, в режиме реального времени, воспроизводит и запоминает (т. е. фотографирует) информацию об окружающем пространстве, а далее анализирует полученную информацию. Между человеческим и компьютерным зрением много общего. Человек способен видеть окружающий мир посредством глаз и анализировать полученную информацию, используя свой мозг. Компьютер воспринимает, т. е. видит, окружающий мир посредством электронных сенсоров, а проще говоря, посредством цифровых видеокамер, а анализ полученной информации возможен с помощью современных высокопроизводительных процессоров.

Человек получает информацию об окружающем пространстве посредством двух глаз, стереоскопическое компьютерное зрение реализуется с использованием двух видеокамер.

Цвет и яркость объекта являются двумя координатами, а расстояние до объекта — третья координата. Таким образом, воспринимаемая информация становится трехмерной, при этом яркость — это амплитуда электромагнитного излучения, частота — цвет объекта, фаза — объём.

По этому принципу в Сибирском отделении Российской академии наук созданы установки для измерения геометрических размеров цилиндрических изделий «Бурун», наружных и внутренних размеров цилиндрических изделий «Блик-М».

Системы машинного зрения применяют для контроля качества различного вида продукции, в том числе вида и упаковки продуктов питания и фармацевтических изделий, регулировки ходовой части автомобилей и др.

Примером является система фирмы *Bosch* для высокоточного оптического анализа геометрии ходовой части. Она представляет собой оптическую систему, которая измеряет установку колес при помощи бесконтактной трехмерной технологии и параллельно определяет высоту транспортного средства в режиме реального времени. Таким образом, автосервисы получают в свое распоряжение новейший прецизионный измерительный инструмент, необходимый для точной и быстрой регулировки ходовой части современных автомобилей.

Для выполнения измерений автомобиль должен медленно проехать мимо четырех специальных стоек, расположенных вокруг измерительной площадки. Каждая из стоек оснащена двумя стереоскопическими видеокамерами, регистрирующими расположение маркеров на колесах и кузове. За доли секунды компьютер системы обрабатывает видеоданные, измеряя развал и схождение в момент прохождения между стойками. При этом учитывается компенсация биения обода, а также автоматически определяется высота транспортного средства и рассчитываются соответствующие требуемые значения. Если высота изменяется, эти значения автоматически обновляются, система также самостоятельно компенсирует неровное положение подъемника.

Системы машинного зрения применяют для контроля качества различного вида продукции, в том числе вида и упаковки продуктов питания и фармацевтических изделий.

## ГЛАВА 7

# ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМОСТЬ ИЗДЕЛИЙ

### 7.1. ПОНЯТИЕ О ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМОСТИ И ЕЁ ВИДАХ

Современное производство продукции организовано таким образом, что процессы изготовления деталей и их сборки в изделия могут осуществляться в разных местах, цехах или даже на разных предприятиях. Составные части изделия, изготовленные независимо друг от друга и в первую очередь стандартные: крепежные детали, подшипники качения, электротехнические, резиновые, пластмассовые и другие, в том числе получаемые по кооперации от сторонних предприятий, должны обеспечивать сборку готовых изделий, удовлетворяющих требованиям технических регламентов и технических условий и, следовательно, иметь необходимое качество. Это становится возможным, когда при проектировании, изготовлении и эксплуатации изделий применяется *принцип взаимозаменяемости*, представляющим собой комплекс научно-технических и организационных мероприятий. Как говорилось в разделе 2.1, взаимозаменяемость является одной из целей стандартизации и является составляющей технического регулирования при производстве продукции.

*Взаимозаменяемость* — свойство составных частей изделия обеспечивать возможность его сборки в процессе изготовления и ремонта при эксплуатации с соблюдением установленных технических требований к готовому изделию. Составными частями изделия являются детали, сборочные единицы (узлы) и агрегаты, которые изготавливаются отдельно в нужном количестве, в зависимости от размера партии изделий и необходимости в запасных частях. Свойство взаимозаменяемости создаётся путём изготовления составных частей изделия с установленной точностью. Детали и узлы будут взаимозаменяемы, только тогда, когда их размеры, форма, физические свойства материала и другие, количественные и качественные характеристики находятся в заданных пределах.

В зависимости от технико-экономических условий взаимозаменяемость может быть полной и неполной (ограниченной).

*Полная взаимозаменяемость* обеспечивается при выполнении геометрических, физико-механических и других параметров деталей с точностью, позволяющей производить сборку (или замену при ремонте) любых сопрягаемых деталей и сборочных единиц (узлов) без какой бы то ни было дополнительной их обработки, подбора или регулирования и получать изделия требуемого качества. В этом случае точность сборки всех экземпляров одноименных соединений или узлов (блоков) будет находиться в допусковых пределах. Полная взаимозаменяемость обладает следующими преимуществами: упрощается процесс сборки, он сводится к простому соединению деталей рабочими невысокой квалификации; сборочный процесс точно нормируется во времени, легко укладывается в устанавливаемый темп работы и может быть организован поточным методом; создаются условия для автоматизации процессов изготовления и сборки изделий; возможны широкая специализация и кооперирование заводов (т. е. изготовление заводом-поставщиком ограниченной номенклатуры унифицированных изделий, узлов и деталей и поставка их заводу, выпускающему основные изделия); упрощается ремонт изделий, так как любая износившаяся или сломанная деталь или узел могут быть заменены новыми (запасными). Полную взаимозаменяемость экономически целесообразно применять, когда имеются условия, которые позволяют изготавливать детали с точностью не выше 6-го качества точности. Это встречается, например, в изделиях: состоящих из небольшого количества деталей; в изделиях к точности функциональных параметров (зазоров, натягов) которых не предъявляются высокие требования к точности; для которых главным является недопустимость выхода из границ допуска функциональных зазоров или натягов даже у части изделий.

В тех случаях, когда полная взаимозаменяемость становится экономически нецелесообразной, применяют неполную (ограниченную) взаимозаменяемость. *При неполной (ограниченной) взаимозаменяемости* для достижения требуемой точности функциональных параметров (зазоров, натягов) допускается групповой подбор деталей (селективная сборка), сборка по паспорту-формуляру, применение компенсаторов, регулирование положения некоторых составных частей изделия, пригонка по месту и другие дополнительные технологические мероприятия.

Принятие того или иного вида взаимозаменяемости при производстве изделий определяется многими факторами, главными из которых являются: выполнение требований технических регламентов и техни-

ческих условий; объём выпуска, затраты на производство и эксплуатацию и др.

Составные **части изделия** могут обладать внешней или внутренней взаимозаменяемостью.

*Внешняя взаимозаменяемость* — это взаимозаменяемость покупных и кооперируемых деталей и сборочных единиц по эксплуатационным показателям, а также по размерам, форме и качеству присоединительных поверхностей, т. е. таких, по которым взаимосвязанные узлы основного изделия соединяются между собой и с покупными и кооперируемыми изделиями. Например, в электродвигателях внешняя взаимозаменяемость осуществляется по числу оборотов вала и мощности, а также по размерам присоединительных поверхностей; в подшипниках качения — по диаметрам наружного и внутреннего колец, а также по классу точности.

*Внутренняя взаимозаменяемость* является относительной и распространяется на детали, которые входят в конкретные сборочные единицы (узлы, механизмы), как правило, собираемые методом селективной сборки. Примером изделий, в которых есть внешняя и внутренняя взаимозаменяемость являются подшипники качения. Все подшипники качения обладают внешней взаимозаменяемостью по наружному и внутреннему кольцам. Любой стандартный подшипник может быть заменён на аналогичный без потери качества. Тела качения и кольца имеют внутреннюю взаимозаменяемость, это означает, что они не могут быть использованы в любом другом аналогичном подшипнике.

*Уровень взаимозаменяемости производства* может характеризоваться коэффициентом взаимозаменяемости  $K_{\text{в}}$ , равным отношению трудоёмкости изготовления взаимозаменяемых деталей и частей к общей трудоёмкости изготовления изделия. Значение этого коэффициента может быть различным. Однако степень его приближения к единице является объективным показателем технического уровня производства.

*Функциональная взаимозаменяемость* — принцип проектирования, производства и эксплуатации, при котором требования к точности ответственных деталей и сборочных единиц назначаются исходя из установления взаимосвязи показателей качества изделия с функциональными параметрами. Функциональными параметрами являются геометрические, физико-механические и другие параметры, влияющие на эксплуатационные показатели изделий или служебные функции их деталей и узлов. Например, от величины зазора между поршнем и цилиндром (функционального параметра) зависит мощность и к.п.д. двигателей (эксплуатационные показатели), а в поршневых компрессорах — коэффициент подачи. Эти параметры названы функциональными, чтобы

подчеркнуть их связь со служебными функциями деталей, узлов и изделий.

## 7.2. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМОСТИ ПО ГЕОМЕТРИЧЕСКИМ ПАРАМЕТРАМ

Детали машин и других изделий ограничены замкнутыми поверхностями, которые могут быть участками цилиндрических, конических, сферических, плоских и других простых поверхностей. Различают *номинальные геометрические поверхности*, имеющие предписанные чертежом формы и размеры без неровностей и отклонений, и *действительные (реальные) поверхности*, полученные в результате обработки деталей, размеры которых определены путем измерения с допустимой погрешностью. Аналогично различают *номинальный и действительный профили*, *номинальное и действительное расположение поверхностей и осей*. Под *профилем* понимается линия пересечения (или контур сечения) поверхности плоскостью, ориентированной в заданном направлении. Действительные поверхности и профили отличаются от номинальных поверхностей.

В России действуют Единая система допусков и посадок (ЕСДП) и Основные нормы взаимозаменяемости, базирующиеся на стандартах и рекомендациях ИСО. ЕСДП распространяется на допуски размеров гладких (ограниченных цилиндрическими и плоскими поверхностями) элементов деталей и на посадки, образуемые при соединении этих деталей. Основные нормы взаимозаменяемости содержат системы допусков и посадок на резьбы, зубчатые передачи, конуса и другие детали и соединения общего назначения.

### Размеры и предельные отклонения

При конструировании определяются размеры детали, характеризующие ее величину и форму. Они назначаются на основе результатов расчета деталей на прочность и жесткость, а также исходя из обеспечения технологичности конструкции и других показателей в соответствии с функциональным назначением детали. На чертеже должны быть проставлены размеры и точность, необходимые для изготовления детали и её контроля и обеспечения взаимозаменяемости.

Основные термины и определения в этой области установлены ГОСТ 25346—89 «Основные нормы взаимозаменяемости. ЕСДП. Общие положения, ряды допусков и основных отклонений».

**Размер** — это числовое значение линейной величины (диаметра, длины и т. д.) в выбранных единицах измерения.

По назначению различают размеры, определяющие величину и форму детали, координирующие, сборочные, габаритные и монтажные размеры. Первые выбирают на основе результатов расчета деталей на прочность и жесткость, а также исходя из совершенства геометрических форм и обеспечения технологичности конструкции. Координирующие размеры (у деталей сложной формы и в узлах) определяют необходимое для правильной работы механизма, взаимное положение ответственных поверхностей и осей деталей или положение их относительно определенных поверхностей, линий или точек, называемых конструктивными базами. Сборочные и монтажные размеры характеризуют положение сборочных единиц (узлов) и комплектующих изделий по присоединительным поверхностям, а также положение основного изделия на месте монтажа. Габаритные размеры указываются по положению выступающих частей. Кроме того, могут быть технологические размеры, необходимые непосредственно для изготовления детали и ее контроля. При их определении конструктор должен предусматривать оптимальный способ и последовательность изготовления, а также контроля детали и в соответствии с этим проставлять размеры на чертеже. При описании реальной поверхности детали используют понятие *текущего размера* — переменный радиус-вектор, величина и направление которого изменяется в зависимости от расположения точек реального профиля.

Размеры могут быть номинальные, действительные и предельные.

**Номинальный размер** — размер, относительно которого определяются предельные размеры и который служит началом отсчета отклонений. Номинальный размер определяется, исходя из функционального назначения детали или узла, на основе кинематических, динамических, прочностных и других расчетов или выбирается из конструктивных, технологических, эксплуатационных, эстетических и других соображений. Значения размеров, полученные расчётом, округляются (как правило, в большую сторону) до стандартного значения, взятого из рядов предпочтительных чисел (ГОСТ 6636—69) и указываются на чертеже. Технологические межоперационные размеры, размеры, зависящие от других принятых размеров, а также размеры, регламентированные в стандартах на конкретные изделия (например, размеры среднего диаметра резьбы), могут и не соответствовать ГОСТ 6636—69.

**Действительный размер** — размер, установленный измерением с допустимой погрешностью.

Допускаемый диапазон размеров годной детали устанавливают *предельные размеры*. Действительный размер годной детали должен нахо-

диться между наибольшим и наименьшим предельными значениями размера.

*Предельные размеры* — два предельно допустимых размера, между которыми должен находиться или которым может быть равен действительный размер детали. *Наибольший предельный размер* — больший из двух предельных размеров, меньший — *наименьший предельный размер*.

ГОСТ 25346—89 устанавливает понятия проходного и непроходного пределов размера. *Проходной предел* — термин, применяемый к тому из двух предельных размеров, который соответствует максимальному количеству материала, а именно верхнему пределу для вала и нижнему пределу для отверстия (при применении предельных контрольных калибров речь идёт о предельном размере, проверяемом проходным калибром). *Непроходной предел* — термин, применяемый к тому из двух предельных размеров, который соответствует минимальному количеству материала, а именно нижнему пределу для вала и верхнему пределу для отверстия (при применении предельных калибров контрольных речь идет о предельном размере, проверяемом непроходным калибром). Чтобы гарантировать в наибольшей практически достижимой степени выполнение функциональных требований системы допусков и посадок, *предельные размеры на предписанной длине* должны быть истолкованы следующим образом. Для отверстия диаметр наибольшего правильного воображаемого цилиндра, который может быть вписан в отверстие так, чтобы плотно контактировать с наиболее выступающими точками поверхности (размер сопрягаемой детали идеальной геометрической формы, прилегающей к отверстию без зазора), не должен быть меньше, чем проходной предел размера. Дополнительно наибольший диаметр в любом месте отверстия не должен превышать непроходного предела размера. Для валов диаметр наименьшего правильного воображаемого цилиндра, который может быть описан вокруг вала так, чтобы плотно контактировать с наиболее выступающими точками поверхности (размер сопрягаемой детали идеальной геометрической формы, прилегающей к валу без зазора), не должен быть больше, чем проходной предел размера. Дополнительно минимальный диаметр в любом месте вала не должен быть меньше непроходного предела размера.

*Отклонение ( $E$ )* — это алгебраическая разность между действительным, предельным или текущим размером и соответствующим номинальным размером.

*Действительное отклонение ( $E_r$ )* — это алгебраическая разность между действительным и номинальным размерами.

*Предельное отклонение* — это алгебраическая разность между предельным и номинальным размерами.

*Верхнее предельное отклонение ( $E_s$ )* — алгебраическая разность между наибольшим предельным и номинальным размерами.

*Нижнее предельное отклонение ( $E_i$ )* — алгебраическая разность между наименьшим предельным и номинальным размерами.

Отклонения могут быть положительными или отрицательными. На чертежах номинальные и предельные линейные размеры и их отклонения представляют в миллиметрах без указания единицы измерения (ГОСТ 2.307—68), например:  $42^{+0,003}_{-0,013}$ ;  $42^{-0,013}_{-0,024}$ ;  $\varnothing 50^{-0,070}_{-0,109}$ ;  $42^{+0,11}_{-0,025}$ ;  $\varnothing 100 \pm 0,043$ . Угловые размеры и их предельные отклонения проставляют в градусах, минутах или секундах с указанием единицы, например,  $0^\circ 30' 40''$ . Предельные отклонения в таблицах указывают в микрометрах. Отклонения, равные по абсолютной величине, указывают одной цифрой со знаком плюс-минус, например  $60 \pm 0,2$ ;  $120^\circ \pm 20^\circ$ . Отклонение, равное нулю, на чертежах не проставляют. В этом случае проставляют только одно отклонение — положительное на месте верхнего или отрицательное на месте нижнего предельного отклонения, например,  $100^{+0,02}$ ;  $100_{-0,02}$ .

### Допуски и посадки

*Допуск ( $T$ ) размера* — это разность между наибольшим и наименьшим предельными размерами или абсолютное значение алгебраической разности между верхним и нижним отклонениями. Допуск всегда положителен. Он определяет допускаемое поле рассеяния действительных размеров годных деталей в партии, т. е. заданную точность изготовления. С уменьшением допуска качество изделий, как правило, улучшается, но стоимость производства увеличивается.

Для наглядного представления размеров, предельных отклонений и допусков, а также характера соединений используют графическое, схематическое изображение полей допусков, располагаемых относительно нулевой линии (рис. 7.1).

*Нулевая линия* — это линия, соответствующая номинальному размеру, от которой откладываются отклонения размеров при графическом изображении допусков и посадок. При горизонтальном расположении нулевой линии положительные отклонения откладываются вверх от нее, а отрицательные — вниз.

*Поле допуска* — это поле, ограниченное верхним и нижним отклонениями. Поле допуска определяется величиной допуска, а его положение относительно номинального размера определяется *основным отклонением*.

*Основное отклонение ( $E_o$ )* — одно из двух отклонений (верхнее или нижнее), определяющее положение поля допуска относительно нулевой

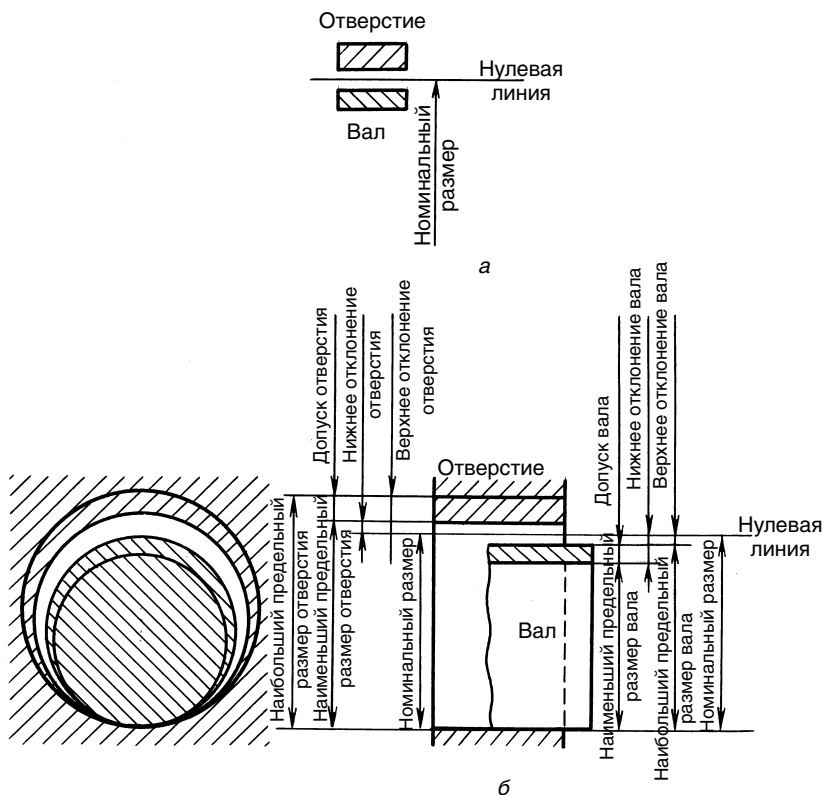


Рис. 7.1. Поля допусков отверстия и вала при посадке с зазором (отклонения отверстия положительные, отклонения вала отрицательные):  
а — схема расположения полей допусков; б — соединение отверстия вала

линии. Основное отклонение — это ближайшее расстояние от границы поля допуска до нулевой линии.

В готовых изделиях детали в большинстве случаев сопрягаются по своим формообразующим поверхностям, образуя *соединения*. Две или несколько подвижно или неподвижно соединяемых деталей называют *сопрягаемыми*. Поверхности, по которым происходит соединение деталей, называются *сопрягаемыми поверхностями*. Остальные поверхности называют *несопрягаемыми (свободными)*. В соответствии с этим различают размеры сопрягаемых и несопрягаемых (свободных) поверхностей.

В соединении деталей, входящих одна в другую, есть охватывающие и охватываемые поверхности. Охватывающую поверхность называют

*отверстие*, охватываемую — *вал* (рис.7.1). Термины «отверстие» и «вал» относятся не только к цилиндрическим деталям. Они могут быть применены к охватывающим и охватываемым поверхностям любой формы, в том числе не замкнутым, например, к плоским (паз и шпонка).

Размеры отверстий обозначают любыми заглавными буквами, например: *A, B, G, B, Ц* и т.д., валов — строчными: *a, b, g, б, ц* и т.д. Предельные размеры обозначают с индексами *max* — наибольший предельный размер, *min* — наименьший предельный размер, например:  $A_{\max}$ ,  $B_{\min}$ ,  $a_{\max}$ ,  $b_{\min}$ . Предельные отклонения отверстий обозначают: верхнее — *ES*, нижнее — *EI*, валов — соответственно *es* и *ei*. При решении других задач, например, расчёта размерных цепей и др., предельные отклонения можно обозначать *Es* — верхнее отклонение, *Ei* — нижнее. Таким образом, для отверстия  $ES = D_{\max} - D$ ;  $EI = D_{\min} - D$ ; для вала  $es = d_{\max} - d$ ;  $ei = d_{\min} - d$ ; для любого размера  $Es = A_{\max} - A$ ;  $Ei = A_{\min} - A$  или  $Es = a_{\max} - a$ ;  $Ei = a_{\min} - a$ .

Допуски размеров охватывающей и охватываемой поверхностей называют соответственно допуском отверстия (*TA*) и допуском вала (*Ta*).

Разнообразные виды соединений деталей, применяемые в технике, можно разделить на группы. По форме сопрягаемых поверхностей деталей различают:

а) гладкие цилиндрические и конические соединения, состоящие из охватывающей и охватываемой цилиндрических или конических поверхностей;

б) плоские соединения, состоящие из охватывающей и охватываемой поверхностей, образованных плоскостями (например, соединение поршневого кольца с поверхностями паза поршня, соединение шпонки с поверхностями пазов вала и втулки, соединения типа «ласточкин хвост» и т. п.);

в) резьбовые и винтовые соединения (цилиндрические, конические), состоящие из охватывающей и охватываемой винтовых поверхностей с треугольным, трапециевидным или другим профилем;

г) зубчатые цилиндрические, конические, волновые, винтовые и гипоидные передачи, состоящие из периодически соприкасающихся зубьев колес, имеющих эвольвентный, циклоидальный или другой профиль; к этой же группе можно отнести червячные передачи, состоящие из периодически соприкасающихся зубьев червячного колеса и винтовых поверхностей червяка, имеющего эвольвентный, конволютный или другой профиль;

д) шлицевые соединения, состоящие из охватывающей и охватываемой поверхностей, имеющих продольные закономерно расположенные по окружности шлицы прямобоочного, эвольвентного или треугольного профиля;

е) сферические соединения, состоящие из двух сферических поверхностей (шарнирные и керновые соединения, соединения шариков с дорожками качения в подшипниках и т. п.).

По степени свободы взаимного перемещения деталей различают:

а) неподвижные неразъемные соединения, в которых одна соединяемая деталь неподвижна относительно другой в течение всего времени работы механизма: соединения деталей сваркой, клепкой, клеем, соединения с гарантированным натягом (например, бронзового венца червячного колеса со стальной ступицей); первые три вида этих соединений разборке не подвергаются, а четвертый может разбираться лишь при крайней необходимости;

б) неподвижные разъемные соединения, отличающиеся от предыдущих тем, что в них возможно перемещение одной детали относительно другой при регулировке и разборке соединения при ремонте (например, крепежные резьбовые, шлицевые, шпоночные, клиновые и штифтовые соединения);

в) подвижные соединения, в которых одна соединяемая деталь во время работы механизма перемещается относительно другой в определенных направлениях.

В каждую из групп входит много разновидностей соединений, имеющих свои конструктивные особенности и свою область применения. В зависимости от эксплуатационных требований сборку соединений осуществляют с различными посадками.

*Посадкой* называется характер соединения деталей, определяемый величиной получающихся в нем зазоров или натягов. Посадка характеризует большую или меньшую свободу относительного перемещения или степень сопротивления взаимному смещению соединяемых деталей. Тип посадки определяется величиной и взаимным расположением полей допусков отверстия и вала. Номинальный размер отверстия и вала, составляющих соединение является общим и называется *номинальным размером посадки*.

Если размер отверстия больше размера вала, то их разность называется *зазором* ( $S$ ), т.е.  $S = D - d \geq 0$ ; если размер вала до сборки больше размера отверстия, то их разность называется *натягом* ( $N$ ), т.е.  $N = d - D > 0$ . В расчетах натяг принимают как отрицательный зазор.

При расчёте посадок определяют предельные и средний зазоры или натяги. Наибольший ( $S_{\max}$ ), наименьший ( $S_{\min}$ ) и средний зазор ( $S_m$ ), соответственно равны:  $S_{\max} = D_{\max} - d_{\min}$ ;  $S_{\min} = D_{\min} - d_{\max}$ ;  $S_m = 0,5 \cdot (S_{\max} + S_{\min})$ . Аналогично подсчитывают наибольший ( $N_{\max}$ ) и наименьший натяги ( $N_{\min}$ ) и средний натяг ( $N_m$ )  $N_{\max} = d_{\max} - D_{\min}$ ;  $N_{\min} = d_{\min} - D_{\max}$ ;  $N_m = 0,5 \cdot (N_{\max} + N_{\min})$ .

Посадки разделяются на три группы: с зазором, с натягом и переходные посадки.

*Посадка с зазором* — посадка, при которой обеспечивается зазор в соединении (поле допуска отверстия расположено над полем допуска вала, рис. 7.2, а). К посадкам с зазором относятся также посадки, в которых нижняя граница поля допуска отверстия совпадает с верхней границей поля допуска вала, т. е.  $S_{\min} = 0$ .

*Посадка с натягом* — посадка, при которой обеспечивается натяг в соединении (поле допуска отверстия расположено под полем допуска вала, рис. 7.2, в).

*Переходная посадка* — посадка, при которой возможно получение как зазора, так и натяга (поля допусков отверстия и вала перекрываются частично или полностью, рис. 7.2, б).

*Допуск посадки* — разность между наибольшим и наименьшим допускаемыми зазорами (допуск зазора  $TS$  в посадках с зазором) или наибольшим и наименьшим допускаемыми натягами (допуск натяга  $TN$  в посадках с натягом):  $TS = S_{\max} - S_{\min}$ ;  $TN = N_{\max} - N_{\min}$ .

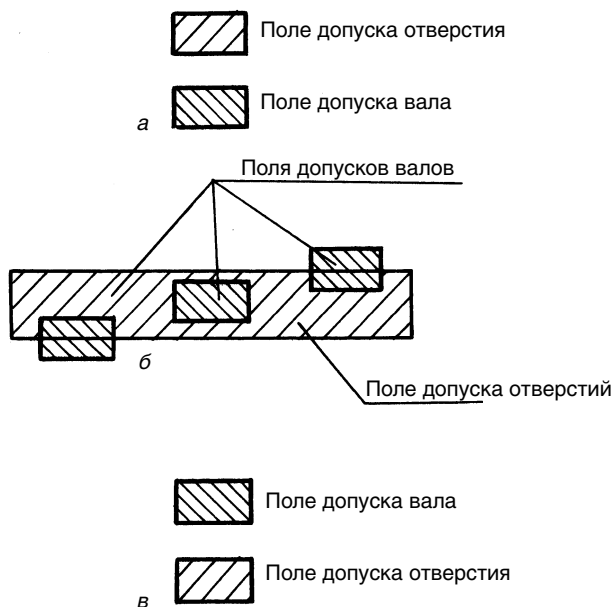


Рис. 7.2. Схемы полей допусков посадок: а — с зазором; б — переходные; в — с натягом

В переходных посадках допуск посадки равен сумме наибольшего зазора и наибольшего натяга, взятых по абсолютному значению  $TS(N) = S_{\max} + N_{\max}$ . Для всех типов посадок допуск посадки равен сумме допусков отверстия и вала, т. е.  $TS(N) = TD + Td$ .

В переходных посадках при наибольшем предельном размере вала и наименьшем предельном размере отверстия получается наибольший натяг ( $N_{\max}$ ), а при наибольшем предельном размере отверстия и наименьшем предельном размере вала — наибольший зазор ( $S_{\max}$ ). Минимальный зазор в переходной посадке равен нулю ( $S_{\min} = 0$ ). Средний зазор или натяг равен половине разности наибольшего зазора и наибольшего натяга  $S_m(N_m) = 0,5 \cdot (S_{\max} - N_{\max})$ . Положительное значение соответствует зазору  $S_m$ , отрицательное — натягу  $N_m$ .

### 7.3. ЕДИНЫЕ ПРИНЦИПЫ СТАНДАРТИЗАЦИИ СИСТЕМ ДОПУСКОВ И ПОСАДОК

*Системой допусков и посадок* называют совокупность рядов допусков и посадок, закономерно построенных на основе опыта, теоретических и экспериментальных исследований и оформленных в виде стандартов. Система предназначена для выбора минимально необходимых, но достаточных для практики вариантов допусков и посадок типовых соединений деталей машин, дает возможность стандартизовать режущие инструменты и калибры, облегчает конструирование, производство и достижение взаимозаменяемости изделий и их частей, а также обуславливает повышение их качества.

В настоящее время большинство стран мира применяет системы допусков и посадок ИСО. Системы ИСО созданы для унификации национальных систем допусков и посадок с целью облегчения международных технических связей в металлообрабатывающей промышленности. Включение международных рекомендаций ИСО в национальные стандарты создает условия для обеспечения взаимозаменяемости однотипных деталей, составных частей и изделий, изготовленных в разных странах. Советский Союз вступил в ИСО в 1977 г., а затем перешёл на единую систему допусков и посадок (ЕСДП) и основные нормы взаимозаменяемости, которые базируются на стандартах и рекомендациях ИСО. Основные нормы взаимозаменяемости включают системы допусков и посадок на цилиндрические детали, конуса, шпонки, резьбы, зубчатые передачи и др.

Системы допусков и посадок ИСО и ЕСДП для типовых деталей машин основаны на единых принципах построения, включающих: систе-

му образования посадок и видов сопряжений; систему основных отклонений; уровни точности; единицу допуска; предпочтительные поля допусков и посадок; диапазоны и интервалы номинальных размеров; нормальную температуру.

*Система образования посадок и видов сопряжений* предусматривает посадки в *системе отверстия (СА)* и в *системе вала (СВ)*. *Посадки в системе отверстия* — это посадки, в которых различные зазоры и натяги получаются соединением различных валов с основным отверстием (рис. 7.3, а). *Посадки в системе вала* — это посадки, в которых различные зазоры и натяги получаются соединением различных отверстий с основным валом (рис. 7.3, б).

Для всех посадок в системе отверстия нижнее отклонение отверстия  $EI = 0$ , т. е. нижняя граница поля допуска основного отверстия, всегда совпадает с нулевой линией. Для всех посадок в системе вала верхнее отклонение основного вала  $es = 0$ , т. е. верхняя граница поля допуска вала всегда совпадает с нулевой линией. Поле допуска основного отверстия откладывают вверх, поле допуска основного вала — вниз от нулевой линии, т. е. в материал детали.

*Система основных отклонений* представляет собой ряд основных отклонений валов в СА и отверстий в СВ, обозначаемых соответственно строчными и заглавными буквами латинского алфавита, например  $a, b, \dots, zb, zc; A, B, \dots, ZB, ZC$ . Значение основного отклонения определяется

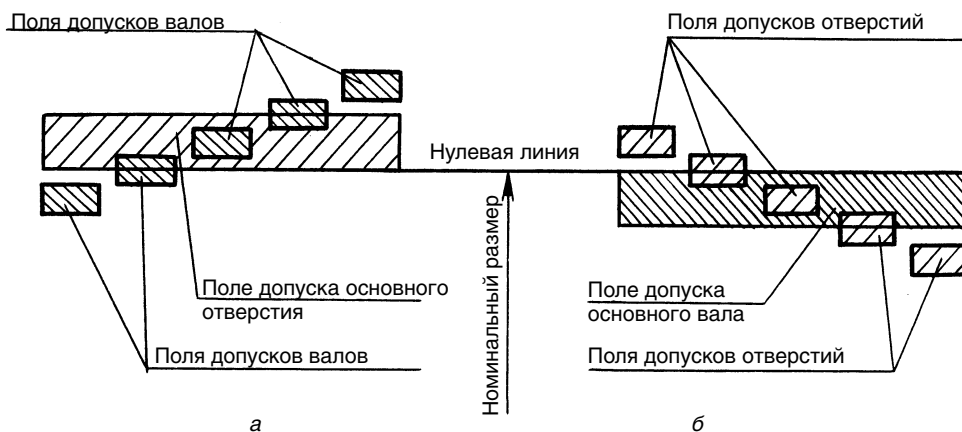


Рис. 7.3. Примеры расположения полей допусков для посадок:  
а — в системе отверстия; б — в системе вала

соответствующей буквой и зависит от номинального размера. В системах допусков и посадок разных типов деталей установлено разное число основных отклонений, наибольшее их количество содержится в системе допусков и посадок гладких цилиндрических деталей.

*Уровни точности* могут называться по-разному: квалитеты точности — для гладких деталей, степени точности — для резьбовых деталей и зубчатых колёс или классы точности — для подшипников качения, но в любом случае они определяют требуемую ступень точности деталей для выполнения своих функций. Обозначаются уровни точности, как правило, арабскими цифрами, чем меньше цифра, тем выше уровень точности, т.е. точнее деталь.

*Единица допуска* — это зависимость допуска от номинального размера, которая является мерой точности, отражающей влияние технологических, конструктивных и метрологических факторов. Единицы допуска в системах допусков и посадок установлены на основании исследований точности механической обработки деталей. Значение допуска можно рассчитать по формуле  $T = a \cdot i$ , где  $a$  — число единиц допуска, зависящее от уровня точности (квалитет или степень точности);  $i$  — единица допуска.

*Предпочтительные поля допусков и посадок* представляют собой совокупность отобранных из числа наиболее часто применяемых в производстве изделий полей допусков и составляемых из их числа посадок или видов сопряжений. Эти поля допусков и посадок составляют ряды предпочтительных и рекомендуемых и должны в первую очередь использоваться при проектировании изделий.

*Диапазоны и интервалы номинальных размеров* учитывают влияние масштабного фактора на значение единицы допуска. В пределах одного диапазона размеров зависимость единицы допуска от номинального размера — постоянна. Например, в системе допусков и посадок гладких деталей для диапазона размеров от 1 до 500 мм единица допуска равна  $i = 0,45\sqrt[3]{D} + 0,001D$ ; для диапазона размеров свыше 500 до 3150 мм единица допуска равна  $i = 0,004D + 2,1$ . Для построения рядов допусков каждый из диапазонов размеров, в свою очередь, разделен на несколько интервалов. Поскольку назначать допуск для каждого номинального размера экономически нецелесообразно для всех размеров, объединенных в один интервал, значения допусков приняты одинаковыми. В формулах единиц допусков в системе ИСО и ЕСДП в качестве размеров подставляют среднее геометрическое крайних размеров каждого интервала:  $D = \sqrt{D_{\min} D_{\max}}$ . Размеры по интервалам распределены так, чтобы допуски, подсчитанные по крайним значениям в каждом интервале, отличались от допусков, подсчитанных по среднему значению диаметра в том же интервале, не более чем на 5—8%.

*Нормальная температура*, при которой определены допуски и отклонения, устанавливаемые стандартами, принята равной  $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$  (ГОСТ 9249—59). Такая температура близка к температуре рабочих помещений производственных помещений. Градуировку и аттестацию всех линейных и угловых мер и измерительных приборов, а также точные измерения следует выполнять при нормальной температуре, отступления от нее не должны превышать допускаемых значений, содержащихся в ГОСТ 8.050—73 (Государственная система измерений). Температура детали и измерительного средства в момент контроля должна быть одинаковой, что может быть достигнуто совместной выдержкой детали и измерительного средства в одинаковых условиях (например, на чугунной плите).

В отдельных случаях погрешность измерения, вызванную отклонением от нормальной температуры и разностью температурных коэффициентов линейного расширения материалов детали и измерительного средства, можно компенсировать введением поправки, равной погрешности, взятой с обратным знаком. Температурную погрешность  $\Delta l$  приближенно определяют по формуле

$$\Delta l = l (\alpha_1 \Delta t_1 - \alpha_2 \Delta t_2),$$

где  $l$  — измеряемый размер, мм;  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  — температурные коэффициенты линейного расширения материалов детали и измерительного средства;  $\Delta t_1 = t_1 - 20\text{ }^{\circ}\text{C}$  — разность между температурой детали и нормальной температурой;  $\Delta t_2 = t_2 - 20\text{ }^{\circ}\text{C}$  — разность между температурой измерительного средства  $t_2$  и нормальной температурой. Если температура детали и средства измерения одинакова, но не равна  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ , также неизбежны ошибки вследствие разности температурных коэффициентов линейного расширения детали и измерительного средства. В этом случае (т. е. при  $\Delta t_1 = \Delta t_2 = \Delta t$ ) погрешность

$$\Delta l = l \Delta t (\alpha_1 - \alpha_2).$$

Если температура воздуха в производственном помещении, контролируемой детали и измерительного средства стабилизированы и равны  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ , температурная погрешность измерения отсутствует при любой разности температурных коэффициентов линейного расширения, так как при  $\Delta t_1 = \Delta t_2 = 0$   $\Delta l = 0$ .

Формулы являются приближенными, так как из-за сложности конфигурации деталей их деформация при изменении температуры не подчиняется линейному закону. Таким образом, для устранения температурных погрешностей необходимо соблюдать нормальный температурный режим в помещениях измерительных лабораторий, инструментальных, механических и сборочных цехов.

## 7.4. ОБЕСПЕЧЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМОСТИ ИЗДЕЛИЙ

### Основные стадии обеспечения функциональной взаимозаменяемости

Обеспечение функциональной взаимозаменяемости изделий предусматривает расчёты и оптимизацию параметров точности: допусков и предельных отклонений размеров, допусков формы и расположения поверхностей, а также параметров шероховатости поверхностей. Эти расчёты основаны на установлении взаимосвязей показателей качества изделия с функциональными параметрами его деталей и сборочных единиц. Назначение оптимальных точностных требований к функциональным параметрам позволяет создать гарантированный запас работоспособности изделий при обеспечении их эксплуатационных показателей, определяющих качество функционирования (производительности, точности и др.) в заданных пределах.

Изготовление деталей и сборочных единиц изделия с установленной точностью по геометрическим, механическим, электрическим и другим функциональным параметрам обеспечивает функциональную взаимозаменяемость всех однотипных изделий, выпускаемых предприятием.

*На стадии конструирования изделий* используют следующие исходные положения.

- Эксплуатационные показатели машин определяются: уровнем и стабильностью характеристик рабочего процесса; размерами, формой и другими геометрическими параметрами деталей и сборочных единиц (узлов) изделий; уровнем механических, физических и химических свойств материалов, из которых изготовлены детали, и другими факторами. Неизбежные погрешности и колебания свойств материалов вызывают изменение значений параметров рабочего процесса и эксплуатационных показателей машин. Поэтому для ответственных деталей и сборочных единиц (узлов) взаимозаменяемость необходимо соблюдать не только по размерам, форме и другим геометрическим параметрам, показателям механических свойств материала (особенно поверхностного слоя деталей), но и (в зависимости от принципа действия узла или машины) по электрическим, гидравлическим, оптическим, химическим и другим функциональным параметрам.

- Необходимо обеспечивать однородность исходного сырья, материалов, заготовок и полуфабрикатов по химическому составу, равный уровень и стабильность механических, физических и химических свойств, а также точность и стабильность размеров и форм. Для заготовок, кроме того, необходимо выдерживать равенство размеров межоперационных

посадочных поверхностей, предназначенных для фиксации положения заготовок в приспособлениях в процессе обработки.

- Необходимо уточнить номинальные значения эксплуатационных показателей изделий, определить исходя из назначения, требований к надежности, долговечности и безопасности допустимые отклонения эксплуатационных показателей изделий, которые они будут иметь в конце установленного срока работы (разность между этими показателями у новых изделий и в конце срока эксплуатации составляет их допуск). Эти значения находят в результате прочностного, теплового, газодинамического или гидродинамического, акустического и других расчетов, учитывающих износ и изменение функциональных параметров в процессе длительной работы изделий.

- Необходимо установить основные составные конструктивные элементы изделия, от которых в первую очередь зависят его эксплуатационные показатели; составить перечень деталей и узлов, определяющих надежность и долговечность изделия в целом. Затем для данной категории деталей и узлов изделия выбирают такие конструктивные формы, материалы, технологию изготовления и качество поверхности, которые обеспечат максимальный срок их службы, точность и другие характеристики. Выявляют функциональные параметры, от которых главным образом зависят значения и допустимый диапазон отклонений эксплуатационных показателей машины. Перечень этих параметров определяется принципом действия, назначением и конструктивными особенностями изделий.

- Необходимо обобщение опыта эксплуатации, быстрое прототипирование и создание моделей, проведение экспериментальных испытаний моделей, макетов или образцов. На этой основе проводится установление взаимосвязей точности функциональных параметров с показателями качества изделия. Теоретически или экспериментально на макетах, моделях или опытных образцах следует установить возможные изменения функциональных параметров во времени (в результате износа, пластической деформации, термоциклических воздействий, изменения структуры и старения материала, коррозии, старения электронных ламп и т.д.). Найти связь и степень влияния этих параметров и их отклонений на эксплуатационные показатели нового изделия и в процессе его длительной эксплуатации.

- Зная эти связи и допуски на эксплуатационные показатели изделий, можно определить допускаемые отклонения функциональных параметров и рассчитать посадки для ответственных соединений. Используя установленные связи, можно установить значения отклонений эксплуатационных показателей при выбранных допусках функциональных параметров.

- Обеспечивая взаимозаменяемость ответственных деталей по шероховатости, форме и расположению их поверхностей, следует выбирать эти параметры такими, при которых их эксплуатационные качества будут оптимальными.

- При конструировании необходимо учитывать требования технологичности и предусматривать возможность выбора для проверки точностных параметров изделия такой схемы измерения, которая не вносила бы дополнительных погрешностей и позволяла применять простые и надежные универсальные или существующие специальные измерительные средства.

Таким образом, разработка чертежей и технических условий с указанием требуемой точности размеров и других параметров детали и составных частей (узлов) изделий, обеспечивающей их высокое качество, является первой составной частью принципа взаимозаменяемости, выполняемой в процессе конструирования изделий. *Рабочий чертеж*, в котором указаны точностные требования, является основным исходным документом, по которому проектируют технологические процессы и контролируют точность готовой продукции.

*На стадии изготовления изделий* используют следующие исходные положения.

- Точность изготовления, т.е. приближение действительных значений геометрических и других параметров деталей и сборочных единиц к их заданным значениям, указанным в чертежах или технических условиях является главным условием обеспечения взаимозаменяемости.

- Степень соответствия нормированной точности деталей, узлов изделий (совокупность допускаемых отклонений параметров от расчетных значений) и действительной точности (совокупность действительных отклонений, определенных в результате измерения с допустимой погрешностью) зависит от качества материала и заготовок, технологичности конструкции изделий, точности их изготовления и сборки и других факторов. Достичь заданной точности — значит изготовить детали и сборочные единицы так, чтобы погрешности геометрических, электрических и других параметров находились в установленных пределах. Стабильность показателей качества однотипных изделий при их серийном производстве в этом случае может быть с определённой вероятностью гарантировано.

- Достижение высокого качества изделий зависит от точности технологического оборудования, инструмента и технологической оснастки, а также методов и средств контроля. Точность оборудования и оснастки должна быть выше требуемой точности изготавливаемых деталей и узлов, т. е. иметь запас точности.

- Точность средств измерения и контроля должна соответствовать принципам и рекомендациям, изложенным в разделе 5.2. Технические измерения должны обеспечивать связь с технологическим процессом и, направлены главным образом на профилактику брака, что достигается путем управления точностью процессов изготовления.

*На стадии эксплуатации* используют следующие исходные положения.

- Важной составной частью осуществления принципа взаимозаменяемости, обеспечивающего долговечную и экономичную работу изделий, является определение необходимого комплекта запасных частей. Они обеспечивают быструю замену в процессе эксплуатации износившихся или вышедших из строя деталей или узлов, сохраняя требуемую работоспособность машины в течение установленного времени.

- В процессе эксплуатации необходимо проводить техническую диагностику изделия с целью своевременной замены и ремонта деталей, узлов и агрегатов.

### **Методы расчёта и выбора допусков и посадок**

Основными методами расчёта и выбора допусков являются: метод прецедентов, метод подобия и расчетный метод.

*Метод прецедентов (метод аналогов)* заключается в том, конструктор отыскивает в однотипных или аналогичных изделиях, ранее изготовленных и находящихся в эксплуатации, случаи применения деталей и сборочных единиц, подобных проектируемым. В этом случае допуски и посадки назначаются такие же или аналогичные. Применение этого метода может привести к принятию неправильных решений из-за предшествующих ошибок, а также переносу устаревших требований на вновь создаваемые изделия.

*Метод подобия* по существу является развитием метода прецедентов. Он основан на классификации деталей машин по конструктивным и эксплуатационным признакам и закреплён типовыми решениями, содержащимися в справочной литературе. Для выбора допусков и посадок этим методом устанавливают аналогию конструктивных признаков и условий эксплуатации проектируемой сборочной единицы с признаками, указанными в справочниках. Общим недостатком методов прецедентов и подобия является субъективность оценки признаков однотипности и подобия и как следствие возможность принятия ошибочных решений.

*Расчетный метод* является наиболее обоснованным методом выбора допусков и посадок. Наибольший эффект может быть получен применением метода расчёта, предложенного профессором А.И. Якушевым. Вы-

бирая этим методом квалитеты (степени точности), допуски и посадки при проектировании машин и других изделий, стремятся удовлетворить эксплуатационно-конструктивные требования, предъявляемые к деталям, сборочной единицам и изделиям в целом.

Изготовление деталей с малыми допусками связано с повышением себестоимости. Но при этом обеспечиваются высокая точность сопряжений, постоянство характера сопряжений в большой партии и более высокие эксплуатационные показатели изделия в целом. Изготовление деталей по расширенным допускам проще, не требует точного оборудования и отделочных технологических процессов, но снижает точность и, следовательно, эксплуатационные показатели машин. Таким образом, перед конструкторами, технологами и метрологами стоит задача оптимизации с целью разрешения противоречий между эксплуатационными требованиями и технологическими возможностями. В этой задаче целевой функцией является необходимость выполнения эксплуатационных требований, в условиях ограничений по стоимости производства. Необходимо учитывать также технические ограничения, например, связанные с обеспечением достаточно точными и надежными контрольно-измерительными средствами. Задача оптимизации точности должна решаться на основе технико-экономических расчетов с использованием современных информационных технологий.

Поскольку наличие риска присутствует при решении любых технических вопросов, необходим некоторый *гарантированный запас точности*, который должен создать *гарантированный запас работоспособности изделий*. В результате эксплуатации потеря работоспособности может быть вызвана снижением точности рабочих органов, связанной, например, с износом деталей, изменением свойств материалов и другими причинами. *Динамическая точность* характеризуется *функциональным допуском*, состоящим из допуска на изготовление детали и *эксплуатационного допуска*, равного предельному отклонению функционального параметра допустимого в конце срока эксплуатации.

На функциональные размеры несопрягаемых поверхностей, например: диаметры сопел пневмо- и гидросистем, жиклеров карбюраторов, кондукторных втулок и т. п., так же как и посадки ответственных соединений, методика расчета запаса точности идентична. Допуски и основные отклонения назначают исходя из допускаемых отклонений эксплуатационных показателей изделия и называют соответственно функциональным допуском размера  $T_F$  и функциональным допуском посадки  $T_F S(N)$ . Рассмотрим функциональные допуски несопрягаемых поверхностей и посадок с зазором (рис. 7.4).

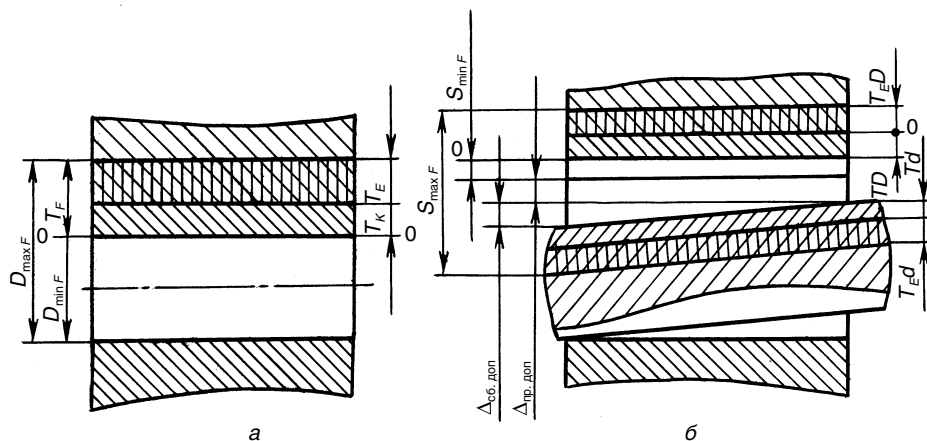


Рис. 7.4. Схема расположения полей функциональных допусков:  
а — размеров несопрягаемых поверхностей; б — посадок с зазором

Функциональный допуск  $T_F$  размера несопрягаемых поверхностей (рис. 7.4, а) равен разности между наибольшим и наименьшим допускаемыми значениями этого размера, определенными исходя из допускаемого изменения эксплуатационных показателей изделия:  $T_F = D_{\max F} - D_{\min F}$ .

Функциональный допуск  $T_F S$  посадки с зазором равен разности между наибольшими и наименьшими допускаемыми зазорами, определенными исходя из допускаемого изменения эксплуатационных показателей машины или ее части:  $T_F = S_{\max F} - S_{\min F}$ . Функциональные допуски  $T_F$  и  $T_F S$  должны быть наибольшими, но такими, при которых изделие ещё будет работать с допускаемыми эксплуатационными показателями.

Допуски  $T_F$  и  $T_F S$  необходимо делить на две части. Первая часть допусков предназначена для создания запаса точности (например, запаса на износ), необходимого для сохранения требуемого уровня эксплуатационных показателей изделия в процессе его длительной эксплуатации. Эту часть называют *эксплуатационным допуском* и обозначают  $T_E$  и  $T_E S$ . *Эксплуатационный допуск зазора*  $T_E S$ , в свою очередь, делят на эксплуатационный допуск отверстия  $T_E D$  и эксплуатационный допуск вала  $T_E d$ . Вторая часть функционального допуска посадки с зазором (рис. 7.4, б) в общем случае идет на компенсацию погрешностей изготовления деталей  $\Delta_{изг}$  ( $\Delta_{изг} \geq TD + Td$ ), погрешностей сборки  $\Delta_{сб}$  и регулирования, а также на компенсацию прочих погрешностей  $\Delta_{пр}$ . Эту часть называют *конструктивным допуском* и обозначают  $T_K$  и  $T_K S$ . Таким образом, для функцио-

нальных размеров несопрягаемых поверхностей  $T_F = T_E + T_K$ ;  $T_K = \Delta_{\text{изг.доп}} + \Delta_{\text{пр.доп}} \geq TD (Td) + \Delta_{\text{пр.доп}}$ ; для посадок с зазором  $T_F S = T_E S + T_K S$ ;  $T_E S = T_E D + T_E d$ ;  $T_K S = \Delta_{\text{изг.доп}} + \Delta_{\text{сб.доп}} + \Delta_{\text{пр.доп}} \geq TD + Td + \Delta_{\text{сб.доп}} + \Delta_{\text{пр.доп}}$ , где  $\Delta_{\text{изг.доп}}$ ,  $\Delta_{\text{сб.доп}}$ ,  $\Delta_{\text{пр.доп}}$  — допускаемые погрешности изготовления, сборки и прочие. К прочим погрешностям относят изменения размеров под влиянием силовых и температурных деформаций, износа других факторов, возникающих при эксплуатации машины.

При расчете посадок учитывают суммарное влияние погрешностей сборки  $\Delta_{\text{сб}}$  и прочих погрешностей  $\Delta_{\text{пр}}$  вала и отверстия на величину зазора, без учёта знака погрешностей. Допуск на изготовление  $T (TD \text{ и } Td)$  кроме погрешностей изготовления  $\Delta_{\text{изг.}}$  должен учитывать погрешности измерения  $\Delta_{\text{изм.}}$ . После определения допускаемых значений составляющих погрешностей, для компенсации которых предназначен допуск  $T_K S$ , устанавливают посадку и допуски на изготовление каждой из соединяемых деталей (т. е.  $TD$  и  $Td$ ). После изготовления деталей и сборки соединений должен быть обеспечен запас точности соединений, определяемый допуском  $T_E S$ . При расчёте посадок с натягом необходимо создавать эффективные запасы прочности при сборке и эксплуатации.

Сумма эксплуатационных допусков  $T_E D + T_E d$  в подвижных соединениях определяет эксплуатационный допуск зазора, который следует рассчитывать исходя из заданной долговечности и допускаемого изменения других эксплуатационных показателей изделия.

Запас точности определяет работоспособность изделия. Запас точности можно выразить коэффициентом запаса точности  $K_T$  равным отношению допускаемого отклонения параметра в конце срока их эксплуатации к погрешности изготовления изделия (детали, узла, механизма). Так, если радиальное биение шпинделя нового шлифовального станка равно 0,005 мм, а допускаемое биение в конце срока эксплуатации (до ремонта) станка данного класса точности составляет 0,01 мм, то  $K_T = 0,01/0,005 = 2$ . Для деталей, имеющих функциональные несопрягаемые поверхности,  $K_T = T_F/T_K$ . Так, например, если для обеспечения экономичной работы двигателя внутреннего сгорания, допуск диаметра жиклера карбюратора не должен превышать 10 мкм ( $T_F = 10$  мкм), а 5 мкм идет на компенсацию погрешностей, в том числе и погрешностей изготовления ( $T_K = 5$  мкм), то  $K_T = T_F/T_K = 10/5 = 2$ .

Для подвижных соединений коэффициент  $K_T$  равен отношению максимального допуска посадки  $T_F S$  к конструктивному допуску посадки  $T_K S$ , который назначают для компенсации всех погрешностей, в том числе погрешностей изготовления, сборки и измерения. Для частного случая, когда  $\Delta_{\text{сб}} = \Delta_{\text{пр}} = 0$ ,  $K_T = (S_{\text{max } F} - S_{\text{min } F}) / (TD + Td)$ . Если наименьший табличный зазор  $S_{\text{min } T} > S_{\text{min } F}$ , то при вычислении коэффициента  $K_T$

необходимо брать значение  $S_{\min T}$ . Коэффициент запаса точности  $K_T$  зависит от эксплуатационного назначения изделия и допускаемого изменения исходной точности, от срока службы, характера изменения функциональных параметров и эксплуатационных показателей в процессе работы изделий и других факторов. Запас точности устанавливают по каждому функциональному параметру, влияющему на эксплуатационные показатели изделия, для всех изделий длительного пользования. Например, для поршневых компрессоров необходим запас точности зазора в сопряжении поршень—цилиндр, так как этот зазор влияет на коэффициент подачи компрессора. Если функциональный размер является одновременно замыкающим (или исходным) размером размерной цепи, его точность определяется точностью составляющих размеров, входящих в соответствующую размерную цепь. Запас точности необходимо создавать и для составляющих размеров, которые изменяются в процессе эксплуатации. Запас точности устанавливают также для каждого эксплуатационного показателя, характеризующего качество машины или другого изделия. Это особенно важно для металлорежущих станков и измерительных приборов. Если допускаемая погрешность измерения оптиметра при определенных условиях измерения равна 0,6 мкм, действительная погрешность измерения должна быть меньше допускаемой. Например, при действительной погрешности нового оптиметра 0,4 мкм создается запас точности, определяемый коэффициентом  $K_T = 1,5$ .

При разработке норм точности, по которым выполняют окончательную приемку изделий, целесообразно устанавливать допускаемую погрешность нормируемого параметра для нового изделия и для изделия в конце срока его эксплуатации (до ремонта машины или новой юстировки прибора). Запас точности следует создавать не только по геометрическим параметрам, но и по электрическим, упругим и другим функциональным параметрам, изменяющимся в процессе работы изделия.

Из сказанного следует сделать вывод, что установление точностных характеристик имеет не меньшее значение, чем определение самих размеров деталей путем расчета на прочность, жесткость и т. п.

### **Информационные технологии обеспечения функциональной взаимозаменяемости**

Для практического осуществления принципа функциональной взаимозаменяемости изделий необходима четкая система конструкторской, технологической, метрологической и эксплуатационной документации.

На современном этапе развития производства продукции наибольшая эффективность функциональной взаимозаменяемости может быть

достигнута при реализации концепции *CALS*, стратегия которой предполагает создание *единого информационного пространства* (ЕИП) на всех этапах *жизненного цикла* (ЖЦ) производства изделия. ЕИП охватывает полную информацию об изделии, при этом вся информация должна быть представлена в электронном виде. Использование *CALS*-технологий позволяет предприятию-производителю наукоемкой продукции усовершенствовать процессы в ходе жизненного цикла, снизить сроки выпуска продукции на рынок; заказчику — сократить стоимость заказа и дальнейшей его эксплуатации, учитывая, что стоимость поддержки наукоемкого изделия в работоспособном состоянии равна или превышает стоимость его приобретения.

В настоящее время поставка готового изделия с большим объемом традиционной бумажной документации существенно снижает его конкурентоспособность, поскольку делает невозможным взаимодействие с автоматизированными системами материально-технического снабжения для проведения профилактических и ремонтных работ. Техническая документация на изделие, в том числе требования к точности, должны быть представлены в форме *интерактивных электронных технических руководств* (ИЭТР). ИЭТР — это электронный документ, формируемый в значительной степени автоматически на основе конструкторского описания, представляющий собой базу данных и средств визуализации, использующих возможности мультимедиа (текст, графика, видео, аудио). Кроме того, необходимо собрать всю информацию об изделии в интегрированной базе данных и обеспечить совместное использование этой информации в процессах проектирования, производства и эксплуатации. Для этой цели применяют систему управления инженерными данными, основанную на стандартизированной модели данных и интерфейсе доступа и работы с этими данными.

В системе *CALS* ключевой является технология управления данными об изделии — *PDM (Product Data Management)*. *PDM*-технология позволяет управлять всеми данными об изделии и информационными процессами ЖЦ изделия. При этом создаются, анализируются и используются взаимосвязи между функциональными параметрами и показателями качества. Данные об изделии состоят из идентификационных данных (например, данных о составе или конфигурации изделия, о точности обработки и др.) и данных или документов, которые используются для описания изделия или процессов его проектирования, изготовления и эксплуатации (при этом все данные обязательно представлены в электронном виде). Управление информационными процессами ЖЦ представляет собой поддержку различных процессов, создающих и исполь-

зующих данные об изделии (например, процессов изменения точности геометрических параметров изделия). Осуществляется поддержка электронного документооборота, например, конструкторского документооборота.

Основная задача *PDM*-технологии — повышение эффективности управления информацией за счет повышения доступности данных об изделии, требующихся для информационных процессов ЖЦ. Повышение доступности данных об изделии достигается за счет интеграции всех данных об изделии в логически единую модель. Единая модель должна включать модель функционирования изделия, предусматривающая оптимизацию точностных требований.

*PDM*-система должна контролировать все связанные с изделием информационные процессы (в первую очередь, проектирование изделия, куда входят расчёты по обеспечению функциональной взаимозаменяемости) и всю информацию об изделии, включая: состав и структуру изделия, геометрические данные, точность, чертежи, планы проектирования и производства, нормативные документы, программы для станков с ЧПУ, результаты анализа, данные о надёжности партии изделия и отдельных экземпляров изделия и другие данные.

*PDM*-система является необходимой составляющей для создания ЕИП для всех участников ЖЦ изделия и выступает как средство интеграции всего множества используемых прикладных компьютерных систем (САПР, АСУП и т.п.). Это происходит путем накопления поступающих данных и создания логически единой модели на основе стандартных интерфейсов взаимодействия.

Использование на предприятии *PDM*-системы позволяет сократить время разработки изделия, ускорить время выхода изделия на рынок, а также повысить качество изделия. Сокращение времени выхода на рынок достигается в первую очередь за счет повышения эффективности процесса проектирования изделия. Конструктор освобождается от непроизводительных затрат своего времени, связанных с поиском, копированием и архивированием данных, нахождением прецедентов при расчёте точности, что, при работе с бумажными данными, составляет 25–30% его времени. Происходит улучшение взаимодействия между конструкторами, технологами и другими участниками ЖЦ изделия. Это происходит с использованием *CAD/CAM/CAE*-систем.

*CAD*-системы (*computer-aided design* — компьютерная поддержка проектирования) предназначены для решения конструкторских задач и оформления конструкторской документации их называют также системами автоматизированного проектирования — САПР. Как правило, в совре-

менные *CAD*-системы входят модули моделирования трехмерной объемной конструкции (детали) и оформления чертежей и текстовой конструкторской документации (спецификаций, ведомостей и т. д.). Трехмерные *CAD*-системы позволяют реализовать решение задачи сквозного цикла подготовки и производства сложных промышленных изделий.

В свою очередь, *CAM*-системы (*computer-aided manufacturing* — компьютерная поддержка изготовления) предназначены для проектирования обработки изделий на станках с числовым программным управлением (ЧПУ) и выдачи программ для этих станков (фрезерных, сверлильных, эрозионных, пробивных, токарных, шлифовальных и др.). *CAM*-системы называют системами технологической подготовки производства. В настоящее время они являются практически единственным способом для изготовления сложнопрофильных деталей (например, лопаток турбин, роторов винтовых компрессоров, кузовов автомобилей и т.п.) и сокращения цикла их производства. В *CAM*-системах используется трехмерная модель детали, созданная в *CAD*-системе.

*CAE*-системы (*computer-aided engineering* — поддержка инженерных расчетов) представляют собой обширный класс систем, каждая из которых позволяет решать определенную расчетную задачу (группу задач). В числе этих задач: расчеты на прочность, анализ и моделирование тепловых процессов, расчеты гидравлических систем и машин, расчеты технологических процессов получения заготовок и обработки деталей, расчеты и оптимизация точности с целью обеспечения функциональной взаимозаменяемости и др. В *CAE*-системах также целесообразно использование трехмерной модели изделия, созданной в *CAD*-системе. *CAE*-системы являются системами инженерного анализа.

*CAD/CAM/CAE*-системы представляют собой индустриальные технологии, непосредственно направленные в наиболее важные области материального производства. В настоящее время становится невозможным изготовление сложной наукоемкой продукции (судов, самолетов, станков, информационно-измерительных приборов и др.) Без применения *CAD/CAM/CAE*-систем. В настоящее время *CAD/CAM/CAE*-системы представляют собой интегрированные программные комплексы, обеспечивающие единую поддержку всего цикла разработки, начиная от эскизного проектирования и заканчивая технологической подготовкой производства, испытаниями и сопровождением при эксплуатации. Современные *CAD/CAM/CAE*-системы не только дают возможность сократить срок внедрения новых изделий, но и оказывают существенное влияние на технологию производства, позволяя повысить качество, надежность и конкурентоспособность выпускаемой продукции. Компьютерное модели-

рование сложных изделий позволяет конструктору оптимизировать необходимые параметры, при этом значительная экономия достигается за счёт отказа от изготовления физического прототипа и доводки изделия на испытательных стендах. Существуют многочисленные примеры, когда даже для относительно несложных изделий, стоимость прототипа составляет десятки и сотни тысяч. Создание модели двигателя обойдётся в полмиллиона долларов, а полномасштабный прототип самолета будет стоить десятки миллионов долларов.

В условиях быстрой сменяемости объектов производства и острой конкурентной борьбы за рынок сбыта задача изготовления прототипа в сжатые сроки становится все более актуальной. Современные технологические средства позволяют эффективно решить эту задачу, не прибегая к традиционным методам, связанным с механической обработкой материалов. Изготовление натурных моделей проводится из технологичных, легко деформируемых материалов. Изготовление таких прототипов осуществляется по CAD-данным с использованием трехмерных математических моделей.

Методы быстрого создания прототипов с использованием быстрого прототипирования (*Rapid Prototyping — RP*) позволяют решать проблемы, связанные с традиционными методами макетирования. Преимущество современных технологий быстрого прототипирования — сокращение сроков создания детали заданной точности. Детали, на создание которых раньше уходили недели и месяцы, сегодня могут быть созданы как физические объекты в течение нескольких дней или, в некоторых случаях, нескольких часов. Недостаток этих технологий — разные свойства материала прототипа и реальной детали. Он не является материалом серийной детали или, как минимум, имеет отличия по механическим и химическим свойствам. Это ограничивает возможность использования прототипов, полученных с использованием технологий быстрого прототипирования, в функциональном тестировании. Например, в некоторых случаях прототип не может быть использован в горячей среде, так как имеет низкую температурную устойчивость. Несмотря на эти недостатки, использование новых материалов расширяет возможности быстрого прототипирования.

Модели, выполненные по технологиям *RP*, могут изготавливаться из различных материалов: пластиков, жидких смол, специальных порошков, различных листовых материалов (бумаги, алюминия и др.). Процессы создания модели в значительной степени автоматизированы и позволяют получать качественные и сравнительно недорогие модели, затрачивая на их изготовление часы, а не дни и недели, как это было

при использовании традиционных методов. Технологии, предоставляющие такие уникальные возможности, были сразу востребованы и взяты на вооружение многими промышленными предприятиями. Технологии *RP* обеспечили этим предприятиям значительную экономию времени и денежных средств, затрачиваемых на подготовку изделия к производству, доводку показателей качества и обеспечение их стабильности за счёт оптимизации требований к точности параметров деталей. Они позволили существенно сократить сроки и стоимость дизайнерских и конструкторских работ уменьшить затраты на изготовление технологической оснастки, а также повысить качество выпускаемой продукции.

# ГЛАВА 8

## СТАНДАРТИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ШЕРОХОВАТОСТИ, ВОЛНИСТОСТИ, НОРМ ТОЧНОСТИ ФОРМЫ И РАСПОЛОЖЕНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ

### 8.1. ОТКЛОНЕНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ

В результате обработки деталей и сборки изделий форма поверхностей деталей и их взаимное расположение отличаются от номинального, т.е. заданного чертежом. Таким образом, следует различать *номинальный и реальный профиль поверхности, номинальное и реальное расположение поверхности*. Номинальное расположение поверхности определяется

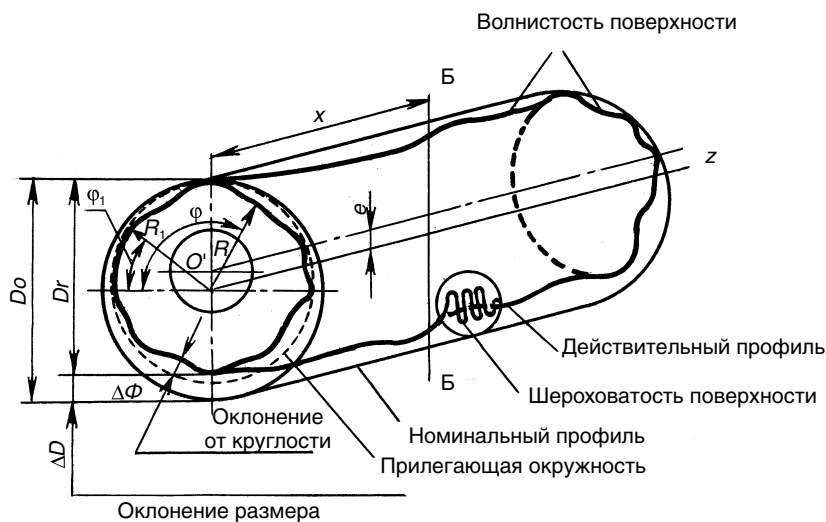


Рис. 8.1. Отклонения геометрической поверхности цилиндрической детали

номинальными линейными и угловыми размерами между ними. Реальное расположение поверхности определяется действительными линейными и угловыми размерами. *Профиль поверхности* — линия пересечения (или контур) поверхности с плоскостью или заданной поверхностью. Вследствие отклонений действительной формы от номинальной один размер в различных сечениях детали может быть различным (рис. 8.1).

Размеры в поперечном сечении можно определить переменным радиусом  $R$ , отсчитываемым от геометрического центра  $O$  номинального сечения. Этот радиус называют *текущим размером*, т. е. размером, зависящим от положения осевой координаты  $x$  (сечения Б-Б) и угловой координаты  $\varphi$  точки, лежащей на измеряемой поверхности ( $\varphi_1$  — угловая координата радиуса  $R_1$ ). Отклонение  $\Delta R$  текущего размера  $R$  (при выбранном значении  $x$ ) от номинального (постоянного) размера  $R_0$ , можно выразить зависимостью  $\Delta R = R - R_0 = f(\varphi)$ , где  $f(\varphi)$  — функция, характеризующая погрешность профиля ( $\varphi$  — полярный угол). Контур поперечного сечения удовлетворяет условию замкнутости, следовательно,  $f(\varphi + 2\pi) = f(\varphi)$ , т. е. функция имеет период  $2\pi$ .

Контур сечения действительной поверхности можно характеризовать совокупностью гармонических составляющих отклонений профиля, определяемых спектрами фазовых углов и амплитуд, т. е. совокупностью отклонений с различными частотами. Для аналитического изображения действительного профиля (контура сечения) поверхности используют разложение функции погрешностей  $f(\varphi)$  в ряд Фурье.

Рассматривая отклонения  $\Delta R$  радиуса-вектора в полярной системе координат как функцию полярного угла  $\varphi$ , представляем отклонения контура поперечного сечения детали в виде ряда Фурье

$$f(\varphi) = \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^{\infty} (a_k \cos k\varphi + b_k \sin k\varphi),$$

где  $a_0/2$  — нулевой член разложения;  $a_k, b_k$  — коэффициенты ряда Фурье  $k$ -й гармоники;  $k$  — порядковый номер составляющей гармоники.

Ряд Фурье можно представить также в виде

$$f(\varphi) = \frac{c_0}{2} + \sum_{k=1}^{\infty} c_k \cos(k\varphi + \varphi_k),$$

где  $c_k$  — амплитуда  $k$ -й гармоники;  $\varphi_k$  — начальная фаза. Функция  $f(\varphi)$  определяется совокупностью величин  $c_k$  — спектр амплитуд и  $\varphi_k$  — спектр фаз. Число членов ряда ограничиваем  $n$ , обычно не более 5, так как амплитуда становится малой.

Нулевой член разложения в общем случае является средним значением функции  $f(\varphi)$  за период  $T = 2\pi$ , определяемым расстоянием от базового

уровня отсчета текущего размера до средней линии геометрических отклонений профиля. Таким образом,  $c_0/2$  есть постоянная составляющая отклонения текущего размера. Первый член разложения  $c_1 = \cos(\varphi + \varphi_1)$  выражает несовпадение центра вращения  $O'$  с геометрическим центром сечения  $O$  (эксцентриситет  $e$ ), т. е. отклонение расположения поверхности, где  $c_1$  и  $\varphi_1$  амплитуда и фаза эксцентриситета соответственно. Члены ряда, начиная со второго образуют спектр отклонений формы детали в поперечном сечении. При этом второй член ряда Фурье  $c_2 \cos(2\varphi + \varphi_2)$  выражает овальность, третий член  $c_3 \cos(3\varphi + \varphi_3)$  — трехвершинную огранку и т. д. Члены ряда высокой частоты выражают волнистость и шероховатость поверхности.

В случае пространственного представления отклонения контура цилиндрической поверхности в продольном сечении можно описать аналогичным образом. При этом вводим цилиндрическую систему координат  $R, \varphi, z$ , а за период принимаем  $T = 2l$ , где  $z$  — переменная, отсчитываемая вдоль оси цилиндра, причем  $0 \leq z \leq l$ ;  $l$  — длина детали. Представим отклонения контура реальной цилиндрической детали в продольном сечении  $f(z)$  в виде тригонометрического полинома

$$f(z) \approx \frac{c_0}{2} + \sum_{k=1}^p c_k \sin \frac{k\pi}{2l} z,$$

где  $k$  — порядковый номер члена разложения.

Первый член ( $k = 1$ ) разложения характеризует наклон образующей цилиндра (конусообразность). Второй член разложения характеризует выпуклость контура в продольном сечении (бочкообразность). Этот же член разложения при наличии сдвига фазы выражает седлообразность и т. д.

Качество изделий в общем случае зависит от точности линейных и угловых размеров, формы и расположения поверхностей деталей и составных частей, а также волнистости и шероховатости поверхностей деталей.

## 8.2. СТАНДАРТИЗАЦИЯ И КОНТРОЛЬ ПАРАМЕТРОВ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ

### Параметры шероховатости

*Шероховатостью поверхности* согласно ГОСТ 25142—82 называют совокупность неровностей поверхности с относительно малыми шагами, выделенную с помощью базовой длины. *Базовая длина*  $l$  — длина базо-

вой линии, используемой для выделения неровностей, характеризующих шероховатость поверхности. *Базовая линия* (поверхность) — линия (поверхность) заданной геометрической формы, определенным образом проведенная относительно профиля (поверхности) и служащая для оценки геометрических параметров поверхности. Шероховатость возникает из-за множества причин, связанных с условиями формообразования: пластической деформации поверхностного слоя детали, копирования неровностей режущих кромок инструмента, вибраций станка и других причин. Числовые значения шероховатости поверхности определяют от единой базы, за которую принята *средняя линия профиля  $t-t$* . Средняя линия проводится по правилу наименьших квадратов, т.е. так, что в пределах базовой длины среднее квадратическое отклонение профиля до этой линии минимально. Средняя линия делит площадь по выступам и впадинам пополам, форма её соответствует форме номинального профиля. Систему отсчета шероховатости от средней линии профиля называют *системой средней линии*.

Если для определения шероховатости выбран участок поверхности длиной  $l$ , другие неровности (например, волнистость), имеющие шаг больше  $l$ , не учитывают. Повышение точности оценки шероховатости измерения повторяют несколько раз в разных местах поверхности и за результат изменения принимать среднее арифметическое результатов измерения на нескольких длинах оценки. *Длина оценки  $L$*  — длина, на которой оценивают шероховатость. Она может содержать одну или несколько базовых длин  $l$ . Числовые значения базовой длины выбирают из ряда: 0,01; 0,03; 0,08; 0,25; 0,80; 2,5; 8; 25 мм.

Согласно ГОСТ 2789—73, шероховатость поверхности изделий независимо от материала и способа обработки поверхности оценивают высотными, шаговыми и параметрами, связанными с формой неровностей.

*Параметрами шероховатости, связанными с высотными свойствами неровностей*, являются: *среднее арифметическое отклонение профиля  $R_a$* , *высота неровностей профиля  $R_z$* , *наибольшая высота неровностей профиля  $R_{\max}$* . Параметр  $R_a$  является предпочтительным. Параметр  $R_a$  характеризует среднюю высоту всех неровностей профиля,  $R_z$  — среднюю высоту наибольших неровностей,  $R_{\max}$  — наибольшую высоту профиля.

*Среднее арифметическое отклонение профиля  $R_a$*  — среднее арифметическое из абсолютных значений отклонений профиля в пределах базовой длины:  $R_a = \frac{1}{l} \int_0^l |y(x)| dx$  или  $R_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i|$ , где  $l$  — базовая длина;  $n$  — число выбранных точек профиля на базовой длине,  $y$  — отклоне-

ние профиля, т.е. расстояние между любой точкой профиля и средней линией.

*Высота неровностей профиля  $Rz$*  — сумма средних абсолютных значений высот пяти наибольших выступов профиля и глубин пяти наибольших впадин профиля в пределах базовой длины:

$$Rz = \frac{1}{5} \left[ \sum_{i=1}^5 |H_{i \max}| + \sum_{i=1}^5 |H_{i \min}| \right] \text{ или } Rz = \frac{1}{5} \left[ \sum_{i=1}^5 h_{i \max} - \sum_{i=1}^5 h_{i \min} \right],$$

где  $H_{i \max}$  и  $h_{i \max}$  — высоты  $i$ -тых наибольших выступов профиля;  $H_{i \min}$  и  $h_{i \min}$  — глубины  $i$ -тых наибольших впадин профиля, отсчитанные от средней линии и от произвольного уровня А-В соответственно.

*Наибольшая высота неровностей профиля  $Rmax$*  — расстояние между линией выступов профиля и линией впадин профиля в пределах базовой длины  $l$  (рис. 8.2).

К параметрам шероховатости, связанным со свойствами неровностей в направлении длины профиля, относятся: *средний шаг неровностей профиля и средний шаг местных выступов профиля*. *Средний шаг неровностей профиля  $Sm$*  — среднее значение шага неровностей профиля в пределах базовой длины:  $Sm = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Sm_i$ , где  $n$  — число шагов в пределах базовой длины  $l$ ;  $Sm_i$  — шаг неровностей профиля, равный длине отрезка средней линии, пересекающей профиль в трёх соседних точках и ограниченной двумя крайними точками.

*Средний шаг местных выступов профиля  $S$*  — среднее значение шага местных выступов профиля в пределах базовой длины:  $S = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_i$ ,

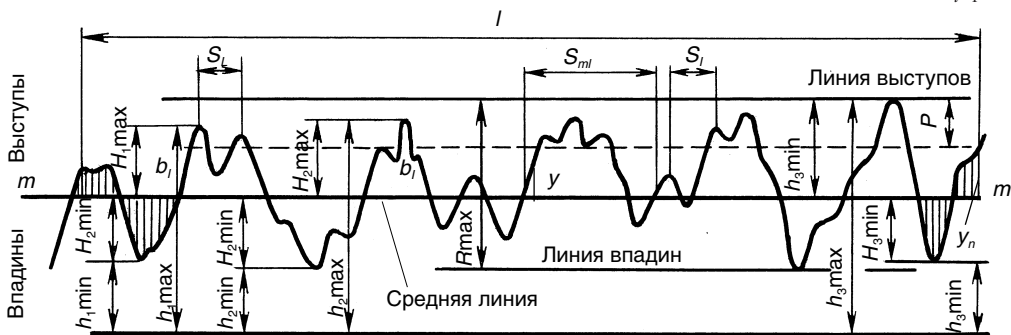


Рис. 8.2. Профилограмма поверхности

где  $n$  — число шагов неровностей по вершинам в пределах базовой длины  $l$ ;  $S_i$  — шаг неровностей профиля по вершинам, равный длине отрезка средней линии между проекциями на нее двух наивысших точек соседних выступов профиля.

Числовые значения параметров шероховатости  $Ra$ ,  $Rz$ ,  $R_{\max}$ ,  $Sm$  и  $S$  приведены в ГОСТ 2789—73. Рекомендуется использовать предпочтительные значения параметров  $Ra$ , так как образцы сравнения шероховатости поверхности по ГОСТ 9378—93 изготавливают именно с этими значениями  $Ra$ .

*Параметрами шероховатости, связанными с формой неровностей профиля, являются опорная длина профиля и относительная опорная длина профиля. Опорная длина профиля  $\eta_p$  — сумма длин отрезков  $b_i$ , отсекаемых на заданном уровне  $p$  в материале профиля линией, эквидистантной средней линии  $m-m$  в пределах базовой длины (рис. 8.2):*

$$\eta_p = \sum_{i=1}^n b_i.$$

*Относительная опорная длина профиля  $t_p$  — отношение опорной длины профиля к базовой длине:  $t_p = \eta_p/l$ . Опорную длину профиля  $\eta_p$  определяют на уровне сечения профиля  $p$ , т. е. на заданном расстоянии между линией выступов профиля и линией, пересекающей профиль эквидистантно линии выступов профиля. Линия выступов профиля — линия, эквидистантная средней линии, проходящая через высшую точку профиля в пределах базовой длины. Значения уровня сечения профиля  $p$  отсчитывают по линии выступов и выбирают из ряда: 5; 10; 15; 20; 25; 30; 40; 50; 60; 70; 80; 90% от  $R_{\max}$ . Относительная опорная длина профиля  $t_p$  может быть равна: 10; 15; 20; 30; 40; 50; 60; 70; 80; 90%.*

В обоснованных случаях устанавливают требования к направлению неровностей и виду обработки, если он единственный для обеспечения качества поверхности.

### Выбор параметров шероховатости

Требования к шероховатости поверхности деталей следует устанавливать, исходя из функционального назначения поверхности в целях обеспечения заданного качества изделий. Комплекс параметров шероховатости позволяет подходить обоснованно к их назначению с учётом различного эксплуатационного назначения поверхностей. Например, для трущихся поверхностей ответственных деталей устанавливают допускаемые значения  $Ra$  (или  $Rz$ ),  $R_{\max}$  и  $t_p$ , а также направление неровностей. Циклически нагруженные поверхности ответственных деталей должны

быть регламентированы по высотным и шаговым критериям  $R_{\max}$ ,  $S_m$  и  $S$ . Функциональный подход необходимо применять и в других случаях. При выборе параметров  $Ra$  или  $Rz$  следует иметь в виду, что параметр  $Ra$  дает более полную оценку шероховатости, так как для его определения измеряют и суммируют расстояния большого числа точек действительного профиля до его средней линии. При определении параметра  $Rz$  измеряют только расстояния между пятью вершинами и пятью впадинами неровностей. Влияние формы неровностей на эксплуатационные показатели качества детали параметром  $Ra$  оценить нельзя, так как при различных формах неровностей значения  $Ra$  могут быть одинаковыми. Например, профили неровностей, изображенные на рис. 8.3, имеют разную форму, но одинаковые значения параметра  $Ra$ . Для лучшей оценки свойств шероховатости необходимо знать ее высотные, шаговые параметры и параметр формы  $t_p$ .

Износостойкость, контактная жесткость, прочность пресовых посадок и другие эксплуатационные свойства сопрягаемых поверхностей деталей связаны с фактической площадью их контакта. Для определения опорной площади, которая образуется под воздействием рабочей нагрузки, строят кривые относительной опорной длины профиля  $t_p$ . Расстояние между линиями выступов и впадин делят на уровни сечений профиля с соответствующими значениями  $p$  и для каждого сечения определяют значение  $t_p$ . Кривая изменения опорной длины профиля представлена на рис. 8.4.

Следует учитывать, что с увеличением  $t_p$  требуются более трудоемкие процессы обработки. Например, при значении  $t_p \approx 25\%$ , определенном по средней линии профиля, можно применять чистовое точение, а при  $t_p \approx 40\%$  необходимо хонингование. Опорная длина профиля  $t_p$  опре-

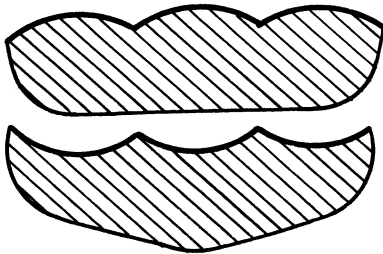


Рис. 8.3. Профили поверхностей разной формы с одинаковым  $Ra$

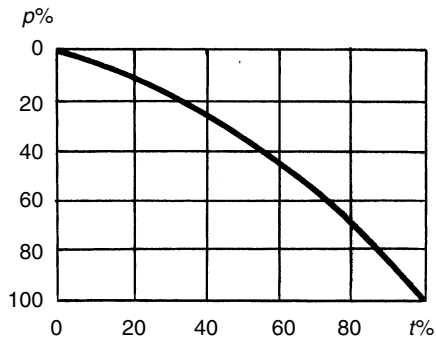


Рис. 8.4. Кривая относительной опорной длины профиля

деляет значение пластической деформации поверхностей деталей при их контакте под воздействием нагрузки.

Для неотчетливых поверхностей шероховатость определяется требованиями технической эстетики, коррозионной стойкости и технологией изготовления.

Требование к шероховатости поверхности устанавливают путем указания параметра шероховатости (одного или нескольких), его числового значения (наибольшего, наименьшего, номинального, диапазона значений), а также базовой длины, на которой необходимо определить параметры шероховатости. Требования к шероховатости поверхности устанавливают без учета дефектов поверхности (царапин, раковин и т. д.) — при необходимости их указывают отдельно.

### Обозначение шероховатости поверхностей

Согласно ГОСТ 2.309—73 шероховатость поверхностей обозначают на чертеже для всех выполняемых по данному чертежу поверхностей детали, независимо от методов их образования, кроме поверхностей, шероховатость которых не обусловлена требованиями конструкции. Структура обозначения шероховатости поверхности приведена на рис. 8.5.

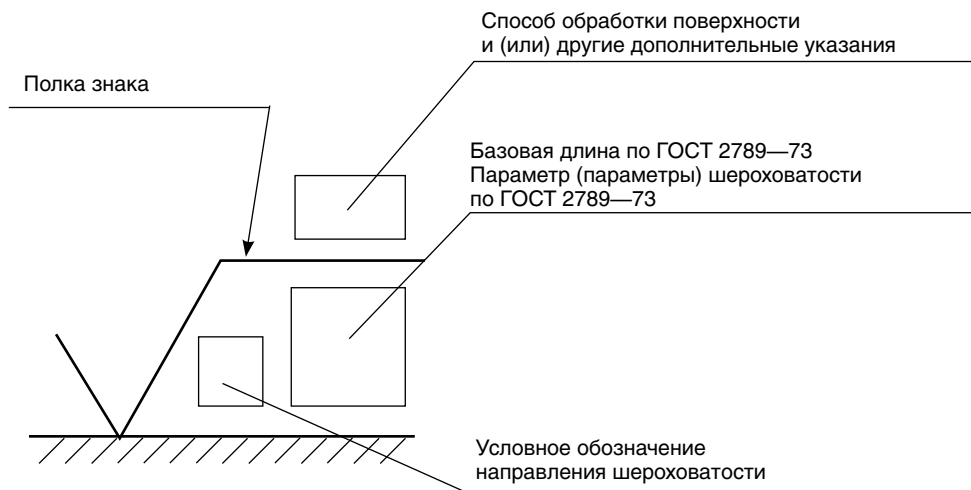


Рис. 8.5. Структура обозначения шероховатости поверхности

В обозначении шероховатости поверхности применяют один из знаков, изображённых на рис. 8.6.

В обозначении шероховатости поверхности способ обработки, которой конструктор не устанавливает, применяют знак, указанный на рис. 8.6, *а*. В обозначении шероховатости поверхности, которая должна быть образована только удалением слоя материала, например, точением, фрезерованием, сверлением, шлифованием, полированием, травлением и др., применяют знак, указанный на рис. 8.6, *в*. В обозначении шероховатости поверхности, которая должна быть образована без удаления слоя материала, например, литьем, ковкой, объемной штамповкой, прокатом, волочением и т. п., применяют знак, показанный на рис. 8.6, *б*, с указанием параметра шероховатости. Поверхности детали, изготавливаемой из материала определённого профиля и размера, не подлежащие по данному чертежу дополнительной обработке, обозначают этим же знаком без указания параметра шероховатости. Состояние поверхности, обозначенной этим знаком, должно удовлетворять требованиям, установленным соответствующим стандартом или техническими условиями на сортмент материала.

Значение параметра шероховатости по ГОСТ 2.309—73 указывают в обозначении шероховатости после соответствующего символа, например:  $Ra\ 0,4$ ;  $R_{max}\ 6,3$ ;  $S_m\ 0,63$ ;  $t_{50}\ 70$ ;  $S\ 0,032$ ;  $Rz\ 50$ . Здесь указаны наибольшие допустимые значения параметров шероховатости; их наименьшие значения не ограничиваются. В примере обозначения  $t_{50}\ 70$  указана относительная опорная длина профиля  $t_p = 70\%$  при уровне сечения профиля  $p = 50\%$ . При указании наибольшего значения парамет-

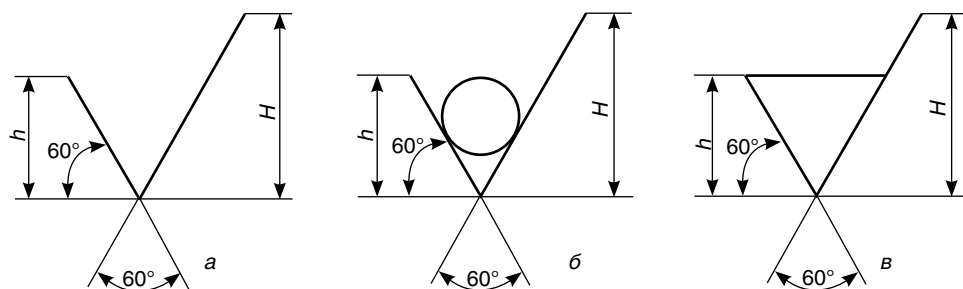


Рис. 8.6. Знаки обозначения шероховатости

ра шероховатости поверхности в обозначении приводят значение параметра, соответствующее наибольшей допустимой шероховатости, например  $\sqrt{Ra0,4}$ ,  $\sqrt{Rz50}$ . При указании наименьшего значения параметра шероховатости поверхности в обозначении следует указывать «min», например  $\sqrt{Ra3,2 \min \sqrt{Rz50 \min}}$ .

При указании диапазона значений параметра шероховатости поверхности в обозначении приводят пределы значений параметра, размещая их в две строки, например  $Ra_{0,4}^{0,8}$ ;  $Rz_{0,05}^{0,10}$ ;  $t_{p\ 50}^{70}$  и т.п.

При указании номинального значения параметра шероховатости поверхности в обозначении приводят это значение с предельными отклонениями по ГОСТ 2.309—73, например

$Ra\ 1 \pm 20\%$ ;  $Rz\ 100_{-10\%}$ ;  $Sm\ 0,63^{+20\%}$ ;  $t_p\ 70 \pm 40\%$  и т. п.

При указании двух и большего числа параметров шероховатости поверхности в обозначении их значения записывают сверху вниз в следующем порядке (см. рис. 8.7, а). Если направление измерения шероховатости должно отличаться от предусмотренного ГОСТ 2.309—73, его указывают на чертеже по примеру, приведенному на рис. 8.7, б. Допускается применять упрощенное обозначение шероховатости поверхностей с разъяснением его в технических требованиях чертежа (рис. 8.7, в). Можно указывать вид обработки, если он является единственным для данной поверхности (рис. 8.7, г).

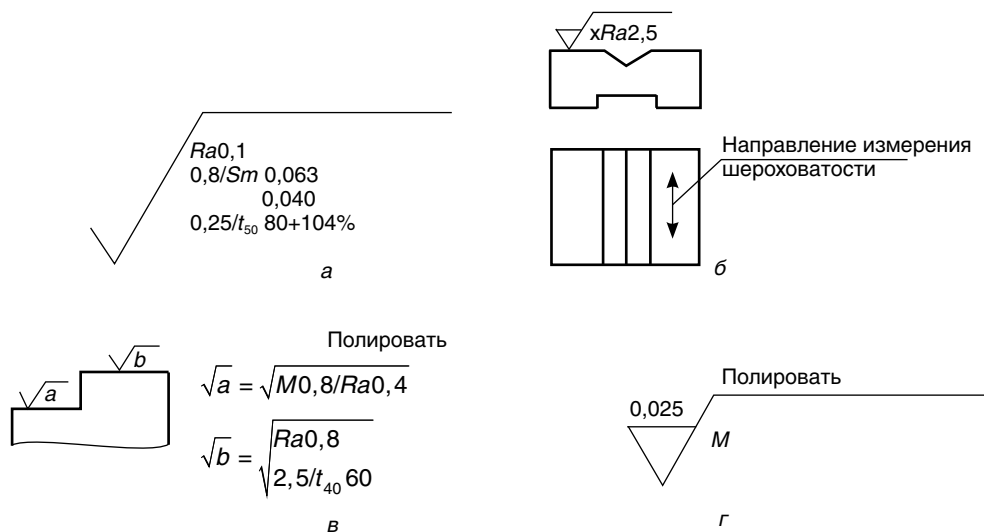


Рис. 8.7. Примеры указания параметров шероховатости

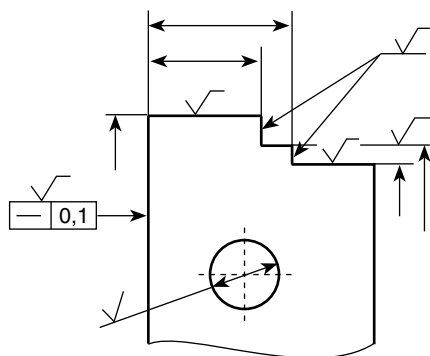


Рис. 8.8. Обозначение шероховатостей поверхностей

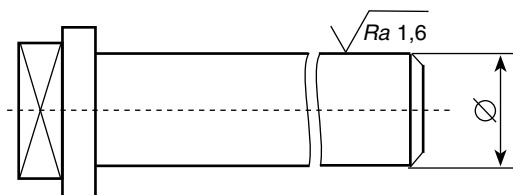


Рис. 8.9. Обозначение шероховатостей на детали с разрывом

Обозначения шероховатости поверхностей на изображении детали располагают на линиях контура, выносных линиях (по возможности ближе к размерной линии) или на полках линий-выносок. При недостатке места допускается располагать обозначения шероховатости на размерных линиях или на их продолжениях, а также разрывать выносную линию (рис. 8.8).

При изображении изделия с разрывом обозначение шероховатости наносят только на одной части изображения, по возможности ближе к месту указания размеров (рис. 8.9).

При указании одинаковой шероховатости для всех поверхностей детали обозначений шероховатости помещают в правом верхнем углу чертежа и на изображении не наносят (рис. 8.10, а).

Обозначение шероховатости одинаковой для части поверхностей изделия может быть помещено в правом верхнем углу чертежа (рис. 8.10, б, в). Если шероховатость поверхностей, образующих контур, должна быть одинаковой, обозначение шероховатости наносят один раз в соответствии с рис. 8.10, г. На рис. 8.10, д, е приведены обозначения шероховатости на резьбе и зубчатом колесе. Шероховатость разная на отдельных участках одной и той же поверхности обозначается, как показано на рис. 8.10, ж; участки поверхности разграничиваются тонкой линией.

Примеры условных обозначений направления неровностей показаны на рис. 8.11.

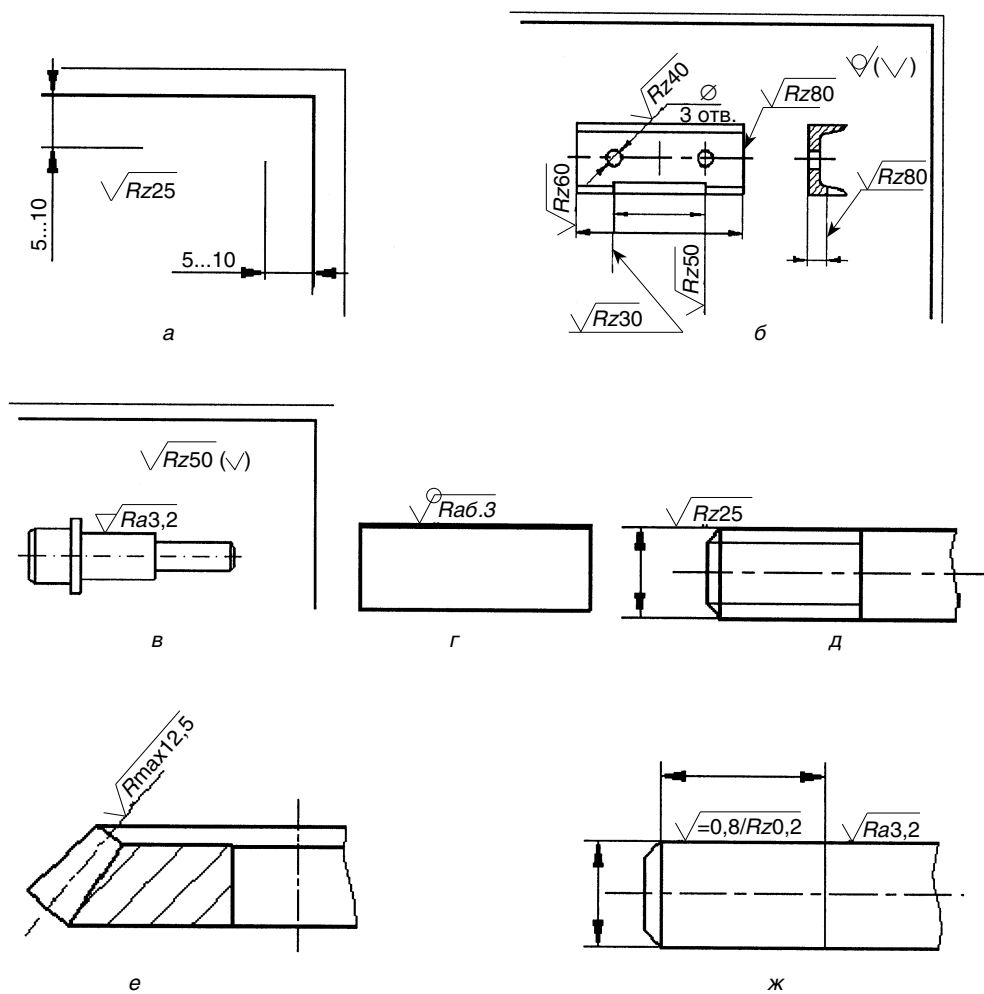


Рис. 8.10. Примеры различных случаев обозначения шероховатости

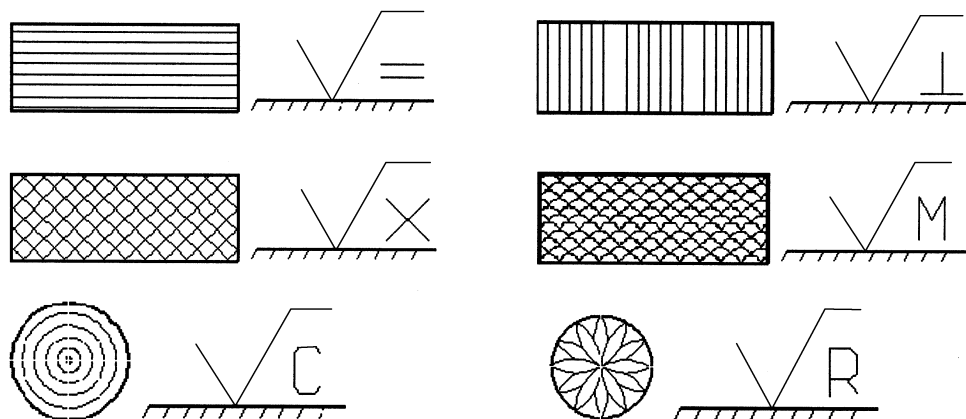


Рис. 8.11. Примеры типов неровностей и их условное обозначение

### Измерение и контроль параметров шероховатости поверхности

*Качественный контроль шероховатости* поверхности осуществляют путем сравнения с образцами или образцовыми деталями визуально или ощупыванием. ГОСТ 9378—93 устанавливает образцы шероховатости, полученные механической обработкой, снятием позитивных отпечатков гальванопластикой или нанесением покрытий на пластмассовые отпечатки. Наборы или отдельные образцы имеют прямолинейные, дугообразные или перекрещивающиеся дугообразные расположения неровностей поверхности. На каждом образце указаны значение параметра  $Ra$  в микрометрах и вид обработки образца. Визуально можно удовлетворительно оценить поверхности с  $Ra = 0,6 \dots 0,8$  мкм и более. Для повышения точности используют щупы и микроскопы сравнения, например, типа МС—48.

*Количественный контроль параметров шероховатости* осуществляют бесконтактными и контактными методами. К бесконтактным относятся приборы светового сечения типа МИС—11 и ПСС—2, микроинтерферометры типа МИИ—4, имерсионно-репликовые микроинтерферометры МИИ—9, МИИ—10, МИИ—11, МИИ—12, растровые измерительные микроскопы типа ОРИМ—1 и др. К приборам, основанным на контактном методе ощупывания поверхности, относятся профилометры и профилографы. При выборе метода и типа прибора необходимо учитывать возможность контроля предписанного чертежом параметра, пределы измерения, допускаемые отклонения контролируемого параметра, погрешность измерения и прибора,

производительность прибора, форму, размеры и материал детали и другие факторы. Контактные профилографы и профилометры, имеющие высокую точность, применяют для контроля наиболее ответственных измерений. Игла прибора может оставлять след на поверхности детали, поэтому для контроля деталей из мягких материалов применяют бесконтактные приборы. В бесконтактных приборах типа ПСС—2 и МИС—11, принцип действия основан на измерении параметров проекции светового сечения исследуемой поверхности с помощью наклонно направленного к ней светового пучка. Принцип действия интерферометров основан на использовании явления интерференции света. Луч света отражается от образцовой и исследуемой поверхностей. Форма образующихся интерференционных полос зависит от вида и высоты (до 1 мкм) неровностей контролируемой поверхности. Принцип действия растровых микроскопов основан на явлении образования муаровых полос при наложении изображений элементов двух периодических структур (направленных следов обработки и дифракционной решетки). При наличии неровностей муаровые полосы искривляются. Высоту микронеровностей определяют по степени искривления муаровых полос.

В щуповых приборах контактного действия для измерения высоты неровностей используют вертикальные колебания иглы, перемещаемой по контролируемой поверхности. Колебания преобразуются в электрическое напряжение с помощью индуктивных, механотронных, пьезоэлектрических и других преобразователей. Так, профилографы-профилометры мод. 201 и 252, в которых использован индуктивный преобразователь, позволяют записывать профиль неровностей в увеличенном масштабе в виде профилограммы или измерять параметры шероховатости в цифровом виде по шкалам приборов. Приборы снабжены преобразователем, электронным измерительным блоком со счетно-решающим блоком и записывающим устройством.

В цеховых условиях возникает потребность в оперативном определении параметров шероховатости поверхности, а не в записи профилограмм. Для этих целей выпускают цеховые профилометры мод. 253 и 283, принцип действия которых основан на преобразовании колебаний иглы с помощью механотронного преобразователя. Профилометр мод. 283 имеет диапазон измерения  $Ra$  от 0,02 до 10 мкм, наименьший измеряемый диаметр внутреннего цилиндра 6 мм при глубине 20 мм и 18 мм при глубине 130 мм. Длина трассы составляет соответственно 1,5 и 4,5 мм. Для измерения шероховатости крупногабаритных деталей и в труднодоступных местах вначале снимают отпечаток поверхности — ее реплику, по которой оценивают параметры шероховатости.

Современные приборы, оснащенные интерфейсом для связи с компьютером, выпускают зарубежные фирмы. Фирма «Рэнк Тэйлор Гоб-

сон» (Англия) выпускает прибор «Талисурф—4» с компьютером, обеспечивающий автоматическую поверку увеличений, калибровку и хранение в оперативной памяти информации о профиле поверхности, что позволяет определять за один проход значения всех параметров шероховатости. Эта фирма выпускает также приборы типа «Суртроник-3» для измерения параметра  $Ra$  в цеховых условиях и типа «Талисурф—10» для высокоточных измерений различных параметров шероховатости. Фирма «Мицутойо» (Япония) выпускает прибор типа «Сурфтест 3», предназначенный для измерения параметра  $Ra$  и записи профиля в прямоугольной системе координат на бумажную ленту. Фирма «Хоммельверке» (ФРГ) выпускает профилометр-профилограф типа «Хоммель-Тестер Т10» для лабораторных условий, профилометр типа в Хоммель-Тестер Р5» с пьезоэлектрическим преобразователем и батарейным питанием для цеховых условий, а также профилометр-профилограф типа «Хоммель-Тестер Т2» для работы в цеховых и лабораторных условиях.

### 8.3. ВОЛНИСТОСТЬ ПОВЕРХНОСТИ ДЕТАЛЕЙ

*Волнистость поверхности* — это совокупность периодически повторяющихся неровностей, у которых расстояния между смежными выступами или впадинами превышают базовую длину  $l$ . Волнистость в частотном спектре неровностей занимает промежуточное положение между отклонениями формы и шероховатостью поверхности. Условно границу между различными порядками отклонений поверхности можно характеризовать значением отношения шага  $S_w$  к высоте неровностей  $W_z$ . При  $S_w / W_z < 40$  отклонения относят к шероховатости поверхности, при  $1000 \geq (S_w / W_z) \geq 40$  — к волнистости, при  $(S_w / W_z) > 1000$  — к отклонениям формы.

Параметры волнистости содержатся в стандартах на заготовки из металлических материалов, например ГОСТ 26645—85 «Отливки из металлов и сплавов. Допуски размеров, массы и припуски на механическую обработку», их применяют так же для изделий из неметаллических материалов. Волнистость поверхности оценивают *высотой волнистости*  $W_z$  — среднее арифметическое из пяти ее значений  $W_1, W_2, \dots, W_5$ , определенных на длине участка измерения  $L_w$ , равной не менее пяти действительным наибольшим шагам  $S_w$  волнистости (рис. 8.12, а).

$W_z = (W_1 + W_2 + W_3 + W_4 + W_5) / 5$ . Допускается непоследовательное расположение участков измерения. Предельные числовые значения  $W_z$  следует выбирать из ряда: 0,1; 0,2; 0,4; 0,8; 1,6; 3,2; 6,3; 12,5; 25; 50; 100; 200 мкм. Отдельное измерение волнистости выполняют на

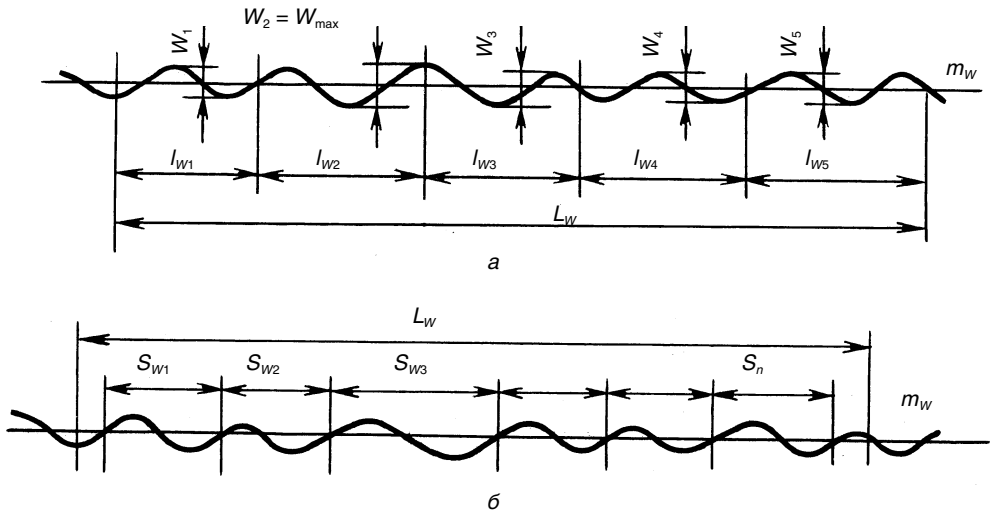


Рис. 8.12. Параметры волнистости поверхности:  
а — высотный, б — шаговый

длине  $l_w t$ , равной пятой части длины  $L_w$ . Наибольшая высота волнистости  $W_{max}$  — расстояние между наивысшей и самой низшей точками измеренного профиля в пределах длины  $L_w$ , измеренное на одной полной волне.

Средний шаг волнистости  $S_w$  — среднее арифметическое значение длин отрезков средней линии  $S_{wi}$ , ограниченных точками их пересечения с соседними участками профиля волнистости (рис. 8.12, б).

$$S_w = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_{wi}$$
 . Положение средней линии  $m_w$  определяется так же, как и положение средней линии профиля  $m$  шероховатости. Форма волны зависит от причин, которые вызывают волнистость поверхности. Чаще волнистость имеет синусоидальный характер, что является следствием колебаний в системе станок — приспособление — инструмент — деталь, возникающих из-за неравномерности сил резания, наличия неуравновешенных масс, погрешностей привода и т. п. Волнистость возникает в листовых заготовках из-за коробления материала, а также часто встречается в деталях из неметаллических материалов.

## 8.4. СТАНДАРТИЗАЦИЯ И КОНТРОЛЬ ДОПУСКОВ ФОРМЫ И РАСПОЛОЖЕНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Термины и определения, относящиеся к основным видам отклонений и допусков формы и расположения, установлены ГОСТ 24642—81. Под отклонением формы поверхности (или профиля) понимают отклонение формы реальной поверхности (реального профиля) от формы номинальной поверхности (номинального профиля). В обоснованных случаях допускается нормировать отклонение формы, включая шероховатость поверхности, а волнистость нормировать отдельно (или нормировать часть отклонения формы без учета волнистости).

В основу нормирования и количественной оценки отклонений формы и расположения поверхностей положен принцип прилегающих прямых, поверхностей и профилей.

*Прилегающая прямая* — прямая, соприкасающаяся с реальным профилем и расположенная вне материала детали так, чтобы отклонение от нее наиболее удаленной точки реального профиля в пределах нормируемого участка имело минимальное значение (рис. 8.13, а).

*Прилегающая окружность* — это окружность минимального диаметра, описанная вокруг реального профиля наружной поверхности вращения (рис. 8.13, б), или максимального диаметра, вписанная в реальный профиль внутренней поверхности вращения (рис. 8.13, в).

*Прилегающая плоскость* — это плоскость, соприкасающаяся с реальной поверхностью и расположенная вне материала детали так, чтобы отклонение от нее наиболее удаленной точки реальной поверхности в пределах нормируемого участка имело минимальное значение.

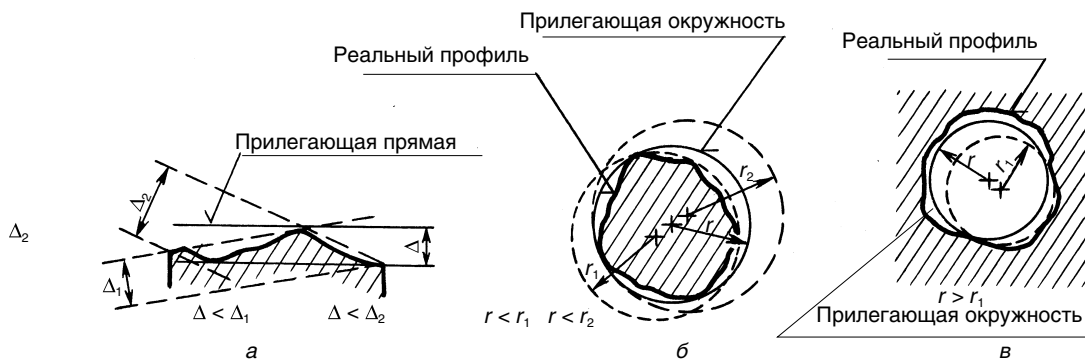


Рис. 8.13. Прилегающие линии

*Прилегающий цилиндр* — это цилиндр минимального диаметра, описанный вокруг реальной наружной поверхности, или максимального диаметра, вписанный в реальную внутреннюю поверхность.

*Прилегающие поверхности и профили* соответствуют условиям сопряжения деталей при посадках с нулевым зазором. При измерении прилегающими поверхностями служат рабочие поверхности контрольных плит, интерференционных стекол, лекальных и поверочных линеек, калибров, контрольных оправок и т. п. Количественно отклонение формы оценивают наибольшим расстоянием  $\Delta$  от точек реальной поверхности (профиля) до прилегающей поверхности (профиля) по нормали к последней. Приняты следующие буквенные обозначения:  $\Delta$  — отклонение формы или отклонение расположения поверхностей;  $T$  — допуск формы или допуск расположения;  $L$  — длина нормируемого участка.

### Отклонения формы цилиндрических, плоских и поверхностей заданного профиля

*Отклонение от круглости* — наибольшее расстояние  $\Delta$  от точек реального профиля до прилегающей окружности (рис. 8.14, а).

*Допуск круглости  $T$*  — наибольшее допускаемое значение отклонения от круглости. *Поле допуска круглости* — область на плоскости, перпендикулярной оси поверхности вращения или проходящей через центр сферы, ограниченная двумя концентрическими окружностями, отстоящими одна от другой на расстоянии, равном допуску круглости  $T$ .

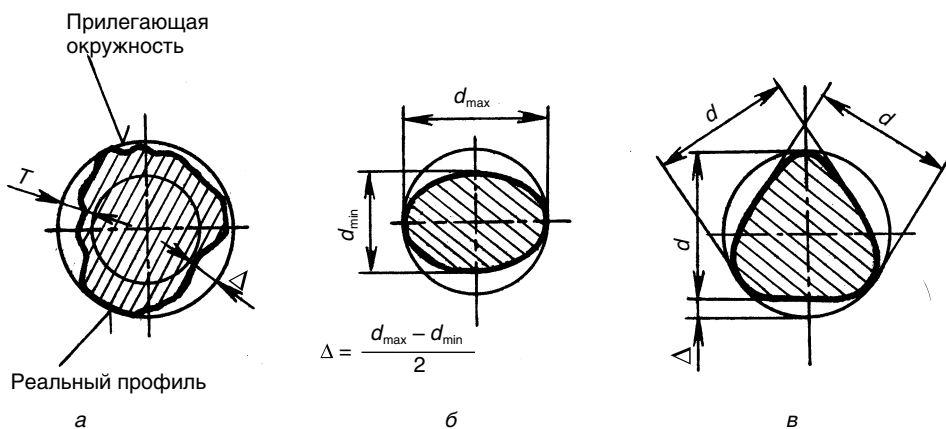


Рис. 8.14. Отклонения формы цилиндрических поверхностей в поперечном сечении: а — произвольный профиль; б — овальность; в — трехгранка

Частными видами отклонений от круглости являются овальность и огранка. *Овальность* — отклонение от круглости, при котором реальный профиль представляет собой овальную фигуру, наибольший и наименьший диаметры которой находятся во взаимно перпендикулярных направлениях (рис. 8.14, б). *Огранка* — отклонение от круглости, при котором реальный профиль представляет собой многогранную фигуру. Огранка может быть с чётным и нечётным числом граней. Огранка с нечётным числом граней характеризуется размером граней  $d$  (рис. 8.14, в). Овальность детали возникает, например, вследствие биения шпинделя токарного или шлифовального станка, дисбаланса детали и других причин. Появление огранки вызвано изменением положения мгновенного центра вращения детали, например, при бесцентровом шлифовании.

*Отклонение от цилиндричности* — наибольшее расстояние  $\Delta$  от точек реальной поверхности до прилегающего цилиндра в пределах нормируемого участка  $L$  (рис. 8.15, а).

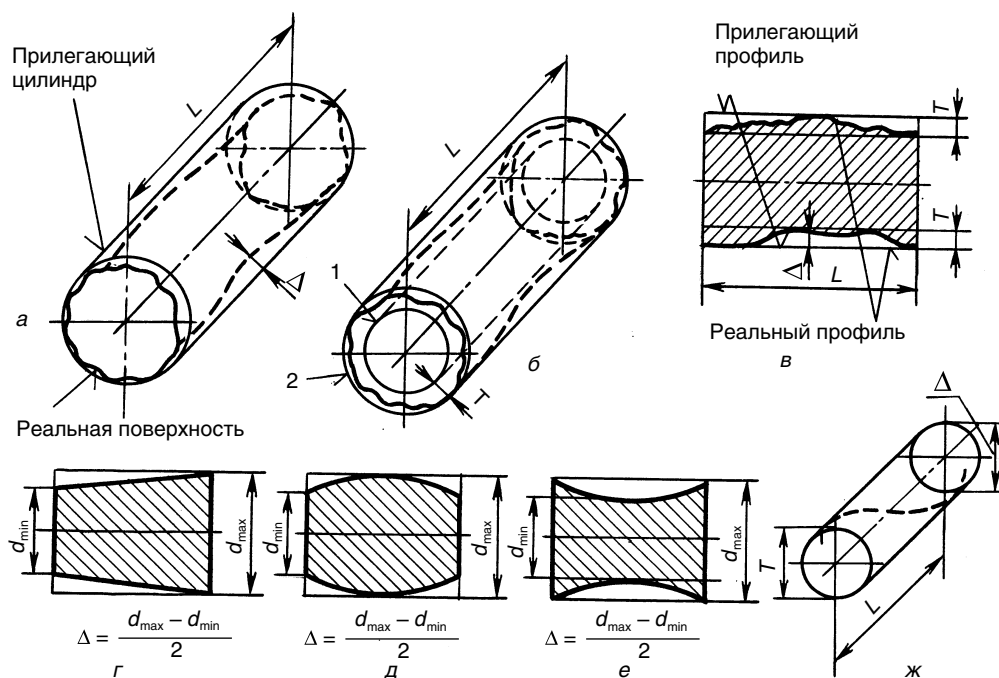


Рис. 8.15. Отклонение от цилиндричности и отклонение профиля в продольном сечении: а — произвольный цилиндр; б — допуск цилиндричности; в — продольный профиль; г — конусообразность; д — бочкообразность; е — вогнутость; ж — отклонение линии в пространстве

На рис. 8.15, б показано поле допуска цилиндричности, определяемое пространством, ограниченными соосными цилиндрами 1 и 2, отстоящими один от другого на расстоянии, равном допуску цилиндричности  $T$ .

*Отклонение профиля продольного сечения* — наибольшее расстояние  $\Delta$  от точек образующих реальной поверхности, лежащих в плоскости, проходящей через ее ось, до соответствующей стороны прилегающего профиля в пределах нормируемого участка  $L$  (рис. 8.15, в). Поле допуска  $T$  такого отклонения показано на рис. 8.15, в. Отклонение профиля продольного сечения характеризует отклонения от прямолинейности и параллельности образующих. Частными видами отклонения профиля продольного сечения являются конусообразность, бочкообразность и седлообразность.

*Конусообразность* — отклонение профиля продольного сечения, при котором образующие прямолинейны, но не параллельны (рис. 8.15, г).

*Бочкообразность* — отклонение профиля продольного сечения, при котором образующие непрямолинейны и диаметры увеличиваются от краев к середине сечения (рис. 8.15, д).

*Седлообразность* — отклонение профиля продольного сечения, при котором образующие непрямолинейны и диаметры уменьшаются от краев к середине сечения (рис. 8.15, е).

Бочкообразность чаще всего возникает при обтачивании тонких длинных валов в центрах без люнетов (в средней части под влиянием сил резания возникают большие упругие прогибы, чем по краям). Толстые короткие валы чаще получают седлообразными из-за большого смещения вала по краям (составляющие силы резания распределяются между обоими центрами более равномерно). Бочкообразность и седлообразность могут возникнуть также вследствие погрешности направляющих станин станков и других причин. Для получения требуемой формы деталей целесообразно отделочные операции выполнять после окончательной термической обработки. Причиной конусообразности являются износ резца, несовпадение геометрических осей шпинделя и пиноли задней бабки станка (смещение центров), отклонение от параллельности оси центров направляющим станины.

*Отклонение от прямолинейности оси (или линии)* в пространстве  $\Delta$  и поле допуска прямолинейности оси  $T$  показаны на рис. 8.15, ж.

*Отклонение от плоскостности* определяют как наибольшее расстояние  $\Delta$  от точек реальной поверхности до прилегающей плоскости в пределах нормируемого участка (рис. 8.16, а).

*Поле допуска плоскостности* — область в пространстве, ограниченная двумя параллельными плоскостями, отстоящими одна от другой на рас-

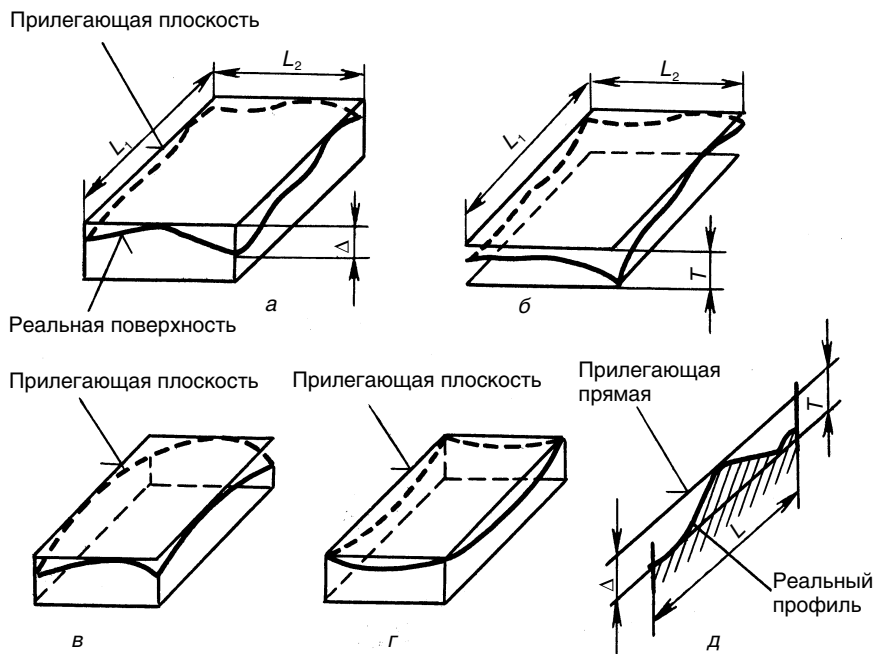


Рис. 8.16. Отклонение формы плоских поверхностей:  
 а — произвольная плоскость; б — допуск плоскостности; в, г — отклонение от плоскостности;  
 д — отклонение и допуск прямолинейности

стоянии, равному допуску плоскостности  $T$  (рис. 8.16, б). Частными видами отклонений от плоскостности являются *выпуклость* (рис. 8.16, в) и *вогнутость* (рис. 8.16, г). *Отклонение от прямолинейности в плоскости* (рис. 8.16, д) определяют как наибольшее расстояние  $\Delta$  от точек реального профиля до прилегающей прямой. *Поле допуска прямолинейности в плоскости* показано на рис. 8.16, д.

*Отклонение формы заданного профиля (поверхности)* — наибольшее отклонение  $\Delta$  точек реального профиля (поверхности) от номинального, определяемое по нормали к номинальному профилю (поверхности) в пределах нормируемого участка  $L$  (рис. 8.17, а).

Допуск формы  $T$  определяется в диаметральном выражении как удвоенное наибольшее допускаемое значение отклонения формы заданного профиля (поверхности) или в радиусном выражении как наибольшее допускаемое значение отклонения формы заданного профиля (поверхности). *Поле допуска формы заданного профиля* — область на заданной плоскости сечения поверхности, ограниченная двумя линиями, эквидистантными

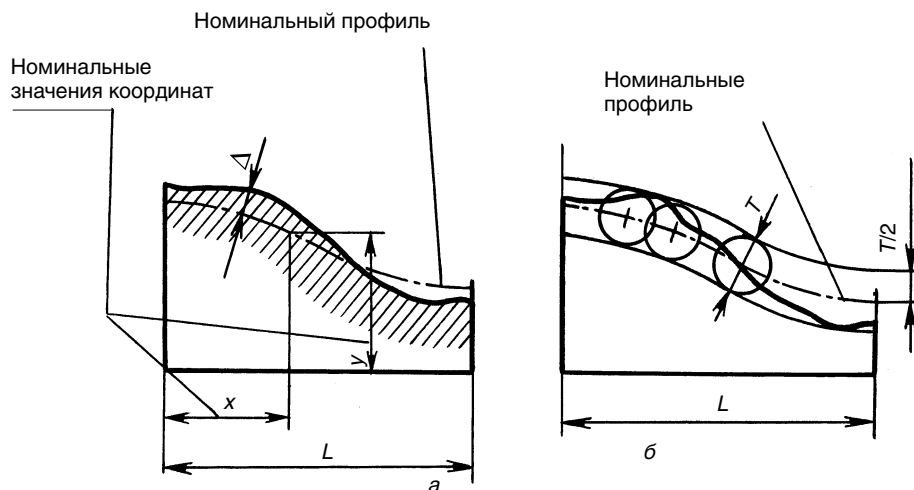


Рис. 8.17. Отклонения формы заданного профиля:  
а — отклонение формы произвольного профиля; б — допуск формы произвольного профиля

номинальному профилю и отстоящими одна от другой на расстоянии, равном допуску формы заданного профиля в диаметральном выражении  $T$  или удвоенному допуску формы в радиусном выражении  $T/2$ . Линии, ограничивающие поле допуска, являются огибающими семейства окружностей, диаметр которых равен допуску формы заданного профиля в диаметральном выражении  $T$ , а центры находятся на номинальном профиле (рис. 8.17, б).

### Отклонения расположения поверхностей

**Отклонением расположения поверхности** или профиля называют отклонение реального расположения поверхности (профиля) от его номинального расположения. Отклонения формы рассматриваемых поверхностей (профилей) и базовых элементов (обобщенный термин, под которым понимают поверхность, линию или точку) исключаются из рассмотрения, в случаях оценки отклонений расположения. При этом реальные поверхности (профили) заменяют прилегающими, а за оси, плоскости симметрии и центры реальных поверхностей (профилей) принимают оси, плоскости симметрии и центры прилегающих элементов. Примеры отклонений расположения поверхностей представлены на рис. 8.18.

Прилегающие  
плоскости

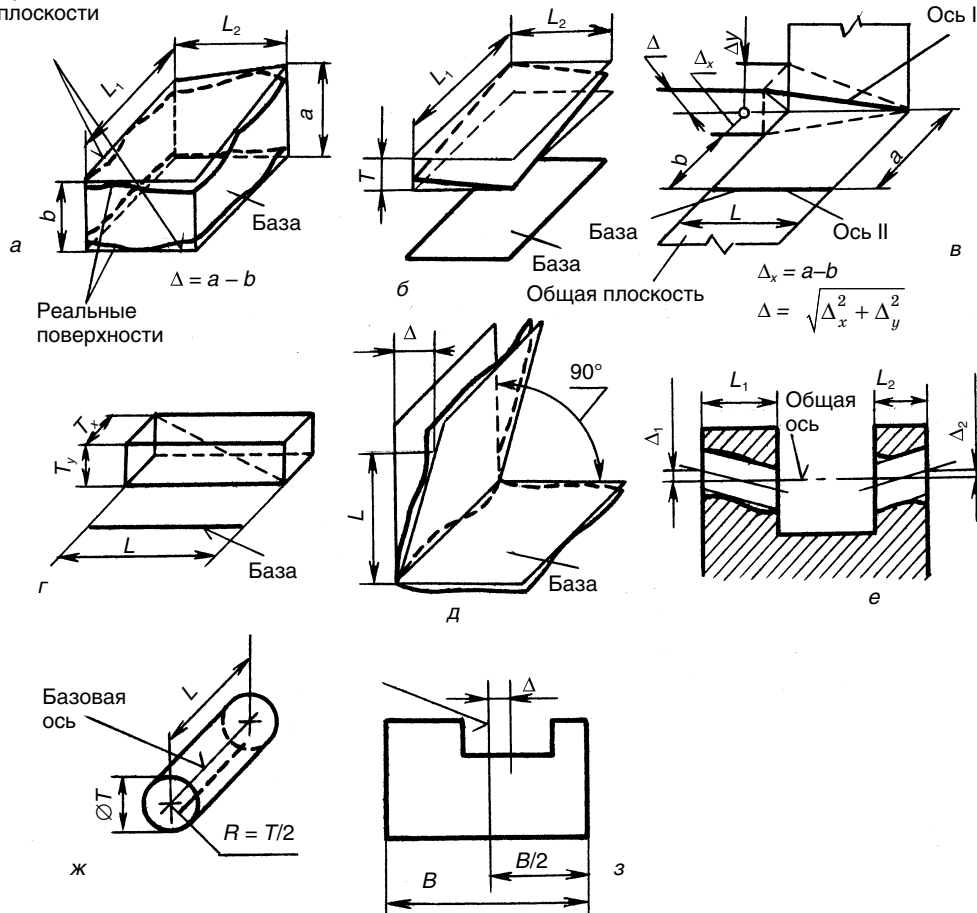


Рис. 8.18. Отклонения расположения поверхностей

*Отклонение от параллельности плоскостей* — разность  $\Delta$  наибольшего и наименьшего расстояний между прилегающими плоскостями в пределах нормируемого участка (рис. 8.18, а).

*Поле допуска параллельности плоскостей* называют область в пространстве, ограниченную двумя параллельными плоскостями, отстоящими одна от другой на расстоянии, равном допуску параллельности  $T$ , и параллельными базе (рис. 8.18, б).

*Отклонение от параллельности осей (прямых) в пространстве* — геометрическая сумма отклонений от параллельности проекций осей (прямых) в двух взаимно перпендикулярных плоскостях; одна из этих плоскостей является общей плоскостью осей, т. е. плоскостью, проходящей через одну (базовую) ось и точку другой оси (рис. 8.18, в). Отклонение от параллельности осей (или прямых) в общей плоскости — отклонение от параллельности  $\Delta_x$  проекций осей (прямых) на их общую плоскость.

*Перекос осей (прямых)* — отклонение от параллельности  $\Delta_y$  проекций осей (прямых) на плоскость, перпендикулярную к общей плоскости осей и проходящую через одну из осей (базовую). *Поле допуска параллельности осей (прямых) в пространстве* — это область в пространстве, ограниченная прямоугольным параллелепипедом, стороны сечения которого равны соответственно допуску  $T_x$  параллельности осей (прямых) в общей плоскости и допуску  $T_y$  перекоса осей (прямых), а боковые грани параллельны базовой оси и соответственно параллельны и перпендикулярны общей плоскости осей (рис. 8.18, г). Поле допуска можно представить также цилиндром, диаметр которого равен допуску параллельности  $T$ , а ось параллельна базовой оси.

*Отклонение от перпендикулярности плоскостей* показано на рис. 8.18, д.

*Отклонение от соосности относительно общей оси* — это наибольшее расстояние ( $\Delta_1, \Delta_2, \dots$ ) между осью рассматриваемой поверхности вращения и общей осью двух или нескольких поверхностей вращения на длине нормируемого участка (рис. 8.18, е). Допуск соосности в диаметральной выражении равен удвоенному наибольшему допускаемому значению отклонения от соосности, а в радиусном выражении — наибольшему допускаемому значению этого отклонения. *Поле допуска соосности* — область в пространстве, ограниченная цилиндром, диаметр которого равен допуску соосности в диаметральной выражении  $T$  или удвоенному допуску соосности в радиусном выражении  $R$ , а ось совпадает с базовой осью (рис. 8.18, ж). Альтернативная количественная оценка соосности (в диаметральной и радиусном выражении) принята по рекомендации ИСО также для симметричности и пересечения осей. Следует иметь в виду, что ранее эти отклонения определяли только в радиусной мере.

*Отклонение от симметричности относительно базовой плоскости* — наибольшее расстояние  $\Delta$  между плоскостью симметрии рассматриваемой поверхности и базовой плоскостью симметрии в пределах нормируемого участка (рис. 8.18, з).

*Отклонения от пересечения осей*, которые номинально должны пересекаться, определяют как наименьшее расстояние  $\Delta$  между рассматриваемыми

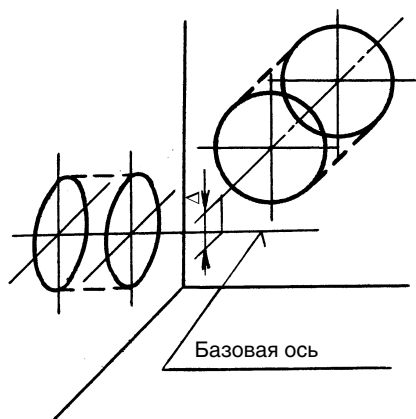


Рис. 8.19. Отклонение от пересечения осей

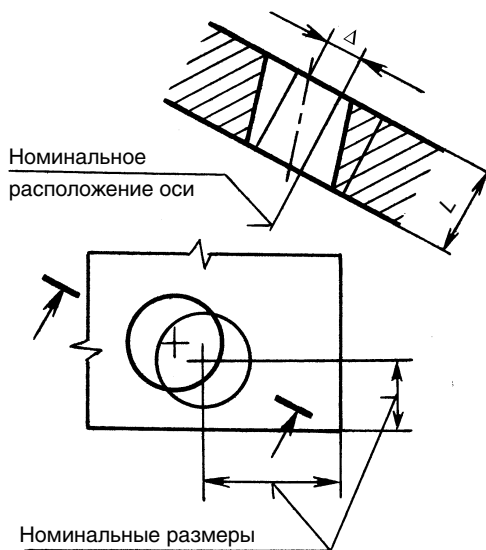


Рис. 8.20. Позиционное отклонение

мой и базовой осями (рис. 8.19). *Поле допуска пересечения осей* — область в пространстве, ограниченная двумя параллельными плоскостями, отстоящими одна от другой на расстоянии, равном допуску пересечения в диаметральной выражении  $T$  или удвоенному допуску пересечения в радиусном выражении  $T/2$ , и расположенными симметрично относительно базовой оси.

*Позиционное отклонение* — наибольшее отклонение  $\Delta$  реального расположения элемента (его центра, оси или плоскости симметрии) от его номинального расположения в пределах нормируемого участка (рис. 8.20).

### Суммарные отклонения формы и расположения поверхностей

*Радиальное биение* поверхности вращения — разность наибольшего и наименьшего расстояний от точек реального профиля поверхности вращения до базовой оси в сечении, перпендикулярном этой оси  $\Delta_1$  (рис. 8.21, а). Радиальное биение относительно базовой оси является результатом совместного проявления отклонения от круглости профиля рассматриваемого сечения и отклонения его центра относительно базовой

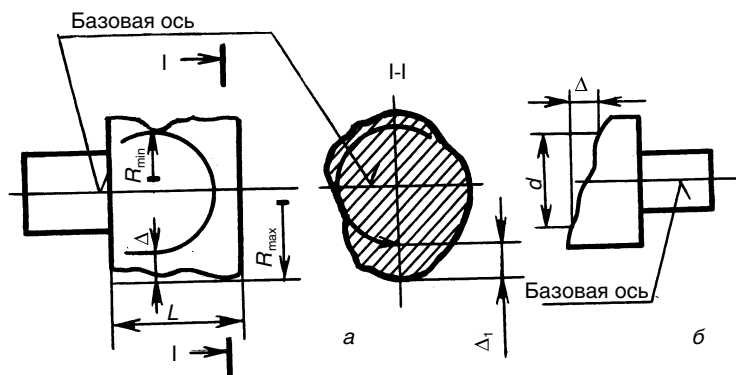


Рис. 8.21. Радиальное и торцовое биения:  
а — радиальное биение; б — торцовое биение

оси. В случае, если определяется разность наибольшего и наименьшего расстояний от всех точек реальной поверхности в пределах нормированного участка  $L$  до базовой оси, то находят *полное радиальное биение*  $\Delta = R_{\max} - R_{\min}$ . Оно является результатом совместного влияния отклонения от цилиндричности поверхности и отклонения от ее соосности относительно базовой оси.

**Торцовое биение (полное)** — разность  $\Delta$  наибольшего и наименьшего расстояния от точек всей торцовой поверхности до плоскости, перпендикулярной базовой оси. Оно является результатом совместного проявления отклонений от плоскостности рассматриваемой поверхности и отклонения от ее перпендикулярности относительно базовой оси. Торцовое биение  $\Delta$  можно определять в сечении торцовой поверхности цилиндром заданного диаметра  $d$  (рис. 8.21, б).

### Зависимый и независимый допуски расположения и формы

**Зависимым** называют переменный допуск расположения или формы, минимальное значение которого указывается в чертеже или технических требованиях и которое допускается превышать на величину, соответствующую отклонению действительного размера поверхности детали от проходного предела (наибольшего предельного размера вала или наименьшего предельного размера отверстия). Зависимые допуски расположения назначают главным образом в случаях, когда необходимо обеспечить собираемость деталей, сопрягающихся одновременно по нескольким поверхностям с заданными зазорами или натягами.

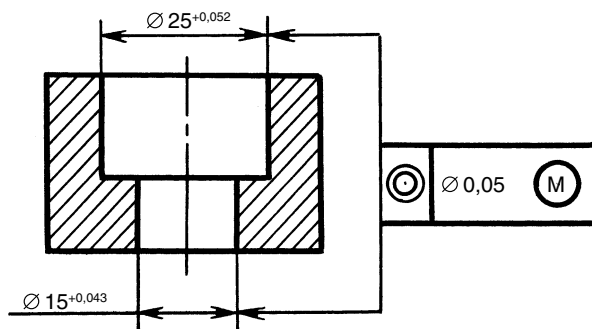


Рис. 8.22. Зависимый допуск соосности отверстий

*Независимым* называют допуск расположения или формы, числовое значение которого постоянно для всей совокупности деталей, изготовляемых по данному чертежу, и не зависит от действительных размеров рассматриваемых поверхностей. Например, когда необходимо выдерживать соосность посадочных гнезд под подшипники качения, ограничить колебание межосевых расстояний в корпусах редукторов и т. п., следует контролировать собственно расположение осей поверхностей.

**Пример.** Для отверстий диаметром  $15^{+0,043}$  и  $25^{-0,52}$  мм детали, показанной на рис. 8.22, назначен зависимый допуск соосности 0,05 мм.

Значение допускаемого отклонения от соосности является наименьшим и относится к деталям, у которых диаметры отверстий имеют наименьшие предельные размеры. С увеличением диаметров отверстий в соединении образуются зазоры. Отклонение от соосности  $\Delta$  определяется разностью радиальных расстояний от осей отверстий, а зазоры — разностью предельного и номинального диаметров, поэтому отклонение от соосности  $\Delta$  связано с суммарным зазором в обеих ступенях  $S_1 + S_2$  зависимостью  $\Delta = (S_1 + S_2) / 2$ .

При наибольших предельных диаметрах отверстий 15,043 и 25,052 мм возможно дополнительное отклонение от соосности, равное 0,5 ( $0,043 + + 0,052$ )  $\approx 0,047$  мм. Допуск соосности в этом случае  $T_{max} = 0,05 + 0,047 = 0,097$  мм.

Зависимые допуски можно контролировать комплексными калибрами, являющимися прототипами сопрягаемых деталей. Эти калибры проходные, что гарантирует беспригоночную сборку изделий.

### Степени точности допусков формы и расположения поверхностей

Согласно ГОСТ 24643—81 для каждого вида допуска формы и расположения поверхностей установлено 16 степеней точности. Числовые значения допусков от одной степени к другой изменяются с коэффициентом возрастания 1,6. В зависимости от соотношения между допуском размера и допусками формы или расположения устанавливают следующие уровни относительной геометрической точности: *A* — нормальная относительная геометрическая точность, допуски формы или расположения составляют примерно 60% допуска размера; *B* — повышенная относительная геометрическая точность, допуски формы или расположения составляют примерно 40% допуска размера; *C* — высокая относительная геометрическая точность, допуски формы или расположения составляют примерно 25% допуска размера. Допуски формы цилиндрических поверхностей, соответствующие уровням *A*, *B* и *C*, составляют примерно 30, 20 и 12% допуска размера, так как допуск формы ограничивает отклонение радиуса, а допуск размера — отклонение диаметра поверхности. Допуски формы и расположения можно ограничивать полем допуска размера. Эти допуски указывают только, когда по функциональным или технологическим причинам они должны быть меньше допусков размера или неуказанных допусков по ГОСТ 25670—83.

### Обозначение допусков формы и расположения поверхностей

*Вид допуска формы и расположения* согласно ГОСТ 2.308—79 следует обозначать на чертеже знаками (графическими символами), приведенными в табл. 8.1.

Таблица 8.1

**Условные обозначения допусков формы  
и расположения поверхностей**

| Группа допусков | Вид допуска                        | Знак                                                                                  |
|-----------------|------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| Допуск формы    | Допуск прямолинейности             | —                                                                                     |
|                 | Допуск плоскостности               |  |
|                 | Допуск круглости                   |  |
|                 | Допуск цилиндричности              |  |
|                 | Допуск профиля продольного сечения |  |

Окончание табл. 8.1

| Группа допусков                        | Вид допуска                          | Знак |
|----------------------------------------|--------------------------------------|------|
| Допуск расположения                    | Допуск параллельности                |      |
|                                        | Допуск перпендикулярности            |      |
|                                        | Допуск наклона                       |      |
|                                        | Допуск соосности                     |      |
|                                        | Допуск симметричности                |      |
|                                        | Позиционный допуск                   |      |
|                                        | Допуск пересечения осей              |      |
| Суммарные допуски формы и расположения | Допуск радиального биения            |      |
|                                        | Допуск торцового биения              |      |
|                                        | Допуск биения в заданном направлении |      |
|                                        | Допуск полного радиального биения    |      |
|                                        | Допуск полного торцового биения      |      |
|                                        | Допуск формы заданного профиля       |      |
|                                        | Допуск формы заданной поверхности    |      |

Знак и числовое значение допуска вписывают в рамку, указывая на первом месте знак, на втором — числовое значение допуска в миллиметрах и на третьем — при необходимости буквенное обозначение базы (баз) или поверхности, с которой связан допуск расположения (рис. 8.23, а). Рамку соединяют с элементом, к которому относится допуск, сплошной линией, заканчивающейся стрелкой (рис. 8.23, б). Если допуск относится к оси или плоскости симметрии, соединительная линия должна быть продолжением размерной (рис. 8.23, в); если допуск относится к общей оси (плоскости симметрии), соединительную линию проводят к общей оси (рис. 8.23, г).

Перед числовым значением допуска следует указывать: символ  $\varnothing$ , если поле допуска задано его диаметром (рис. 8.23, д); символ  $R$ , если поле допуска задано радиусом (рис. 8.23, е); символ  $T$ , если допуски симметричности, пересечения осей, формы заданной поверхности, а также позиционные заданы в диаметральном выражении (рис. 8.23, ж); символ  $T/2$  для тех же видов допусков, если они заданы в радиусном выражении (рис. 8.23, з); слово «сфера» и символы  $\varnothing$  или  $R$ , если поле допуска сферическое (рис. 8.23, и). Если допуск относится к участку поверх-

ности заданной длины (площади), то ее значение указывают рядом с допуском, отделяя от него наклонной линией (рис. 8.23, *к*). Если необходимо назначить допуск на всей длине поверхности и на заданной длине (рис. 8.23, *л*). Надписи, дополняющие данные, приведенные в рамке, наносят, как показано на рис. 8.23, *м*.

Суммарные допуски формы и расположения поверхностей, для которых не установлены отдельные графические знаки, обозначают знаками составных допусков: сначала знак допуска расположения, затем знак допуска формы (рис. 8.23, *н*).

Базу обозначают зачерненным треугольником, который соединяют соединительной линией с рамкой допуска (рис. 8.24, *а*).

Базу можно обозначать буквой, соединяя ее с треугольником (рис. 8.24, *б*). Если базой является ось или плоскость симметрии, треугольник располагают в конце размерной линии соответствующего размера поверхности. В случае недостатка места стрелку размерной линии допускается заменять треугольником (рис. 8.24, *в*).

Обозначение зависимых допусков показано на рис. 8.25. Если допуск расположения или формы не указан как зависимый, его считают независимым. Зависимые допуски расположения и формы обозначают условным знаком  $\textcircled{M}$  (буквой М в кружке), который помещают после числового значения допуска, если зависимый допуск связан с действительными размерами рассматриваемого элемента (рис. 8.25, *а*); после бук-

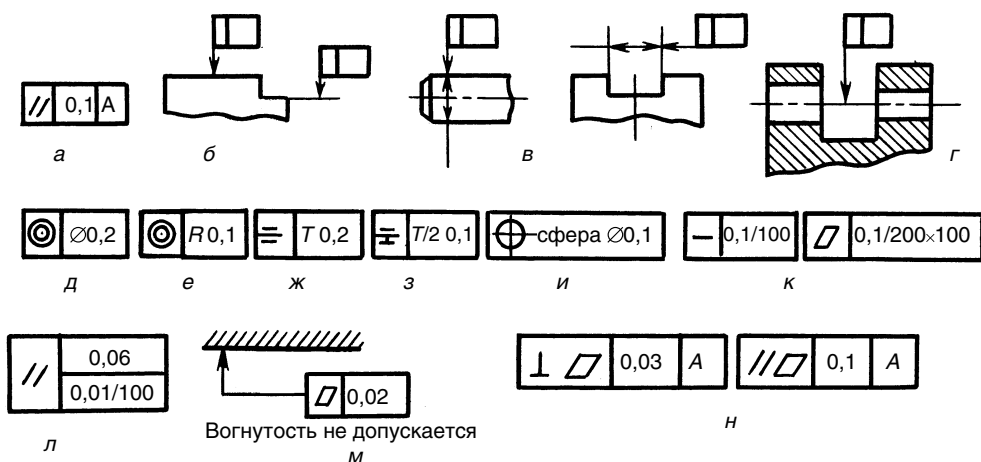


Рис. 8.23. Примеры указания допусков формы и расположения поверхностей

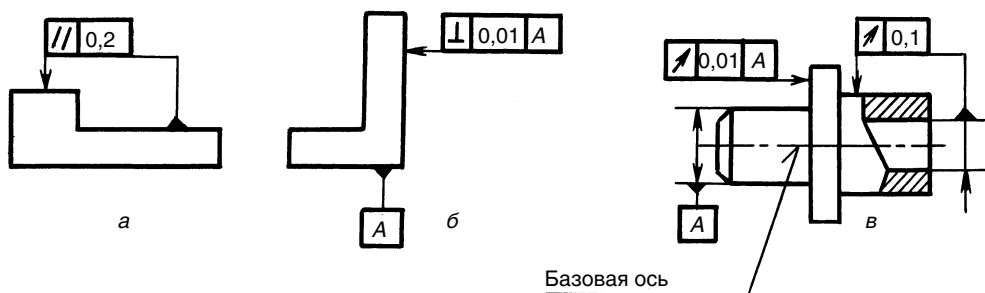


Рис. 8.24. Примеры обозначения баз

венного обозначения базы (рис. 8.25, б) или без буквенного обозначения в третьей части рамки (рис. 8.25, в), если этот допуск связан с действительными размерами базового элемента; после числового значения допуска и буквенного обозначения базы (рис. 8.25, в) или без буквенного указания базы (рис. 8.25, д), если зависимый допуск связан с действительными размерами рассматриваемого и базового элемента.

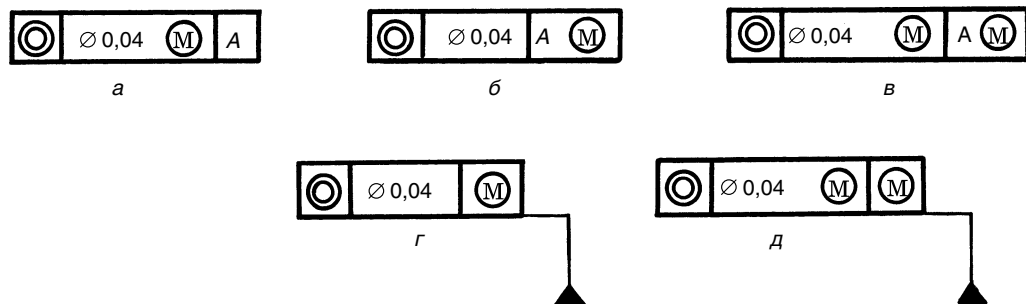


Рис. 8.25. Примеры обозначения зависимых допусков соосности

### Измерение и контроль отклонений формы и расположения поверхностей

Отклонения формы определяют с помощью универсальных и специальных средств измерения. При этом используют поверочные чугунные плиты и плиты из твердых каменных пород (ГОСТ 10905—86), поверочные линейки типов ЛЧ, ЛТ, ЛД, ШП, ШПХ, ШД, УТ, ШМ (ГОСТ 8026—92), угольники типа УЛ, УЛП, УЛЦ, УП, УШ (ГОСТ 3749—77), призмы (ГОСТ 5641—82), плоскопараллельные концевые меры длины (ГОСТ 9038—90), уровни, натянутые струны и оптико-механические приборы, в которых роль образцовой прямой выполняет световой или лазерный луч.

При измерении отклонений от прямолинейности и плоскостности (рис. 8.26, а) используют поверочные линейки или концевые меры с одинаковыми размерами, на которые устанавливают поверочную линейку 2.

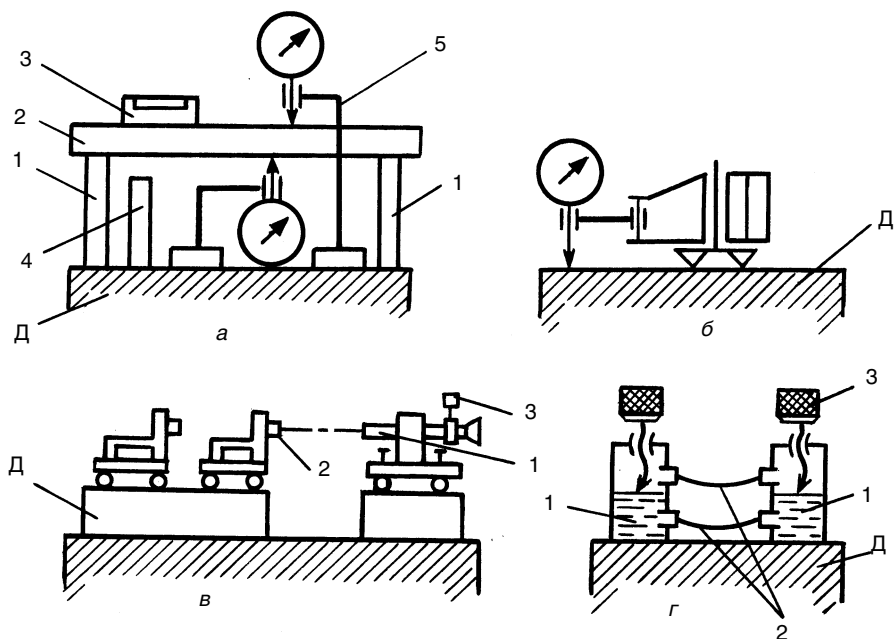


Рис. 8.26. Схемы контроля отклонений от прямолинейности и плоскостности с помощью: а — поверочной линейки; б — поворотного плоскомера; в — визирного прибора; г — гидростатических уровней

При контроле отклонений от плоскостности для установки параллельности верхних плоскостей линейек 1 служит уровень 3. Отклонения определяют либо с помощью дополнительной меры 4 и щупов, либо с помощью измерительных головок 5, установленных на штативах. Отклонение от прямолинейности протяженных, вертикальных поверхностей можно определять сравнением с параллельно натянутой струной. Расстояние между струной и изделием определяют с помощью микровинта или микроскопа. Для контроля отклонения от плоскостности можно использовать накладной поворотный плоскомер (рис. 8.26, б), снабженный индикаторной головкой с ценой деления шкалы 10 и 20 мкм. С помощью визирных приборов (рис. 8.26, в) измеряют расстояние от исследуемой поверхности до оптической оси трубы 1, устанавливаемой вблизи изделия Д. При наклоне каретки с зеркалом 2, вызванном отклонениями от плоскостности, проецируемое на зеркало изображение марки автоколлиматора возвратится в него смещенным на некоторую величину. Угловое смещение измеряют с помощью компенсатора 3. Выпускают также

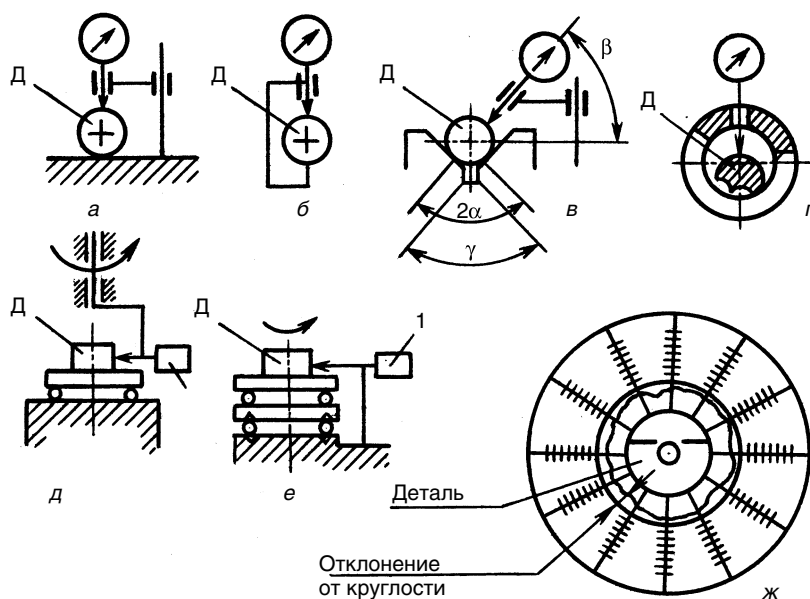


Рис. 8.27. Схема контроля отклонений от круглости с помощью: а — одноточечного прибора; б — двухточечного прибора; в — прибора с призмой; г — прибора с базирующим кольцом; д — кругломера с вращающимся наконечником; е — кругломера с вращающейся деталью; ж — записи на кругломере

плоскомеры с гидростатическими уровнями (рис. 8.26, *г*), действующими по принципу сообщающихся сосудов. При этом используют две или несколько измерительных головок 1, соединенных между собой резиновыми шлангами 2. Установив головки в проверяемых точках, вращают микровинты 3 до соприкосновения их острия с поверхностью жидкости, отсчет показаний выполняют по шкалам. Погрешность измерения равна примерно  $\pm 0,01$  мм. Для определения отклонений от круглости применяют одно-, двух- и трехточечные приборы, кругломеры с прецизионным вращением детали или головки и интерферометры, сравнивающие контролируемую поверхность с образцовой. Огранку с нечётным числом граней невозможно обнаружить ни одноточечными (рис. 8.27, *а*), ни двухточечными (рис. 8.27, *б*) приборами. Для этого используют базирование на призме (рис. 8.27, *в*) или в кольце (рис. 8.27, *г*).

Для воспроизведения реального профиля детали служат приборы для измерений отклонений формы и расположения поверхностей вращения (ГОСТ 17353—89), например, с вращающимся наконечником 1 (рис. 8.27, *д*) или деталью (рис. 8.27, *е*). Наконечник, соприкасаясь с поверхностью детали, совершает радиальные перемещения, которые автоматически в увеличенном масштабе вычерчиваются в полярных координатах записывающим механизмом на круглограмме (рис. 8.27, *ж*). Числовые значения отклонений от круглости определяют с помощью прозрачного шаблона с концентрическими окружностями, накладываемого на круглограмму и перемещаемого до тех пор, пока одна из окружностей не займет положение прилегающей. В электрических схемах кругломеров предусмотрены частотные фильтры, позволяющие определять составляющие отклонений: эксцентриситет, овальность, огранки разных порядков, волнистость и т. д. На кругломерах различных типов можно контролировать наружные и внутренние поверхности детали диаметром  $3\div 300$  мм, длиной  $100\div 1600$  мм, с погрешностью  $0,01\div 0,8$  мкм, с увеличением перемещений наконечника от 2 до  $2\cdot 10^4$ .

Современные приборы для измерений отклонений формы и расположения поверхностей вращения выпускают зарубежные фирмы: «Рэнк Тэйлор Гобсон» (Англия), «Хоммельверке» (ФРГ), «Мицутойо» (Япония) и др. В ряде приборов реализован принцип отсчёта отклонений формы от средней линии, аналогично шероховатости и волнистости, что позволяет использовать резерв повышения качества соединений в направлении повышения герметичности и др. свойств, связанных с условиями контакта поверхностей. Некоторые приборы позволяют измерять отклонение от прямолинейности и получать информацию о цилиндричности валов и отверстий путём образцового перемещения наконечника по винтовой линии. Большинство этих измерительных средств имеет

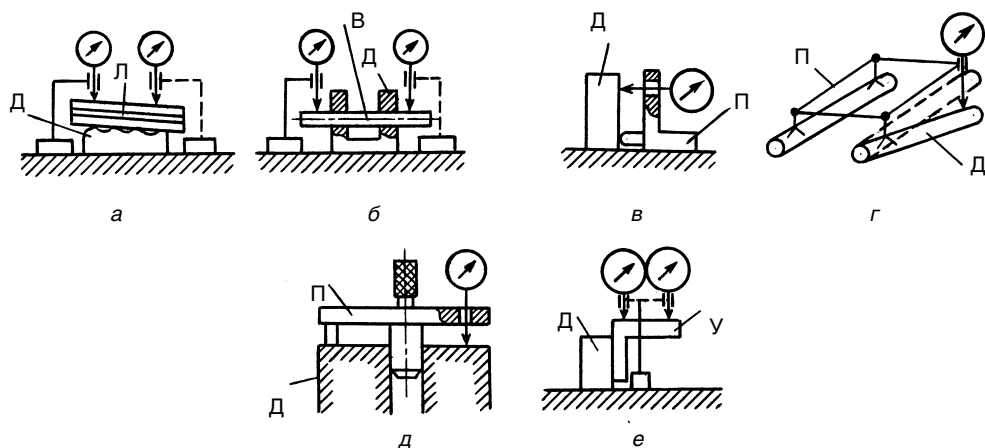


Рис. 8.28. Схемы контроля отклонений расположения с помощью:  
 а — линейки и поверочной плиты; б — валика; в, г, д — специальных приспособлений; е — угольника

возможность вывода измерительной информации на компьютер с целью последующей обработки и анализа.

Отклонения расположения от: параллельности, перпендикулярности, соосности и т. д. измеряют от прилегающих прямых и поверхностей. Прилегающие прямые и поверхности воспроизводятся с помощью дополнительных средств: поверочных плит, линеек Л (рис. 8.28, а), валиков В (рис. 8.28, б), угольников У (рис. 8.28, е) или специальных приспособлений Л (рис. 8.28, в, г, д).

На рис. 8.29 показаны схемы контроля соосности осей валов и отверстий с использованием специальных приспособлений. В качестве универсальных средств контроля отклонений расположения широко используют координатные измерительные машины (КИМ), описанные в разделе 6.4.

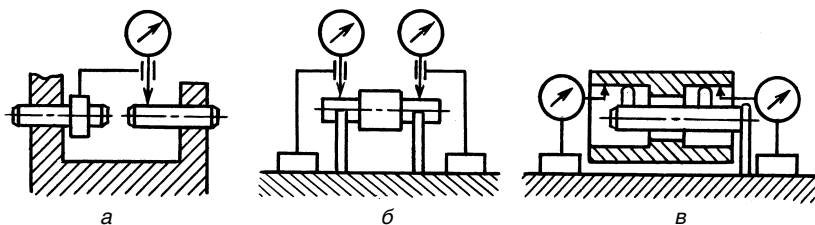


Рис. 8.29. Схемы контроля соосности:  
 а, в — контроль соосности с использованием технологических справок;  
 б — контроль соосности на призмах

## ГЛАВА 9

# СТАНДАРТИЗАЦИЯ И КОНТРОЛЬ ТОЧНОСТИ ГЛАДКИХ ДЕТАЛЕЙ И СОЕДИНЕНИЙ

### 9.1. СИСТЕМА ДОПУСКОВ И ПОСАДОК ГЛАДКИХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ И СОЕДИНЕНИЙ

Основой построения системы допусков и посадок гладких цилиндрических деталей и соединений (ГОСТ 25346—89) являются принципы построения систем допусков деталей общего применения, рассмотренные в разделе 7.3.

К гладким относятся цилиндрические, конические и плоские поверхности. Большинство деталей изделий ограничены гладкими поверхностями. Детали, сопрягающиеся по своим поверхностям, образуют *соединение*. По степени возможного взаимного перемещения поверхностей соединения могут быть *подвижные* — с зазором и *неподвижные* — с натягом. Номинальный размер соединения — общий для отверстия и вала. Понятия подвижное и неподвижное соединения или соединения с зазором и с натягом могут относиться, как к совокупности однотипных изделий, так и к единичному изделию. Понятие *посадки* относится к совокупности однотипных изделий, т.е. к изделиям, выполненным по одному чертежу. Таким образом, соединения бывают двух типов с зазором или с натягом, а посадки бывают трёх типов: с зазором, с натягом или переходные, в которых существует вероятность зазора и натяга во всей совокупности годных соединений.

Для образования посадок с различными зазорами и натягами в системе ИСО и в Единой системе допусков и посадок (ГОСТ 25346—89) для размеров до 500 мм предусмотрены основные отклонения валов и отверстий, представленные на рис. 9.1.

Основное отклонение — это одно из двух предельных отклонений (верхнее или нижнее), определяющее положение поля допуска относительно нулевой линии. Основное отклонение по абсолютной величине равно расстоянию от нулевой линии до ближайшей границы поля допуска. Основные отклонения отверстий обозначают прописными буквами латинского алфавита (рис. 9.1, *а*), валов — строчными (рис. 9.1, *б*). Основное отклонение основного отверстия обозначают буквой *H*, основное отклонение основного вала — *h*. Таким образом, в системе допусков и посадок (ЕСДП) все валы, кроме вала с основным отклонением *h* выполняются в системе отверстия (СА), а все отверстия, кроме основного отверстия (*H*) — в системе вала (СВ). В посадках с сочетанием основных отклонений отверстия и вала *H/h* обе детали — основные; такие посадки

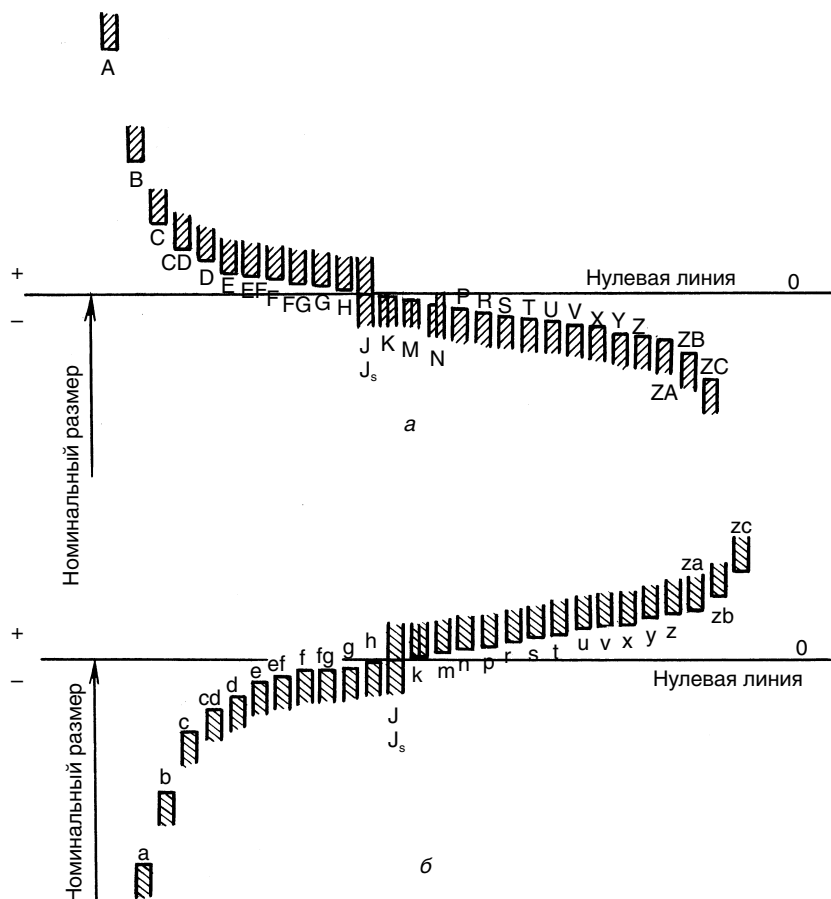


Рис. 9.1. Основные отклонения отверстий и валов в ЕСДП:

а — отклонения отверстий в системе вала (CB); б — отклонения валов в системе отверстий (CA)

иногда называют «скользящими», так как минимальный зазор в них равен нулю. Основные отклонения  $A - H$  ( $a - h$ ) предназначены для образования полей допусков в посадках с зазорами; отклонения  $J_s - N$  ( $j_s - n$ ) — в переходных посадках, отклонения  $P - ZC$  ( $p - zc$ ) — в посадках с натягом.

В системе допусков и посадок (ЕСДП) числовое значение основного отклонения определяется буквой и зависит от номинального размера, но не зависит от качества точности; значение допуска определяется циф-

рой (калитет) и зависит от номинального размера, но не зависит от основного отклонения. Это является особенностью построения системы допусков и посадок и помогает ориентироваться при расчётах и выборе посадок, а также контроле и оформлении технической документации.

Таким образом, основные отклонения отверстий обеспечивают посадки в системе вала, аналогичные посадкам в системе отверстия. Это получается за счёт того, что основные отклонения отверстий равны по абсолютной величине основным отклонениям валов, обозначаемых той же буквой, но противоположны по знаку. Описанное *общее правило* формулируется следующим образом: основное отклонение отверстия симметрично относительно нулевой линии основному отклонению вала, обозначенному той же, но строчной буквой. *Общее правило*:  $EI = -es$  для основных отклонений от  $A$  до  $H$ ; и  $ES = -ei$  для основных отклонений от  $J$  до  $ZC$ .

Существует, исключение из общего правила, называемое *специальным правилом*. Специальное правило применяется для отверстий в СВ размером свыше 3 мм с основными отклонениями  $J$ ,  $K$ ,  $M$  и  $N$  до квалитета 8 и с отклонениями  $P - ZC$  до квалитета 7 включительно.

*Специальное правило* формулируется так: две посадки в системе отверстия и в системе вала, в которых отверстие данного квалитета соединяется с валом ближайшего более точного квалитета (например,  $\varnothing 30H7/p6$  и  $\varnothing 30P7/h6$ ), должны иметь одинаковые зазоры или натяги (рис. 9.2).

*Специальное правило*:  $ES = -ei + \Delta$ , где  $\Delta = IT_n - IT_{n-1}$  — разность между допуском рассматриваемого квалитета и допуском ближайшего более точного квалитета.

**Пример.** Согласно ГОСТ 25346—89 нижнее отклонение вала  $p$  для интервала размеров 18÷30 мм  $ei = +22$  мкм. Верхнее отклонение отверстия  $P$  для указанных размеров по общему правилу было бы  $ES = -ei = -22$  мкм. Но согласно специальному правилу для основного отклонения  $P$   $ES = -ei + \Delta$ . Так, для поля допуска  $P7$   $\Delta = IT7 - IT6 = 21 - 13 = 8$  мкм и  $ES = -22 + 8 = -14$  мкм (рис. 9.2).

Отметим, что поправки  $\Delta$  в ГОСТ 25347—82 уже внесены и нет необходимости их вычислять.

Для валов  $j_s$  и отверстий  $J_s$  с симметричными отклонениями оба предельных отклонения определяют исходя из допуска  $IT$  соответствующего квалитета. Так как, для  $j_s$  и  $J_s$  поле допуска симметрично относительно нулевой линии  $es = |ei| = \pm IT/2$  и  $ES = |EI| = \pm IT/2$ .

Поля допусков в ЕСДП образуется сочетанием одного из основных отклонений с одним из квалитетов точности. В соответствии с этим правилом поле допуска обозначают буквой основного отклонения и номером квалитета, например, для вала  $h7$ ,  $d9$ ; для отверстия  $H7$ ,  $D9$ .

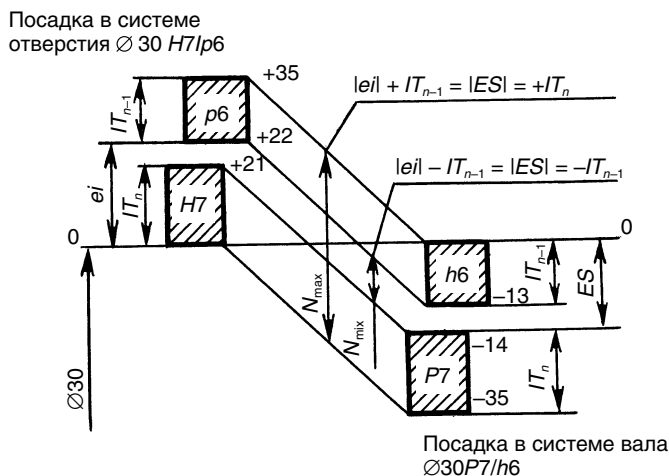


Рис. 9.2. Схема определения основных отклонений отверстий по специальному правилу

Таким образом, одно предельное отклонение — основное, а второе предельное отклонение, ограничивающее данное поле допуска, определяется по основному отклонению и допуску принятого квалитета. Если основное отклонение верхнее, то нижнее отклонение: для вала  $ei = es - IT$ ; для отверстия  $EI = ES - IT$ . Если основное отклонение нижнее, то верхнее отклонение: для вала  $es = ei + IT$ ; для отверстия  $ES = EI + IT$ . Следует иметь в виду, что допуск величина всегда положительная, а отклонения  $ei$ ,  $es$ ,  $EI$ ,  $ES$  берутся с учетом знака.

В соответствии с рекомендацией ИСО, основанной на практике промышленно развитых стран, из установленных основных рядов полей допусков для размеров от 1 до 500 мм выделены *предпочтительные поля допусков*. Они обеспечивают наибольшее число посадок общего применения.

ГОСТ 25347—82 устанавливает для размеров 1÷500 мм 16 полей допусков валов предпочтительного применения:  $g6$ ,  $h6$ ,  $j_s6$ ,  $k6$ ,  $n6$ ,  $p6$ ,  $r6$ ,  $s6$ ,  $j_s7$ ,  $h7$ ,  $e7$ ,  $h8$ ,  $d9$ ,  $h9$ ,  $d11$ ,  $h11$  и 10 полей отверстий:  $H7$ ,  $J_s7$ ,  $K7$ ,  $P7$ ,  $N7$ ,  $F8$ ,  $H8$ ,  $E9$ ,  $H9$ ,  $H11$ .

Использование предпочтительных полей допусков способствует повышению уровня унификации изделий, сокращает номенклатуру режущих инструментов и калибров, создает экономически благоприятные условия для кооперирования и организации централизованного производства для всех стран участников. В отдельных технически обоснованных случаях применяются поля допусков, не вошедшие в ряды предпочтительных.

Ряды полей допусков для размеров менее 1 мм характеризуются большим набором полей и смещением их в сторону более точных квалитетов по сравнению с основными рядами полей допусков для размеров от 1 до 500 мм. Это отражает более высокие точностные требования в приборостроении. Для размеров свыше 500 до 3150 мм установлено сокращенное число полей допусков, и они смещены в сторону более грубых квалитетов по сравнению с рядами для размеров от 1 до 500 мм. В частности, уменьшено число полей допусков отверстий для посадок с натягом, которые в системе вала осуществлять нецелесообразно. Для размеров свыше 3150 до 10 000 мм ГОСТ 25348—82 посадки с натягом предусмотрены только в системе отверстия. Для размеров более 500 мм и менее 1 мм предпочтительные поля допусков не выделены, но в ГОСТ 25347—82 даны рекомендации по применению полей допусков в различных интервалах номинальных размеров менее 1 мм.

Построение схем полей допусков посадок проводят с учётом особенностей системы допусков. Так как значение основного отклонения определяет расстояние от ближайшей границы поля допуска до нулевой линии, то верхнее, если поле допуска расположено выше нулевой линии, или нижнее, если поле допуска расположено ниже нулевой линии отклонения, определяют по основному отклонению и допуску выбранного квалитета.

**Пример.** Для вала  $\varnothing 16n5$  по ГОСТ 25346—89 основное отклонение равно  $+12$  мкм, допуск IT5 равен 8 мкм. Следовательно, нижнее отклонение вала  $ei = +12$  мкм, верхнее отклонение  $es = 12 + 8 = +20$  мкм. Если допуск вала принять по IT7, то  $ei$  не изменится,  $es = 12 + 18 = +30$  мкм (рис. 9.3).

Верхние отклонения полей допусков валов (от  $a$  до  $g$ ) и нижние отклонения соответствующих отверстий (от  $A$  до  $G$ ), применяемые для посадок с зазором, приняты одинаковыми по абсолютному значению. Следовательно, зазоры в одноименных посадках в системах отверстия и вала одинаковы.

Поля допусков свыше квалитета 7 для посадок с натягом в ЕСДП построены так, что верхние отклонения валов в системе отверстия равны по абсолютному значению нижним отклонениям отверстий в системе вала, обозначенным теми же, но прописными буквами. Следовательно, наибольшие натяги в системах отверстия и вала одинаковы, так как допуски при одном и том же квалитете в обеих системах равны (рис. 9.3).

В ЕСДП для всех диапазонов размеров установлены *рекомендуемые посадки*, а для размеров 1÷500 мм из числа рекомендуемых выделены *предпочтительные посадки*. К числу предпочтительных посадок в диапазоне размеров 1÷500 мм относятся посадки в системе отверстия:

$H7/e8$ ;  $H7/f7$ ;  $H7/g6$ ;  $H7/h6$ ;  $H7/j_s6$ ;  $H7/k6$ ;  $H7/n6$ ;  $H7/p6$ ;  $H7/r6$ ;  $H7/s6$ ;  $H8/e8$ ;  $H8/h7$ ;  $H8/h8$ ;  $H8/d9$ ;  $H9/d9$ ;  $H11/d11$ ;  $H11/h11$  и в системе вала:  $F8/h6$ ;  $H7/h6$ ;  $J_s7/h6$ ;  $K7/h6$ ;  $N7/h6$ ;  $P7/h6$ ;  $H8/h7$ ;  $E9/h8$ ;  $H8/h8$ ;  $H11/h11$ .

Отбор полей допусков и посадок основан на производственном опыте и позволяет унифицировать применяемые в промышленности посадки, обеспечивает типовые конструктивные, а также разрабатывать типовые технологии изготовления изделий. Комбинируя различные варианты предпочтительных полей допусков валов и отверстий, можно значительно расширить возможности системы по созданию различных посадок без увеличения набора инструментов, калибров и другой технологической оснастки. В различных отраслях промышленности действуют ограничительные отраслевые стандарты или стандарты предприятия, сокращающие число полей допусков и посадок.

В большинстве случаев посадки назначаются и в системе отверстия и в системе вала. Однако, применение системы отверстия является предпочтительным. Систему вала следует применять только в тех случаях,



Рис. 9.3. Примеры расположения полей допусков при образовании посадок

когда это оправдано конструктивными или экономическими условиями, например, если необходимо получить разные посадки нескольких деталей с отверстиями на одном гладком валу или если валом является стандартная деталь, например, наружное кольцо подшипника. Штифты и шпонки являются основными валами, т.е. выполняются с основным отклонением  $h$  и, следовательно, все сопряжённые с ними детали выполняются в системе вала, за исключением случая соединения с отверстием  $H$ .

Применение посадок в системе отверстия обосновано экономическими соображениями, что объясняется технологическими условиями обработки валов и отверстий. Обработка валов в большинстве случаев производится на универсальном оборудовании (токарные и шлифовальные станки) универсальным инструментом (резцы, шлифовальные круги) и не требует для каждого размера детали специальных условий. Обработка отверстий сверлением, развёртыванием или протягиванием в каждом случае требует специальный инструмент необходимого размера. Кроме того, контрольные калибры для отверстий (предельные калибры — пробки) являются более дорогостоящими, чем для контроля валов (предельные калибры — скобы). Всё это, в случае применения системы отверстия, приводит к значительному сокращению режущего и контрольного инструмента.

Встречаются конструкторские решения, например, в узлах с подшипниками качения, когда целесообразно применять *комбинированные посадки*. Комбинированные посадки образуются соединением отверстия в системе вала и вала в системе отверстия, например:  $E9/k6$ ;  $J_7/d11$  и т.п. или соединением отверстия и вала, качества точности которых отличаются более, чем на два качества, например:  $H6/d9$ ;  $H9/m6$  и т.п. Комбинированные посадки должны быть образованы из предпочтительных или рекомендуемых полей допусков отверстия и вала, но допускаются и исключения.

## 9.2. СИСТЕМА ДОПУСКОВ И ПОСАДОК ДЛЯ ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ

### Классы точности и категории подшипников

Подшипники качения различных типоразмеров представляют собой стандартные сборочные единицы, изготавливаемые в большом количестве на специализированных заводах, главные требования к которым надёжность работы и взаимозаменяемость. Подшипники качения не зависимо от конструктивных особенностей и размеров обладают полной внешней

взаимозаменяемостью по наружному диаметру наружного кольца  $D$  и внутреннему диаметру внутреннего кольца  $d$ . Полная взаимозаменяемость по присоединительным поверхностям позволяет проводить сборку и замену подшипников качения при ремонте изделия с соблюдением технических требований к качеству.

Присоединительные размеры подшипников качения, по которым они монтируются на валах и в корпусах изделий, установлены межгосударственным стандартом ГОСТ 520—2002. Обозначения диаметров не соответствуют правилу, установленному ЕСДП, поскольку подшипники качения готовое специальное изделие; диаметр отверстия внутреннего кольца обозначается строчной буквой  $d$ , наружный диаметр наружного кольца (вал) заглавной —  $D$ .

Система допусков и посадок для подшипников качения построена с соблюдением принципов, изложенных в разделе 7.3. Установлены уровни точности подшипников качения, позволяющие удовлетворить современным требованиям, предъявляемым к показателям качества изделий. По ГОСТ 520—2002 для разных типов подшипников качения установлены следующие *классы точности*, обозначаемые в порядке повышения точности: 8; 7; 0; нормальный; 6X; 6; 5; 4; T; 2.

Для шариковых и роликовых радиальных, а также радиально-упорных шариковых подшипников установлены классы точности: 8; 7; нормальный; 6; 5; 4; T; 2.

Для роликовых конических подшипников установлены 8; 7; 0; нормальный; 6X; 6; 5; 4; 2 классы точности.

Для упорных и упорно-радиальных подшипников установлены 8; 7; нормальный; 6; 5; 4; 2 классы точности.

ГОСТ 520—2002 соответствует стандартам ИСО 492—94 и ИСО 199—97, но включает 3 дополнительных класса точности: 8, 7 и T. Классы точности 8 и 7 устанавливаются в нормативных документах при изготовлении подшипников по договору с заказчиком.

В зависимости от наличия требований связанных с условиями работы подшипников качения: допускаемого уровня вибраций, момента трения, а также дополнительных технических требований, связанных с отклонениями формы и расположения, волнистостью поверхностей подшипника, погрешностями монтажа и других, установлены три *категории подшипников* — A, B, C.

К *категории A* относят подшипники классов точности 5, 4, T, 2 с одним из следующих дополнительных требований по: повышенным регламентированным нормам уровня вибрации; волнистости и отклонению от круглости поверхностей и моменту трения; волнистости и отклонению от круглости поверхностей качения и контролю угла контакта; волнис-

тости и отклонению от круглости поверхностей качения, моменту трения и контролю угла контакта; волнистости и отклонению от круглости поверхностей качения, значению осевого биения, соответствующему следующему более высокому классу точности; волнистости и отклонению от круглости поверхностей качения, значению радиального биения, соответствующему следующему более высокому классу точности и другим сочетаниям этих требований.

К категории В относят подшипники классов точности 0, нормального, 6Х, 6, 5 с одним из следующих дополнительных требований по: регламентированным нормам уровня вибрации; волнистости и отклонению от круглости поверхностей качения; значению осевого биения, соответствующему следующему более высокому классу точности; значению радиального биения, соответствующему следующему более высокому классу точности; значениям осевого и радиального биений, соответствующим следующему более высокому классу точности; моменту трения; контролю угла контакта; моменту трения и контролю угла контакта; высоте, монтажной высоте и ширине подшипников.

К категории С относят подшипники классов точности 8, 7, 0, нормального, 6, к которым не предъявляют дополнительные требования, установленные для подшипников категорий А и В или другие не указанные в стандарте требования.

Подшипники категорий А, В, С изготавливают по заказу потребителя.

Конкретные значения дополнительных технических требований устанавливают в нормативных документах на подшипники категорий А, В, С или в конструкторской документации, утвержденной в установленном порядке.

Категории А, В, С, кроме отдельных технических требований, не распространяются на подшипники, изготавливаемые по нормативным документам для авиации, железнодорожного транспорта и автомобилестроения, станкостроения, приборостроения и др., где установлены специальные требования, отличающиеся от требований ГОСТ 520—2002 и дополняющие их.

### **Условное обозначение подшипников**

Обозначение подшипников качения в технической документации и при маркировке готовых подшипников шариковых и роликовых установлен ГОСТ 3189—89, радиальных и упорных двойных роликовых комбинированных — ГОСТ 26290—90, шарнирных — ГОСТ 3635—78, роликовых игольчатых без колец ГОСТ 4060—78. Система обозначений представляет собой упорядоченную совокупность символов в виде букв и цифр, позволя-

ющую однозначно описать конкретный подшипник независимо от его размеров, типа и конструктивной разновидности. Основным требованием, предъявляемым к системе обозначений, является однозначность идентификации условного обозначения и конкретного подшипника. Система условных обозначений существенно сокращает объем описания подшипника, экономя при этом время и средства, позволяет использовать машинную обработку информации о подшипниках. Например, вместо описания подшипника в виде: «радиальный роликовый подшипник с короткими цилиндрическими роликами с безбортовым внутренним кольцом, с внутренним диаметром 25 мм», применяется его условное обозначение 32205.

Стандартами и техническими условиями в структуре системы предусмотрено *основное условное обозначение (ОУО)* и *дополнительное условное обозначение (ДУО)*, которое относительно ОУО может располагаться как справа, так и слева (рис. 9.4,а).

Независимо от типа подшипника основное условное обозначение характеризует линейные размеры подшипника, его тип и конструктивную разновидность. Дополнительные условные обозначения указывают в основном качественные показатели подшипника (точность, зазоры, материал, конструктивные изменения и т.д.). При этом слева от ОУО указываются такие параметры как: точность, зазоры, момент трения, категория, а справа — материал деталей подшипника, специальные требования, предъявляемые к подшипнику.

Структура и содержание элементов условных обозначений зависит от конкретного типа подшипника и определяется соответствующими ГОСТами и техническими условиями (ТУ). Например, подшипники общего назначения обозначаются по ГОСТ 3189-89 согласно структуре, представленной на рис. 9.4,б.

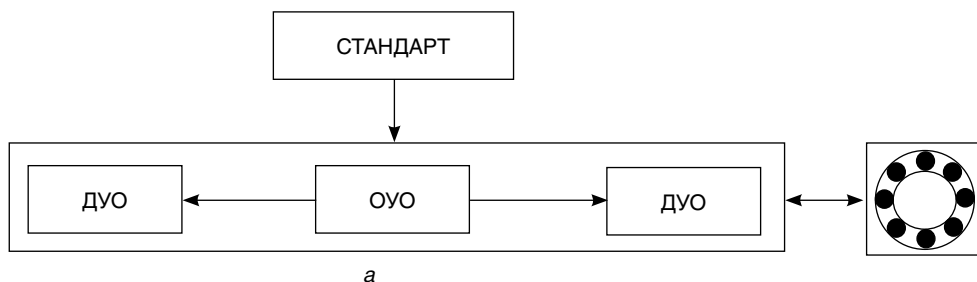


Рис. 9.4,а. Общая структура условных обозначений подшипников

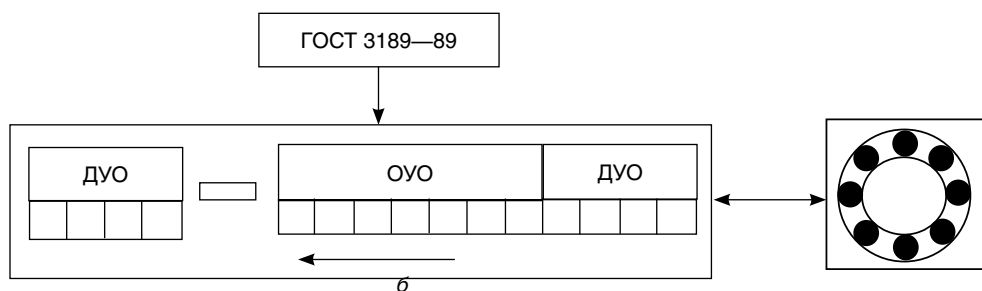


Рис. 9.4,б. Структура условного обозначения подшипника по ГОСТ 3189-89

В соответствии с ГОСТ 3189—89 в основу системы условных обозначений подшипников качения положены следующие основные признаки: внутренний диаметр подшипника  $d$ ; серия диаметров и серия ширин; тип подшипника; конструктивная разновидность подшипника. Кроме того, установлены признаки, которые характеризуют специальные требования к подшипникам, а именно: класс точности; радиальный зазор; момент трения; категория подшипника; специальные технические требования по шумности и вибрациям; температурные пределы отпуска деталей подшипника, виды смазок и другие. ГОСТ 3189—89 устанавливает строгий порядок расположения знаков ОУО и знаков ДУО. Порядок отсчета цифр ОУО следует вести справа налево (рис. 9.5). Общее число значащих цифр в ОУО равно 7. Дополнительное условное обозначение подшипника слева от ОУО отделяется дефисом, а справа — непосредственно за ним. Таким образом, структура буквенно-цифрового условного обозначения подшипника состоит из 7 цифр ОУО и вполне определенного сочетания букв и цифр ДУО. Подшипники одних и тех же типоразмеров, работающие в различных условиях могут изготавливаться по специальным требованиям. Чтобы отличить стандартные подшипники от подшипников, изготовленных по специальным требованиям, ГОСТом вводятся дополнительные условные обозначения (ДУО), располагаемые относительно ОУО слева и справа в виде комбинации цифр и букв русского и латинского алфавитов. При этом, величины, определяющее качество подшипника в ДУО располагаются слева от ОУО через дефис (рис. 9.5). К ним относятся: точность, величина радиального зазора, величина момента трения и категория подшипника. Специальные технические требования к подшипникам в ДУО располагаются справа от ОУО (рис. 9.5) и включают: материал подшипника или его отдельных деталей, некоторые конструктивные отличия, требования по шумности и вибрациям подшипников, температура отпуска деталей подшип-

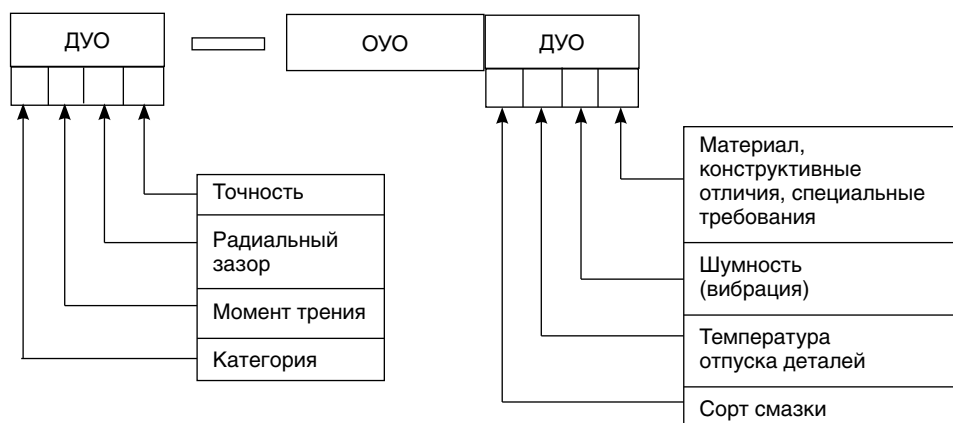


Рис. 9.5. Содержание дополнительных условных обозначений подшипников

ников, сорта смазки, закладываемой в подшипник закрытого типа при их изготовлении и другие.

Классы точности обозначаются соответствующей цифрой слева от ОУО через дефис. Класс точности 0, в случае отсутствия специальных требований к радиальному зазору или других, в условном обозначении не указывается.

Например: а) подшипник с нормальной группой радиального зазора (в обозначении не указывается) и классом точности 0 имеет обозначение 304 (класс точности 0 не указывается); б) подшипник 20-304 имеет группу радиального зазора 2 и класс точности 0; в) подшипник 6-207, где 6 — класс точности радиального однорядного подшипника 207.

Обозначение усложняется, если имеется необходимость дополнительных сведений, например, о радиальном зазоре, моменте трения, типе, смазке, требований к волнистости и круглости, категории подшипника и др.

**Пример 1.** Подшипник 2B0-26315 Л имеет класс точности 0, категорию В, дополнительные технические требования по волнистости и отклонению от круглости поверхностей качения обозначены цифрой 2, группа радиального зазора — нормальная (в обозначении не указывается) и не имеет требований по моменту трения.

**Пример 2.** 4A25-204, где 5 — класс точности, 2 — группа зазора, А — категория подшипника, 4 — дополнительные технические требования по волнистости и отклонению от круглости поверхностей качения, моменту трения и контролю угла контакта.

В условном обозначении подшипников категории *С* категорию не указывают. Рассмотрим примеры полных условных обозначений подшипников.

Подшипник 2В76-308Т2Ш1 — подшипник категории *В* с дополнительным требованием по волнистости и круглости поверхностей, радиальный шариковый однорядный, внутренний диаметр 40 мм, серия диаметров — 3, шестого класса точности, радиальный зазор по 7 ряду, с температурой отпуска колец 250°С, при норме шумности Ш1.

Подшипник 6-50205 АЕУШ1 — подшипник категории *С* (в обозначении не указывается), радиальный шариковый однорядный с канавкой на наружном кольце, с внутренним диаметром 25 мм, серия диаметров 2, шестого класса точности, по нормальной группе радиального зазора, повышенной грузоподъемности, с пластмассовым сепаратором, с дополнительными техническими требованиями У при первом исполнении, при норме шумности Ш1.

Подшипник 2ВО-3622У — подшипник радиальный роликовый сферический двухрядный с цилиндрическим отверстием категории *В* с дополнительными требованиями по волнистости и отклонению от круглости поверхностей качения, подшипник нулевого класса точности по четвертой группе радиального зазора, внутренний диаметр 110 мм, шестой серии диаметров.

На подшипниках качения ставится маркировка условного обозначения в соответствии с ГОСТ 3189-89. В маркировке указывается условное обозначение предприятия-изготовителя и условного знака года выпуска. Для всех подшипников, кроме конических, для обозначения нормального класса точности применяют знак «0». Для конических подшипников для обозначения нулевого класса точности применяют знак «0», нормального класса точности применяют знак «N», класса точности 6Х применяют знак «Х». Знак «0» маркируют только в том случае, если слева от него имеется знак маркировки. Допускается обозначение категорий *А* и *В* проставлять на наружном диаметре отдельно от условного обозначения подшипника. При этом знак «0» для обозначения класса точности не маркируют.

### **Посадки подшипников качения на вал и в корпус. Выбор посадок**

Основные присоединительные размеры подшипников качения, по которым они монтируются на валах (осях) и в корпусах (корпусных деталях) машин и приборов, установлены ГОСТ 520—2002. Одно из колец подшипника — *тугое*, т.е. монтируется на вал с соответствующей посадкой с натягом, второе — *свободное*, устанавливается в корпусе с зазором.

Установлены следующие обозначения присоединительных размеров:

$d$  — диаметр отверстия внутреннего кольца радиальных и радиально-упорных подшипников или тугого кольца одинарных упорных подшипников;

$d_m = 0,5(d_{max} + d_{min})$  — средний диаметр отверстия внутреннего кольца, где  $d_{max}$  и  $d_{min}$  — максимальное и минимальное значения диаметра  $d$ , полученные в результате измерений в радиальной плоскости;

$d_1$  — диаметр отверстия тугого кольца двойных упорных подшипников;

$D$  — наружный диаметр наружного кольца радиальных и радиально-упорных подшипников или свободного кольца упорных подшипников;

$D_m = 0,5(D_{max} + D_{min})$  — средний наружный диаметр наружного кольца, где  $D_{max}$  и  $D_{min}$  — максимальное и минимальное значения диаметра  $D$ , полученные в результате измерений в радиальной плоскости.

Подшипники качения всех классов точности изготавливают с основными отклонениями внутреннего и наружного диаметров  $L$  и  $l$ , равными нулю. Таким образом, диаметры наружного кольца  $D_m$  и внутреннего кольца  $d_m$  приняты соответственно за диаметры основного вала и основного отверстия, а, следовательно, посадку соединения наружного кольца с корпусом назначают в системе вала, а посадку соединения внутреннего кольца с валом — в системе отверстия. Необходимо отметить, что поле допуска на диаметр отверстия внутреннего кольца расположено не в «тело», как у основного отверстия, а наоборот, т. е. вниз от нулевой линии. Расположение поля допуска отверстия внутреннего кольца с таким основным отклонением позволяет получать оптимальные натяги в соединениях колец с валами. При этом валы выполняются по стандартным полям допусков. Поля допусков вращающихся валов в подшипниковых посадках, как правило, образуются в квалитетах точности  $IT4$ ,  $IT5$ ,  $IT6$  с основными отклонениями  $n$ ,  $m$ ,  $k$ ,  $j_s$  (рис. 9.6).

Посадки подшипников качения на вал и в корпус выбирают в зависимости от типа и размера подшипника, условий его эксплуатации, значения и характера действующих на него нагрузок и вида нагружения колец. Согласно ГОСТ 3325—85 различают три основных вида нагружения колец: местное, циркуляционное и колебательное.

*Местное нагружение* имеет кольцо, воспринимающее постоянную по направлению результирующую радиальную нагрузку  $F_r$ , например, действие силы от массы изделия, натяжение приводного ремня и т.п. Дорожка качения воспринимает нагрузку лишь ограниченным участком окружности и передает ее соответствующему ограниченному участку посадочной поверхности вала или корпуса. Такое нагружение возни-

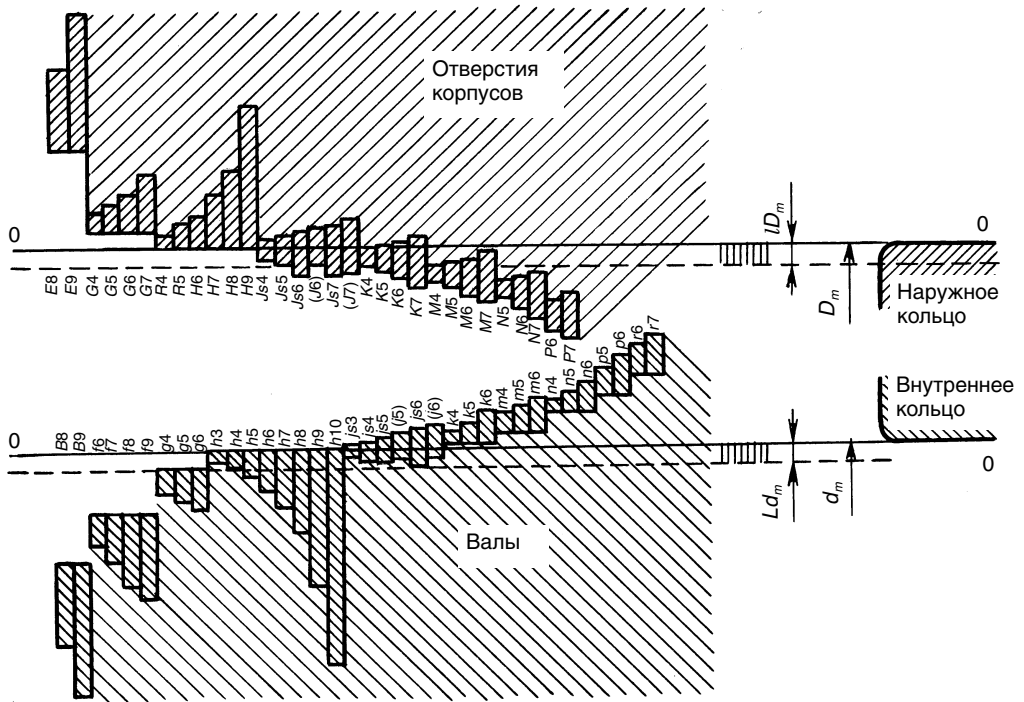


Рис. 9.6. Схемы расположения полей допусков для посадок подшипников качения на вал и в корпус

кает, например, когда кольцо не вращается относительно нагрузки, например внутреннее кольцо (рис. 9.7, а) и наружное кольцо (рис. 9.7, б).

При *циркуляционном нагружении* кольцо воспринимает результирующую радиальную нагрузку  $F_r$  последовательно всей окружности дорожки качения и передает ее всей посадочной поверхности вала или корпуса. Такое нагружение кольца получается при его вращении и постоянно направленной нагрузке  $F_r$ , например, наружное кольцо (рис. 9.7, а), внутреннее (рис. 9.7, б) или при радиальной нагрузке  $F_c$ , вращающейся относительно кольца, например, внутреннее кольцо (рис. 9.7, в), наружное (рис. 9.7, г).

*Колебательное нагружение* возникает тогда, когда неподвижное кольцо воспринимает равнодействующую  $F_{r+c}$  двух радиальных нагрузок, например  $F_r$  — постоянна по направлению, а  $F_c$  вращается, причем  $F_r > F_c$  (наружное кольцо на рис. 9.7, в, внутреннее кольцо на рис. 9.7, г).

При этом нагрузка воспринимается ограниченным участком окружности дорожки качения и передает ее соответствующему ограниченному участку посадочной поверхности вала или корпуса. Равнодействующая нагрузка  $F_{r+c}$  не совершает полного оборота, а колеблется между точками  $A$  и  $B$  (рис. 9.7,  $u$ ).

Эпюры напряжений при местном, циркуляционном, а также круговая диаграмма изменения равнодействующей силы  $F_{r+c}$  колебательном нагружении показаны на рис. 9.7,  $ж$ ,  $з$ ,  $u$ . Если нагрузка  $F_r$  имеет постоянное направление и по величине меньше вращающейся  $F_c$ , то нагружение, в зависимости от схемы действия сил, может быть местным или циркуляционным. Так, например, местное нагружение будет иметь внутреннее кольцо, а циркуляционное нагружение — наружное кольцо в схеме, показанной на рис. 9.7,  $д$  или циркуляционное нагружение — внутреннее кольцо, а местное нагружение наружное кольцо (рис. 9.7,  $е$ ).

При выборе посадок подшипников качения на вал и в корпус учитывают следующие условия: 1) обеспечение взаимной неподвижности поверхности кольца и поверхности сопряженной детали — вала или корпуса, в противном случае будет проскальзывание — износ и потеря точности; 2) необходимо обеспечить условия, при которых неизбежная деформация колец при посадках с натягом не вызовет защемление тел качения и как следствие нарушение работоспособности подшипника.

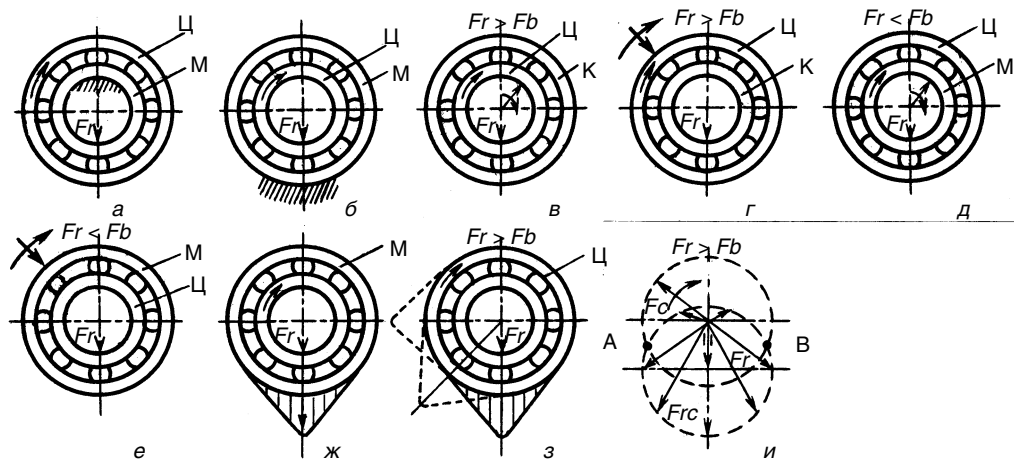


Рис. 9.7. Схемы нагружения колец подшипников качения

Из этих условий следует, что, как правило, вращающиеся кольца имеют посадку с натягом, неподвижные — с зазором.

Рекомендуемые посадки для подшипников качения и примеры их применения приведены в ГОСТ 3325—85. Посадку с зазором назначают в основном для кольца, которое испытывает местное нагружение. Посадку с натягом назначают преимущественно для кольца, которое испытывает циркуляционное нагружение. Выбор посадок необходимо проводить по таблицам (табл. 9.1, 9.2, 9.3), составленным на основе обобщающих данных теоретического характера и производственного опыта.

Таблица 9.1

**Значения коэффициента  $k_1$**

| Нагрузка                                                              | $k_1$ |
|-----------------------------------------------------------------------|-------|
| С умеренными толчками и вибрацией, перегрузка до 150% ( $K_B < 1,5$ ) | 1,0   |
| С сильными ударами и вибрацией, перегрузка до 300% ( $K_B > 1,5$ )    | 1,8   |

Таблица 9.2

**Значения коэффициента  $k_2$**

| $d_1/d$ или $D/D_1$ |     | Значения коэффициента $k_2$ |                            |                        |                      |
|---------------------|-----|-----------------------------|----------------------------|------------------------|----------------------|
|                     |     | для вала                    |                            |                        | для корпуса          |
| Свыше               | До  | $D/d \leq 1,5$              | $D/d \geq (1,5 \dots 2,0)$ | $D/d \geq (2 \dots 3)$ | для всех подшипников |
| —                   | 0,4 | 1,0                         | 1,0                        | 1,0                    | 1,0                  |
| 0,4                 | 0,7 | 1,2                         | 1,4                        | 1,6                    | 1,0                  |
| 0,7                 | 0,8 | 1,5                         | 1,7                        | 2,0                    | 1,4                  |
| 0,8                 | —   | 2,0                         | 2,3                        | 3,0                    | 1,8                  |

П р и м е ч а н и е .  $d$  и  $D$  — соответственно диаметр отверстия и наружный диаметр подшипника;  $d_1$  — диаметр отверстия полого вала;  $D_1$  — диаметр наружной поверхности тонкостенного корпуса

ТАБЛИЦА 9.3

**Значения коэффициента  $k_3$**

| $F_a/F_r \operatorname{ctg} \beta$ |       | $k_3$ |
|------------------------------------|-------|-------|
| До 0,2                             |       | 1,0   |
| Свыше 0,2                          | » 0,4 | 1,2   |
| » 0,4                              | » 0,6 | 1,4   |
| » 0,6                              | » 1,0 | 1,6   |
| » 1,0                              |       | 2,0   |

При циркуляционном нагружении колец подшипников необходимо рассчитать интенсивность нагружения, которая представляет собой действие радиальной нагрузки  $P_R$  на единицу длины посадочной поверхности. Интенсивность нагрузки подсчитывают по формуле

$$P_R = \frac{F_r}{b} k_1 k_2 k_3, \quad (9.1)$$

где  $F_r$  — радиальная нагрузка на опору;  $b$  — рабочая ширина посадочного места;  $k_1, k_2, k_3$  — коэффициенты, определяемые по табл. 9.1, 9.2, 9.3. Динамический коэффициент посадки  $k_1$  зависит от характера нагрузки, коэффициент  $k_2$  учитывает степень ослабления натяга, если вал имеет внутреннее отверстие —  $d_{\text{отв}}$  или корпус — тонкостенный; при сплошном вале  $k_2 = 1$ . Коэффициент  $k_3$  учитывает неравномерность распределения радиальной нагрузки  $F_r$  между рядами роликов в двухрядных конических роликоподшипниках или между сдвоенными шарикоподшипниками при наличии осевой нагрузки на опору  $F_a$ . Значения  $k_3$  зависят от величины  $(F_a/F_r) \operatorname{ctg} \beta$ , где  $\beta$  — угол контакта тел качения с дорожкой качения наружного кольца, зависящий от конструкции подшипника. Для радиальных и радиально-упорных подшипников с одним наружным или внутренним кольцом  $k_3 = 1$ .

Таблица 9.4

**Поля допусков валов и отверстий при допускаемых значениях нагрузок на посадочные поверхности подшипников  $P_R$ , Н/мм**

| Диаметр отверстия<br>внутреннего кольца,<br>мм | Поля допусков при посадке на вал   |                 |                 |                 |
|------------------------------------------------|------------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
|                                                | $j_5$ или $j_6$                    | $k_5$ или $k_6$ | $m_5$ или $m_6$ | $n_5$ или $n_6$ |
| Свыше 18—80                                    | До 300                             | 300—1400        | 1400—1600       | 1600—3000       |
| 80—180                                         | » 600                              | 600—2000        | 2000—2500       | 2500—4000       |
| 180—360                                        | » 700                              | 700—3000        | 3000—3500       | 3500—6000       |
| 360—630                                        | » 900                              | 900—3500        | 3500—5400       | 5400—8000       |
| Наружный диаметр<br>наружного кольца,<br>мм    | Поля допусков при посадке в корпус |                 |                 |                 |
|                                                | $K_6$ или $K_7$                    | $M_6$ или $M_7$ | $N_6$ или $N_7$ | $P_7$           |
| Свыше 50—180                                   | До 800                             | 800—1000        | 1000—1300       | 1300—2500       |
| 180—360                                        | » 1000                             | 1000—1500       | 1500—2000       | 2000—3300       |
| 360—630                                        | » 1200                             | 1200—2000       | 2000—2600       | 2600—4000       |
| 630—1600                                       | » 1600                             | 1600—2500       | 2500—3500       | 3500—5500       |

Таблица 9.5

**Поля допусков валов и отверстий, под подшипники качения при местном нагружении**

| Номинальный диаметр, мм                                                      | Поля допусков                         |                                     |                                     | Типы подшипников                                                         |
|------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|
|                                                                              | валов (осей)                          | отверстий в корпусе                 |                                     |                                                                          |
|                                                                              |                                       | неразъёмном                         | разъёмном                           |                                                                          |
| Нагрузка спокойная или с умеренными толчками и вибрацией, перегрузка до 150% |                                       |                                     |                                     |                                                                          |
| До 80                                                                        | $h5, h6$                              | $H6, H7$                            | $H6, H7$                            | Все типы, кроме штампованных игольчатых                                  |
| Свыше 80—260                                                                 | $g5, g6$<br>$f6 *, f_s6$              | $G6, G7$                            | $H8 *$                              |                                                                          |
| « 260—500                                                                    | $f6 *, f_s6$                          |                                     |                                     |                                                                          |
| « 500—1600                                                                   |                                       | $F7, F8$                            |                                     |                                                                          |
| Нагрузка с ударами и вибрацией, перегрузка до 300%                           |                                       |                                     |                                     |                                                                          |
| До 80                                                                        | $h5, h6$                              | $Js6, Js7$                          | $J_s6, J_s7$                        | Все типы, кроме штампованных игольчатых, роликовых конических двухрядных |
| Свыше 80—260                                                                 |                                       | $H6, H7$                            |                                     |                                                                          |
| « 260—500                                                                    | $g5, g6$                              |                                     |                                     |                                                                          |
| « 500—1600                                                                   |                                       |                                     |                                     |                                                                          |
| До 120                                                                       | $h5, h6$<br>$g5, g6$                  | $H6, H7$                            | $J_s6, J_s7$                        | Роликовые конические двухрядные                                          |
| Свыше 120—1600                                                               |                                       |                                     |                                     |                                                                          |
| Независимо от характера нагрузки                                             |                                       |                                     |                                     |                                                                          |
| Все размеры диаметров                                                        | $k5, k6 **$<br>или<br>$j_s5, j_s6 **$ | $k6, k7 ***$<br>или<br>$J_s6, J_s7$ | $J_s6, J_s7$<br>(в стальной стакан) | Роликовые игольчатые штампованные                                        |

\* Поля допусков  $f6$  и  $H8$  применять при частоте вращения не более  $0,6 P_{np}$  (где  $P_{np}$  — предельно допустимая частота вращения подшипников).

\*\* Соединения подшипников с валами, выполненными по  $k5, k6, j_s5, j_s6$ , осуществляют методом селективной сборки.

\*\*\* Для корпусов из цветного металла.

Примеры расчёта и выбора посадок подшипников качения на вал и в корпус приведены в разделе 9.6.

### 9.3. ДОПУСКИ УГЛОВ, СИСТЕМА ДОПУСКОВ И ПОСАДОК КОНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ

#### Система допусков угловых размеров

Допуски углов конусов и призматических элементов деталей с длиной меньшей стороны угла до 2500 мм и ряды нормальных углов установлены ГОСТ 8908—81. Наружный и внутренний конусы определяются следующими параметрами: диаметром большого основания  $D$ , диаметром малого основания  $d$ , углом конуса  $\alpha$ , углом уклона  $\alpha/2$ , длиной конуса  $L$  (рис. 9.8). Угол уклона  $\alpha/2$  связан с размерами  $D$ ,  $d$  и  $L$  соотношением  $(0,5D - 0,5d)/L = \operatorname{tg} \alpha/2$  или  $(D - d)/L = 2 \operatorname{tg} \alpha/2 = C$ , где  $2 \operatorname{tg} \alpha/2 = C$  — конусность;  $C/2 = \operatorname{tg} \alpha/2$  — уклон  $i$ .

При назначении допусков учитывается взаимосвязь между размерами  $D$ ,  $d$ ,  $\alpha$  и  $L$ . Сокращение типоразмеров конусов достигается установлением рядов нормальных конусностей по ГОСТ 8593—81.

ГОСТ 8908—81 устанавливает 17 степеней точности допусков углов, обозначаемых AT1, AT2, ..., AT17. Обозначение допуска угла заданной степени точности состоит из обозначения допуска угла AT (Angle Tolerance) и цифры соответствующей степени точности. Допуск угла — это разность между наибольшим и наименьшим предельными углами. Допуск угла изменяется по геометрической прогрессии со знаменателем  $\varphi = 1,6$  при переходе от одной степени к другой. При необходимости до-

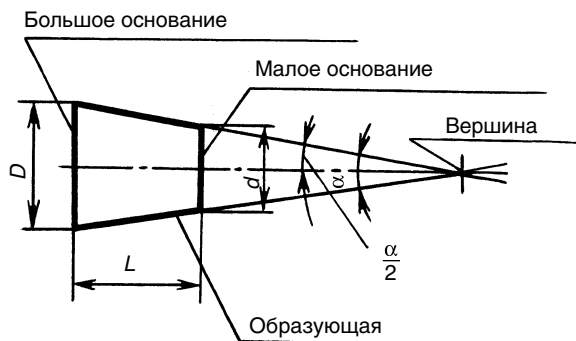


Рис. 9.8. Геометрические параметры конуса

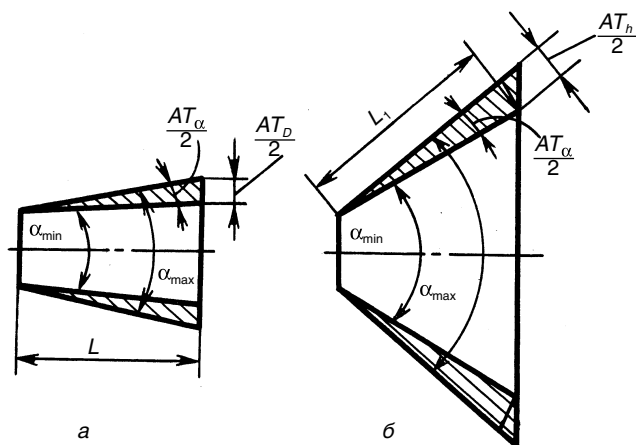


Рис. 9.9. Поля допусков углов конусов:

а — допуск в угловых единицах; б — допуск в линейных единицах

пуски точнее степени точности 1, например 0; 01 могут быть получены последовательным делением допусков степени точности 1 на 1,6. На угловые размеры для каждой степени установлены следующие допуски:

а) *допуск угла  $AT_\alpha$* , выраженный в угловых единицах (рис. 9.9, а), округленные значения допуска угла  $AT_\alpha$  градусах, минутах, секундах, которые рекомендуется указывать на чертежах, приведены в ГОСТ 8908—81;

б) *допуск угла  $AT_h$* , выраженный отрезком на перпендикуляре к стороне угла, противолежащему углу  $AT_\alpha$  на расстоянии  $L_1$  от вершины этого угла (рис. 9.9, б), практически этот отрезок равен длине дуги с радиусом  $L_1$  стягивающей угол  $AT_\alpha$ ;

в) *допуск угла конуса  $AT_D$* , выраженный допуском на разность диаметров в двух нормальных к оси конуса сечениях на заданном расстоянии  $L$  между ними, определяется по перпендикуляру к оси конуса (рис. 9.9, а).

Допуск  $AT_h$  назначают в зависимости от длины  $L_1$  на конусы, имеющие конусность более 1 : 3 (рис. 9.9, б). Значение допуска  $AT_h$  определяют по формуле  $AT_h = AT_\alpha L_1 \cdot 10^{-3}$ , где  $AT_h$  — в мкм;  $AT_D$  — в мкрad;  $L_1$  — в мм.

Если конусность равна или менее 1 : 3, то принимают  $L_1 = L$  и назначают допуски  $AT_D$ , причём значение  $AT_D \approx AT_h$  (разность между длиной конуса и образующей в этом случае не превышает 2%). При конусности более 1 : 3 значение допуска  $AT_D$  определяют по формуле  $AT_D = AT_h / \cos \alpha / 2$ , где  $\alpha$  — номинальный угол конуса.

### Система допусков и посадок конических соединений

Существуют два способа нормирования диаметра конуса. По первому способу устанавливают допуск диаметра  $T_D$ , одинаковый в любом поперечном сечении конуса и определяющий два предельных конуса, между которыми должны находиться все точки поверхности действительного конуса (рис. 9.10). Допуск  $T_D$  ограничивает также отклонения угла конуса и отклонения формы конуса, если эти отклонения не ограничены меньшими допусками. Второй способ состоит в том, что допуск  $T_{Ds}$  устанавливают только в заданном сечении конуса. Этот допуск не ограничивает отклонения угла и формы конуса.

Допуск формы  $T_F$  определяется суммой допусков круглости поперечного сечения конуса и прямолинейности его образующих. Допуски  $T_D$  или  $T_{Ds}$  должны соответствовать ГОСТ 25346—89. Их выбирают соответственно по диаметру большего основания конуса или диаметру в заданном сечении конуса.

Для конических соединений установлены посадки с зазором, натягом и переходные. По способу фиксации осевого расположения сопрягаемых конусов посадки разделяют на: а) посадки с фиксацией путем совмещения конструктивных элементов конусов (базовых плоскостей); б) посадки с фиксацией по заданному осевому смещению конусов; в) посадки с фиксацией по заданному осевому расстоянию между базовыми плоскостями сопрягаемых конусов; г) посадки с фиксацией по заданной силе запрессовки (посадки с натягом). Посадок типов а) и б) назначают в системе отверстия с

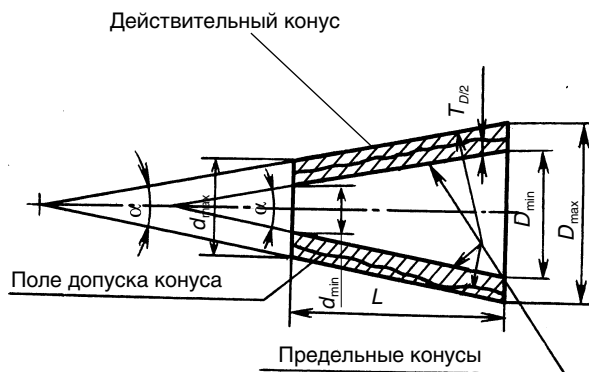


Рис. 9.10. Действительный и предельные конусы

полями допусков сопрягаемых конусов одного качества точности. Соединения с зазором применяют в соединениях, в которых необходимо регулировать зазор между сопрягаемыми деталями (например, соединения конусной шейки шпинделя станка с конусными вкладышами подшипника скольжения). К ним относят также соединения, обеспечивающие герметичность и разделение одного пространства от другого как в неподвижном состоянии, так и при взаимном перемещении соединяемых деталей (например, краны запорной арматуры). Соединения с натягом могут быть получены путем приложения осевой силы, создающей соответствующий натяг, необходимый при передаче крутящего момента. Под влиянием осевой силы происходит самоцентрирование деталей (оси сопрягаемых деталей совпадают). Конусные соединения обеспечивают более легкую по сравнению с цилиндрическими соединениями разборку, позволяют регулировать зазор или натяг в процессе сборки и эксплуатации.

Для получения различных посадок ГОСТ 25307—82 установлены следующие основные отклонения:  $d, e, f, g, h, j_s, k, m, n, p, r, s, t, u, x, z$  — для наружных конусов и  $H, J_s, N$  — для внутренних. Эти основные отклонения в сочетании с допусками качеств 4÷12 образуют поля допусков.

Средства контроля углов и конусов основаны на сравнительном или тригонометрическом методах контроля углов. В основу первого метода положено сравнение контролируемых углов с угловыми мерами, угольниками и угловыми шаблонами. С помощью угловых мер определяют наибольший просвет между сторонами измеряемого угла и самой меры. Измерения углов с точностью до  $2'$  и грубее проводят угломером с нониусом, универсальным и оптическим угломерами (см. раздел 6.1). Измерения центральных углов (углов, образованных двумя радиусами), а также для точных угловых делений при обработке деталей используют оптические делительные головки с ценой деления 5, 10 и  $60''$ . Углы между двумя гранями измеряют гониометрами, а малые угловые отклонения от горизонтали и вертикали — уровнями.

Гладкие конические детали с допусками диаметров от  $IT4$  до  $IT12$ , степенями точности допусков углов конусов от 4 до 9 и конусностью от 1 : 3 до 1 : 50 контролируют конусными калибрами (ГОСТ 24932—81), а конуса инструментов контролируют калибрами по ГОСТ 2849—94. Комплект калибров состоит из калибра-пробки, калибра-втулки и контркалибра-пробки. Калибр-втулка соответствует парному калибру контрольным калибром по краске толщиной слоя 2÷5 мкм. Пятно контакта должно быть не менее 90%.

#### 9.4. СИСТЕМА ДОПУСКОВ ШПОНОЧНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Соединение втулок, шкивов, муфт, рукояток и других деталей машин с валами для передачи крутящих моментов можно выполнять с применением различных видов шпонок: призматических, сегментных, тангенциальных. Размеры, допуски и посадки большинства типов шпонок и пазов для них унифицированы. Поля допусков призматических шпонок установлены ГОСТ 23360—78 и 29175—91; сегментных шпонок — ГОСТ 24071—97; тангенциальных — ГОСТ 24069—97. Допуски устанавливаются на ширину  $b$  шпонок и пазов валов и втулок, что обеспечивает необходимые посадки в шпоночном соединении. Ширина призматических и сегментных шпонок выполняется по полю допуска  $h9$ , высота шпонки по  $h11$ , длина по  $h14$ , а диаметр  $D$  сегментных шпонок по  $h12$ , что делает возможным централизованное изготовление всех типов шпонок независимо от посадок в соединении. Для призматических шпонок установлено три типа шпоночных соединений: свободное, нормальное и плотное, для сегментных: нормальное и плотное. *Свободное соединение* достигается установленными полями допусков ширины  $b$  паза на валу  $H9$  и паза во втулке  $D10$ , что обеспечивает посадку с зазором. В *нормальном соединении* паз на валу —  $N9$  и паз во втулке  $J_s9$ . В *плотном соединении* — одинаковые поля допусков на ширину  $b$  для паза на валу и паза во втулке  $P9$ . Нормальные и плотные соединения обеспечивают переходные посадки.

Контроль шпоночных соединений осуществляют комплексными калибрами конструкция и размеры калибров для различных размеров деталей представлены в ГОСТ 24110—80, ГОСТ 24111—80, ГОСТ 24112—80 (см. также рис. 9.16).

#### 9.5. КОНТРОЛЬ ДЕТАЛЕЙ ПО ПРЕДЕЛЬНЫМ РАЗМЕРАМ

Контроль деталей можно проводить без проведения измерений и последующего сравнения действительного размера с максимальным и минимальным предельными размерами. Достаточно установить лишь факт нахождения действительного размера в поле допуска, т.е. между предельными размерами. *Принцип контроля по предельным размерам* может быть реализован как в автоматизированных измерительно-информационных системах, например, для размерной сортировки тел качения с целью обеспечения селективной сборки подшипников качения, так и в простых инструментах. На производстве нашли широкое распространение ручные средства контроля по предельным размерам — *предельные*

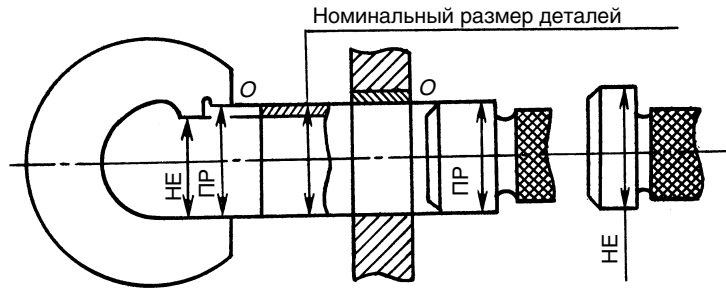


Рис. 9.11. Контроль предельными калибрами

**калибры.** Предельные калибры применяют для контроля размеров гладких цилиндрических, конусных, шпоночных пазов, резьбовых, шлицевых деталей, глубин и высот выступов, а также расположения поверхностей и ряда других параметров. Принцип контроля по предельным размерам гладкими предельными калибрами показан на рис. 9.11.

Комплект рабочих предельных калибров для контроля размеров состоит из проходного ПР и непроходного НЕ калибров. Проходные калибры контролируют максимальный предельный размер вала и минимальный предельный размер отверстия, что соответствует максимуму материала детали. Непроходные калибры контролируют минимальный предельный размер вала и максимальный предельный размер отверстия, что соответствует минимуму материала детали. Контроль непосредственно в процессе изготовления осуществляют *рабочими калибрами* ПР и НЕ. Существуют *контрольные калибры К-И*, которыми пользуются для установки регулируемых калибров-скоб и контроля нерегулируемых калибров-скоб. Контрольные калибры являются непроходными и служат для изъятия из эксплуатации изношенных проходных рабочих калибров-скоб. Калибры применяют, как правило, для размеров не выше качества точности IT5.

Конструкция наиболее распространенных калибров пробки и скобы с обозначениями их размеров для изготовления показана на рис. 9.12.

При конструировании предельных калибров необходимо соблюдать принцип подобия Тейлора (см. раздел 5.2.3), согласно которому проходные калибры по форме должны являться прототипом сопрягаемой детали с длиной, равной длине соединения. Таким образом, проходные калибры для валов должны иметь форму колец и контролировать размеры по всей длине вала с учетом погрешностей его формы. Проходные калиб-

ры для отверстий должны выполняться в форме вала по длине равному длине контролируемого отверстия. Однако полное соблюдение принципа подобия оказывается экономически нецелесообразным из-за большой металлоёмкости калибров. Непроходные калибры должны иметь малую измерительную длину и контакт, приближающийся к точечному, чтобы проверять собственно размер детали без учёта отклонений формы. Предельные калибры дают возможность контролировать одновременно все связанные размеры и отклонения формы детали и проверять, находятся ли отклонения размеров и формы поверхностей деталей в поле допусков.

Точность изготовления калибров регламентируется соответствующими допусками. Система допусков калибров для размеров до 500 мм устанавливается ГОСТ 24853—81. На гладкие калибры устанавливаются следующие допуски на изготовление:  $H$  — рабочих калибров-пробок для отверстий;  $H_s$  — рабочих калибров-пробок для отверстий, но со сферическими поверхностями;  $H_1$  — калибров-скоб для валов;  $H_p$  — контрольных калибров для скоб (рис. 9.13).

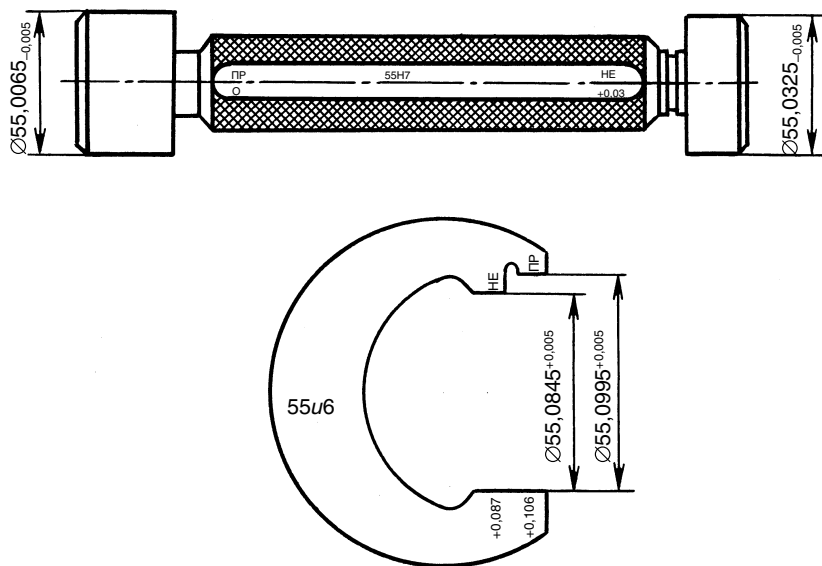


Рис. 9.12. Калибры для контроля деталей  $\varnothing 55H7$  и  $\varnothing 55u6$

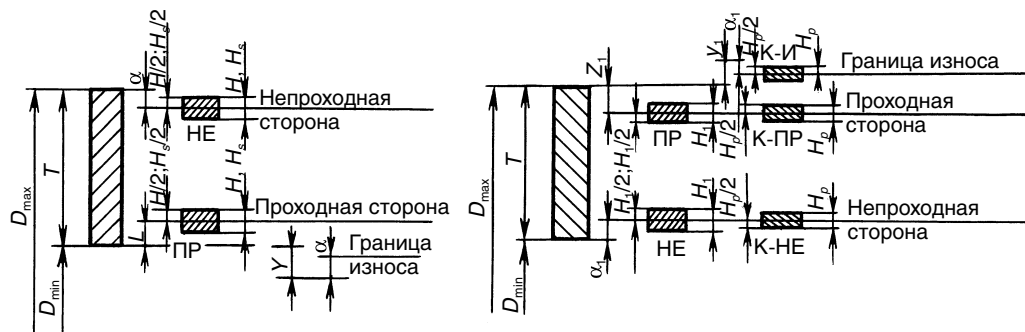


Рис. 9.13. Схемы расположения полей допусков калибров по ГОСТ 24853—81

В качествах *IT6*, *IT8÷IT10* допуски  $H_1$  для скоб примерно на 50% больше допусков  $H$  для пробок, что объясняется большей сложностью изготовления скоб. В качествах *IT7*, *IT11* и грубее *IT11* допуски  $H$  и  $H_1$  равны. Допуски  $H_p$  для всех типов контрольных калибров одинаковы.

Для проходных калибров, которые в процессе контроля изнашиваются, кроме допуска на изготовление, предусматривается допуск на износ. Для размеров до 500 мм износ калибров ПР 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 с допусками от *IT9* до *IT17* износ ограничивается проходным пределом, т. е.  $y=0$  и  $y_1=0$ . Следует отметить, что поле допуска на износ отражает средний возможный износ калибра. Для всех проходных калибров поля допусков  $H$  ( $H_s$ ) и  $H_1$  сдвинуты внутрь поля допуска детали на величину  $Z$  для калибров-пробок и  $Z_1$  для калибров-скоб.

При номинальных размерах свыше 180 мм поле допуска непроходного калибра также сдвигается внутрь поля допуска детали на величину  $\alpha$  для пробок и  $\alpha_1$  для скоб, что повышает надёжность контроля. Поле допуска калибров НЕ для размеров до 180 мм симметрично относительно верхнего отклонения детали для пробок и относительно нижнего — для скоб, т. е.  $\alpha=0$  и  $\alpha_1=0$ .

Сдвиг полей допусков калибров и границ износа их проходных сторон внутрь поля допуска детали позволяет уменьшить возможность ошибочного контроля.

Изготовление калибров выполняют по чертежам, на которых представляются их *исполнительные размеры*. *Исполнительными* называют

предельные размеры калибра, по которым изготавливают новый калибр. Исполнительным размером скобы является её наименьший предельный размер с положительным отклонением; для пробки и контрольного калибра — их наибольший предельный размер с отрицательным отклонением. Таким образом, отклонение на чертеже проставляется «в тело» калибра, что обеспечивает максимум металла на изготовление и большую вероятность получения годных калибров. Исполнительные размеры калибров определяют по формулам, приведенным в ГОСТ 24853—81. Приведем примеры расчета исполнительных размеров калибров.

**Пример 1.** Определить размеры калибров-пробок для отверстия диаметром  $D = 80$  мм с полем допуска  $H7$ .

По ГОСТ 25347—82 предельные отклонения отверстия  $+30$  мкм, основное отклонение равно 0. Максимальный предельный размер отверстия  $D_{\max} = 80,030$  мм, минимальный предельный размер отверстия  $D_{\min} = 80,000$  мм. По ГОСТ 24853—81, для качества  $IT7$  и интервала размеров  $50\div 80$  мм находим параметры допуска на изготовление калибра-пробки  $H = 5$ ;  $Z = 4$ ;  $y = 3$ . Схема расположения полей допусков для калибра-пробки ПР и НЕ приведена на рис. 9.14. Максимальный размер нового проходного калибра-пробки

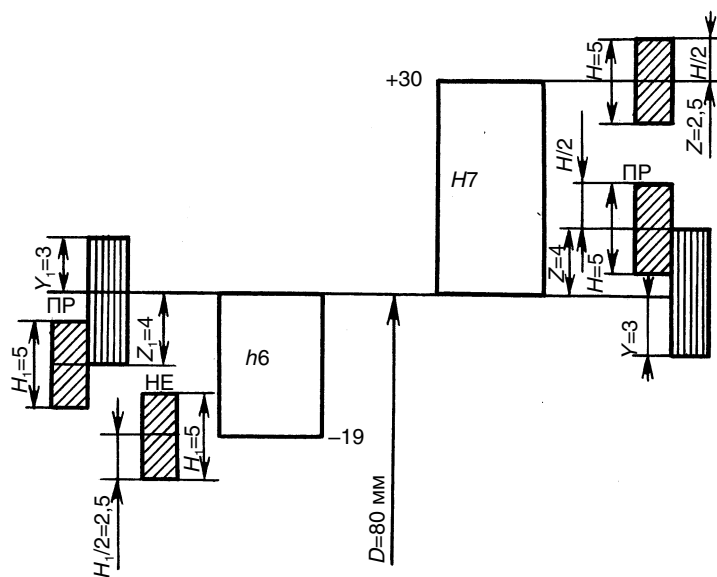


Рис. 9.14. Схема расположения полей допусков калибров для контроля деталей  $\varnothing 80H7/h6$

$PR_{max} = D_{min} + Z + H/2 = 80,000 + 0,004 + 0,005/2 = 80,0065$  мм. Исполнительный размер калибра-пробки ПР, проставляемый на чертеже  $80,0065_{-0,005}$ . Предельные исполнительные размеры ПР — максимальный 80,0065 мм; минимальный 80,0015 мм.

Минимальный размер изношенного проходного калибра-пробки  $PR_{изн} = D_{min} - y = 80,000 - 0,003 = 79,997$  мм. При достижении этого размера калибр ПР изымается из эксплуатации.

Максимальный размер непроходного нового калибра-пробки  $HE_{max} = D_{max} + H/2 = 80,030 + 0,005/2 = 80,0325$  мм. Исполнительный размер калибра НЕ, проставляемый на чертеже  $80,0325_{-0,005}$ . Предельные исполнительные размеры калибра-пробки НЕ — максимальный 80,0325 мм; минимальный 80,0275 мм.

**Пример 2.** Определить размеры калибров-скоб для вала диаметром  $d = 80$  мм с полем допуска  $h6$ .

По ГОСТ 25347—82 предельные отклонения равны 0 и -19 мкм. Предельные размеры вала  $d_{max} = 80,000$  мм;  $d_{min} = 79,981$  мм. По ГОСТ 24853-81  $H_1 = 5$ ,  $Z_1 = 4$ ;  $y_1 = 3$ . Схема расположения полей допусков калибра-скобы ПР и НЕ приведена на рис. 9.14. Минимальный размер проходного нового калибра-скобы  $PR_{min} = d_{max} - Z_1 - H_1/2 = 80,000 - 0,004 - 0,005/2 = 79,9935$  мм. Исполнительный размер калибра, проставляемый на чертеже  $79,9935_{+0,005}$  мм. Предельные исполнительные размеры — минимальный 79,9935 мм; максимальный 79,9985 мм. Максимальный размер изношенного проходного калибра-скобы  $PR_{изн} = d_{max} + y_1 = 80,000 + 0,003 = 80,003$  мм.

Наименьший размер непроходного калибра-скобы  $HE_{min} = d_{min} - H_1/2 = 79,981 - 0,005/2 = 79,9785$  мм.

Исполнительный размер калибра-скобы НЕ, проставляемый на чертеже  $79,9785_{+0,005}$  мм.

Предельные исполнительные размеры: минимальный 79,9785 мм; максимальный 79,9835 мм.

При маркировке на калибр наносят номинальный размер детали, для которого предназначен калибр, буквенное обозначение поля допуска изделия, числовые значения предельных отклонений изделия в миллиметрах (на рабочих калибрах), тип калибра (например ПР, НЕ, К-И (рис. 9.12)).

Предельные калибры для контроля глубин и высот уступов конструктивно представляют собой ступенчатые пластины различной формы (рис. 9.15).

Проходную сторону в них обозначают буквой Б (большая) а непроходную М (меньшая). На обе стороны, кроме допуска на изготовление,

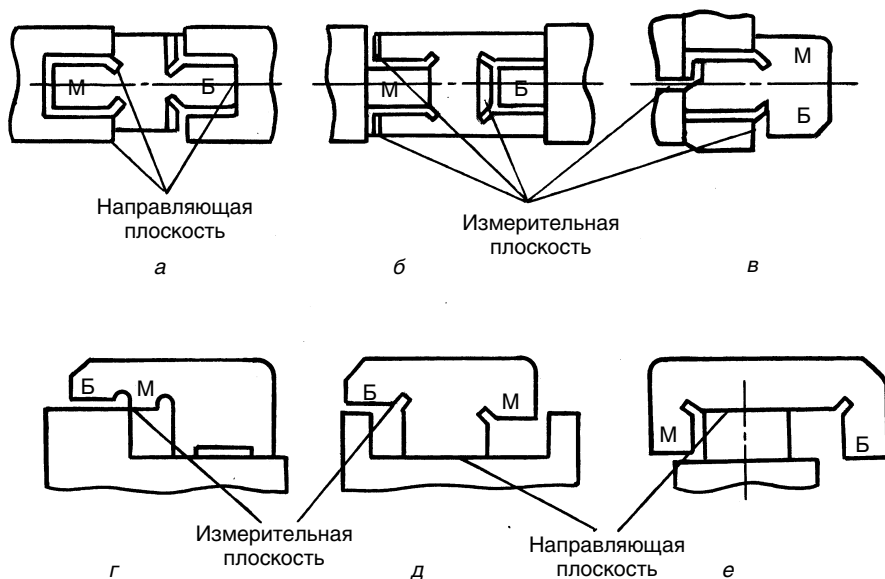


Рис. 9.15. Калибры для контроля высоты и глубины:  
а, б, в — контроль глубины; г, д, е — контроль высоты

назначают допуск на износ. Указанные калибры предусмотрены для контроля размеров от 1 до 500 мм, имеющих допуски  $IT11$  и грубее.

Шпоночные пазы контролируют комплексными калибрами-пробками, конструкция такого калибра показана на рис. 9.16 (1 — вставка; 2 — образцовая шпонка; 3 — ручка; 4 — винт).

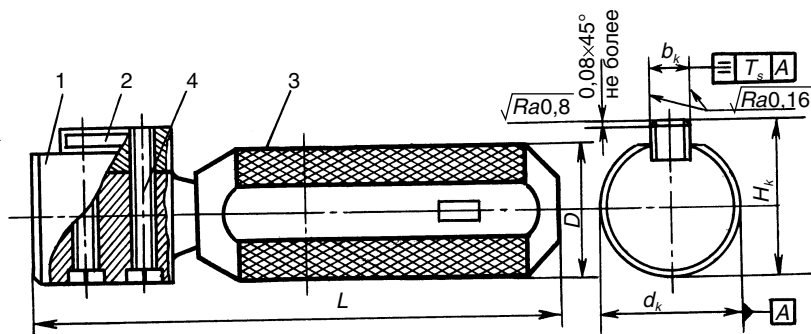


Рис. 9.16. Комплексный калибр для контроля шпоночных пазов

## 9.6. ОБОЗНАЧЕНИЕ ПРЕДЕЛЬНЫХ ОТКЛОНЕНИЙ И ПОСАДОК НА ЧЕРТЕЖАХ

Предельные отклонения линейных размеров указывают на чертежах буквенными обозначениями полей допусков или числовыми значениями предельных отклонений. Требования к точности можно обозначить буквенными обозначениями полей допусков с одновременным указанием справа в скобках числовых значений предельных отклонений.

Посадки и предельные отклонения размеров деталей, изображенных на чертеже в собранном виде, указывают дробью: в числителе — буквенное обозначение или числовое значение предельного отклонения отверстия либо буквенное обозначение с указанием справа в скобках его числового значения, в знаменателе обозначение поля допуска вала. Предельные отклонения размеров следует указывать непосредственно после номинальных размеров.

Предельные отклонения линейных и угловых размеров относительно низкой точности допускается не указывать непосредственно после номинальных размеров, а оговаривать общей записью в технических требованиях чертежа при условии, что эта запись однозначно определяет значения и знаки предельных отклонений. Общая запись о предельных отклонениях размеров с неуказанными допусками должна содержать условные обозначения предельных отклонений линейных размеров в соответствии с ГОСТ 25346—89 (для отклонений по квалитетам) или по ГОСТ 30893.1—2002 (для отклонений по классам точности). Симметричные предельные отклонения, назначаемые по квалитетам, следует обозначать  $\pm IT/2$  с указанием номера квалитета.

Обозначения односторонних предельных отклонений по квалитетам, назначаемых только для цилиндрических отверстий и валов, дополняются знаком диаметра  $\varnothing$  (вариант 4, табл. 9.6).

Ссылка на общие допуски линейных и угловых размеров в соответствии должна содержать номер стандарта и буквенное обозначение класса точности, например, для класса точности средний:

«Общие допуски по ГОСТ 30893.1—2002» или «ГОСТ 30893.1—2002».

Примеры общих записей в технических требованиях, соответствующие вариантам по ГОСТ 30893.1—2002 для 14 квалитета класса точности «средний», приведены в табл. 9.6.

Таблица 9.6

## Варианты общих записей в чертежах

| Номер варианта | Пример записи условными обозначениями                                                            |
|----------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1              | $H14, h14, \pm t_2/2$ или $H14, h14, \pm IT14/2$                                                 |
| 2              | $+t_2, -t_2, \pm t_2/2$                                                                          |
| 3              | $\pm t_2/2$ или $\pm IT14/2$                                                                     |
| 4              | $\varnothing H14, \varnothing h14, \pm t_2/2$ или $\varnothing H14, \varnothing h14, \pm IT14/2$ |

При этом нужно иметь в виду следующие положения:

1. Допускается дополнять записи о неуказанных предельных отклонениях размеров поясняющими словами, например, «Неуказанные предельные отклонения размеров:  $H14, h14, \pm t_2/2$ ».

2. Если технические требования на чертеже состоят из одного пункта, содержащего запись о неуказанных предельных отклонениях размеров, или эта запись приводится в текстовых документах, то она должна обязательно сопровождаться поясняющими словами, например, «Неуказанные предельные отклонения размеров  $\pm t_2/2$ ».

Предельные отклонения линейных размеров указывают на чертежах условными обозначениями полей допусков в соответствии с ГОСТ 25346—89, например:  $18H7, 12e8$  или числовыми значениями, например:  $18^{+0,018}_{-0,032}$ ,  $12^{+0,018}_{-0,059}$ , или условными обозначениями полей допусков с указанием справа в скобках их числовых значений, например:  $18H7^{(+0,018)}$ ,  $12e8^{(-0,032)}$ .

При указании предельных отклонений условными обозначениями обязательно и указание их числовых значений в следующих случаях:

а) при назначении стандартных предельных отклонений и посадки размеров, не включенных в ряды нормальных линейных размеров по ГОСТ 6636—69, например:  $41,5 H7^{(+0,025)}$ ;

б) при назначении предельных отклонений, условные обозначения которых не предусмотрены в ГОСТ 25347—82, например, для пластмассовой детали с предельными отклонениями по ГОСТ 25349—88 (рис. 9.17).

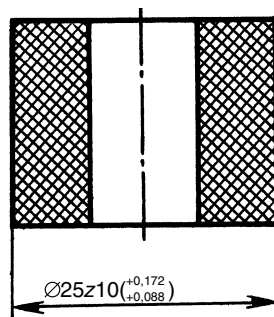


Рис. 9.17. Предельные отклонения для пластмассовых изделий

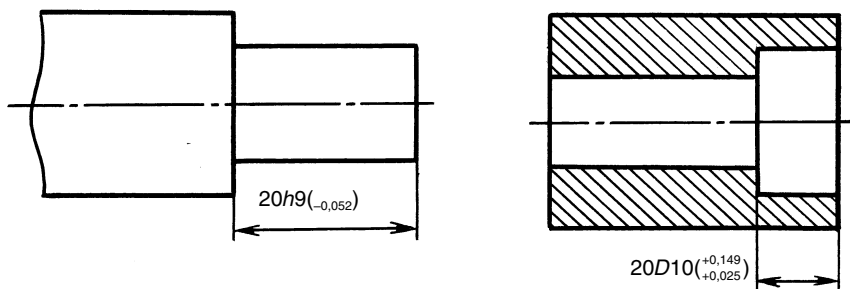


Рис. 9.18. Уступы с несимметричным допуском

в) при назначении предельных отклонений размеров уступов с несимметричным полем допуска (рис. 9.18).

Предельные отклонения угловых размеров указывают только числовыми значениями (рис. 9.19).

При записи предельных отклонений числовыми значениями верхние отклонения помещают над нижними, предельные отклонения, равные нулю, не указывают:  $60^{+0,014}_{-0,032}$ ,  $60^{-0,100}_{-0,174}$ ,  $60^{+0,19}_{-0,19}$ .

При симметричном расположении поля допуска абсолютную величину отклонений указывают один раз со знаком  $\pm$ ; при этом высота цифр, определяющих отклонения, должна быть равна высоте шрифта номинального размера, например:  $60 \pm 0,23$ .

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 размеров деталей, изображенных на чертеже в сборе, указывают одним из следующих способов (рис. 9.20, а, б, в):

а) в виде дроби, в числителе которой указывают условное обозначение поля допуска отверстия, а в знаменателе — условное обозначение поля допуска вала (рис. 9.20, а);

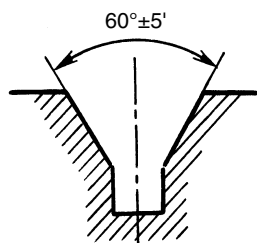


Рис. 9.19. Предельные отклонения угловых размеров

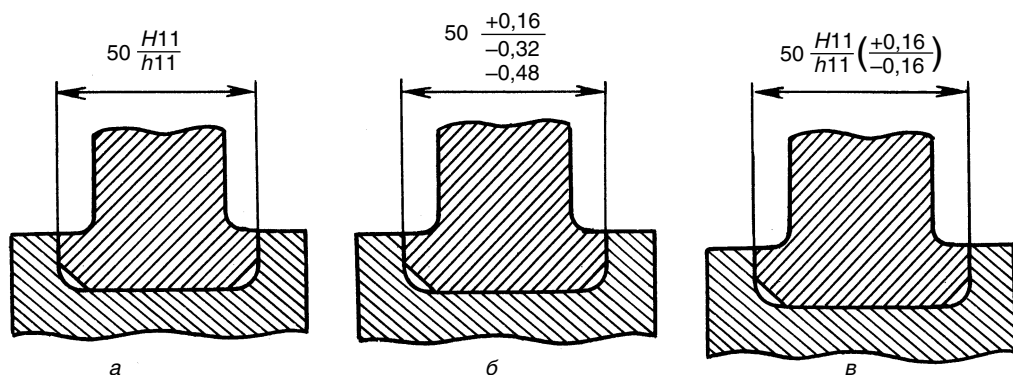


Рис. 9.20. Предельные отклонения размеров в соединении

б) в виде дроби, в числителе которой указывают числовые значения предельных отклонений отверстия, а в знаменателе — числовые значения предельных отклонений вала (рис. 9.20,б);

в) в виде дроби, в числителе которой указывают условное обозначение поля допуска отверстия с указанием справа в скобках его числового значения, а в знаменателе — условное обозначение поля допуска вала с указанием справа в скобках его числового значения (рис. 9.20,в);

г) в виде записи, в которой указывают предельные отклонения только одной из сопрягаемых деталей. В этом случае необходимо пояснить, к какой детали относятся эти отклонения (рис. 9.21).

Когда для участков поверхности с одним номинальным размером назначают разные предельные отклонения, границу между ними наносят сплошной тонкой линией, а номинальный размер указывают с соответствующими предельными отклонениями для каждого участка отдельно (рис. 9.22, а). Через заштрихованную часть изображения линию границы между участками проводить не следует (рис. 9.22,б).

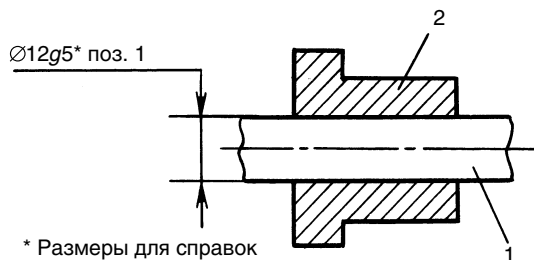


Рис. 9.21. Предельные отклонения размеров детали на сборочном чертеже

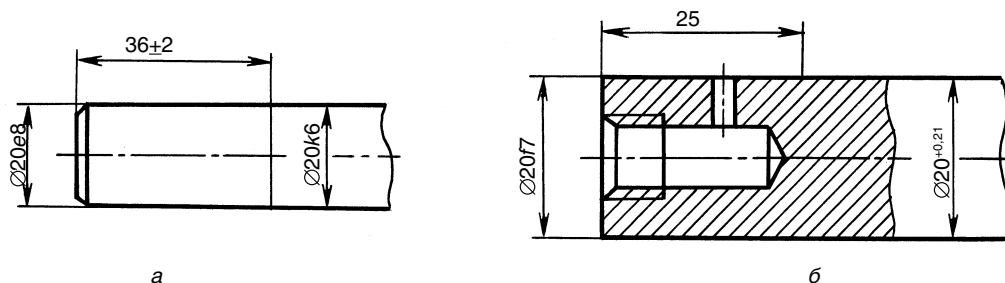


Рис. 9.22. Участки поверхности с одинаковым номинальным размером и разными предельными отклонениями

Когда необходимо указать только один предельный размер (второй ограничен в сторону увеличения или уменьшения каким-либо условием), после размерного числа указывают соответственно *max* или *min* (рис. 9.23).

Указывать предельные размеры допускается также на сборочных чертежах для зазоров, натягов, мертвых ходов и т. п., например: «Осевое смещение кулачка выдержать в пределах 0,6÷1,4 мм».

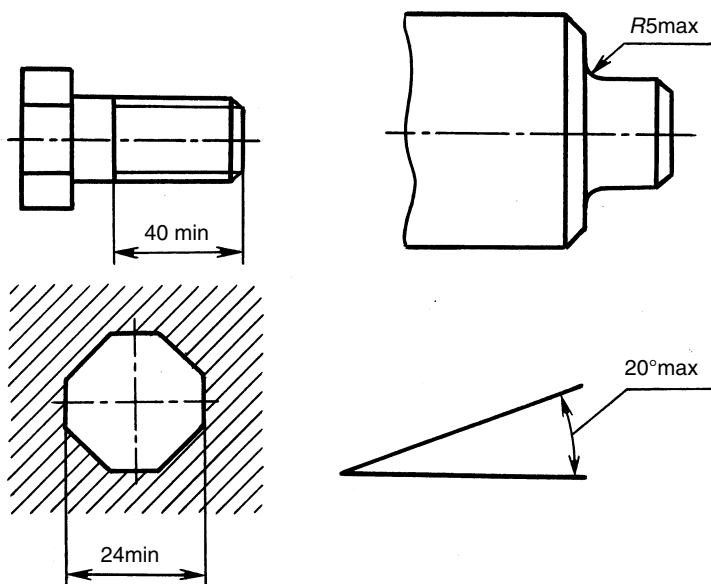


Рис. 9.23. Обозначение одного предельного размера

Предельные отклонения расположения осей отверстий можно указывать двумя способами:

а) позиционными допусками осей отверстий в соответствии с требованиями ГОСТ 2.308—79;

б) предельными отклонениями размеров, координирующих оси (рис. 9.24).

Если допуски расположения осей зависимые, то после предельных отклонений размеров, координирующих оси, следует указывать знак зависимого допуска (M).

Для посадок подшипников качения поле допуска размера  $D$  наружного кольца является основным валом и обозначается буквой  $l$  с указанием класса точности подшипника, например: 10, 16, 15. Поле допуска размера  $d$  внутреннего кольца является основным отверстием и обозначается прописной буквой  $L$  и классом точности, например  $L0$ ,  $L6$ ,  $L5$ ,  $L4$ .

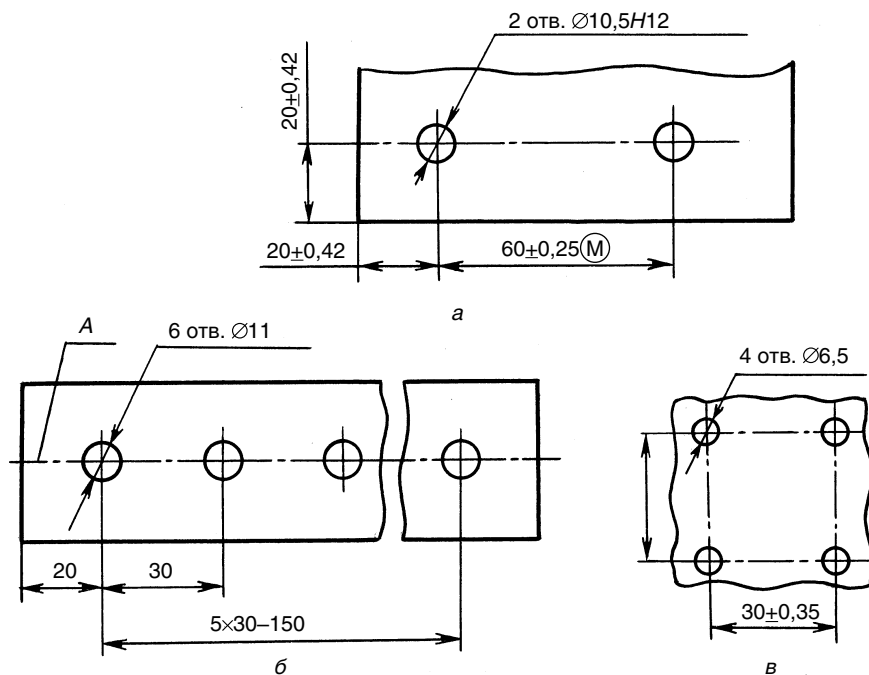


Рис. 9.24. Указание предельных отклонений размеров между осями:

а — отклонения расположения осей при зависимом допуске; б — предельные отклонения размеров между осями двух любых отв.  $\pm 0,35$  мм; смещение осей от плоскости  $A$  не более 0,18 мм;

в — предельные отклонения размеров по диагонали между осями двух любых отв.  $\pm 0,5$  мм

## 9.7. РАСЧЁТ И ВЫБОР ПОСАДОК В ТИПОВЫХ СОЕДИНЕНИЯХ

### Общие указания

1. Посадки в соединениях, как правило, выбираются в системе отверстия (СА), например:  $\varnothing 60H7/e8$ ,  $\varnothing 80H11/d11$ ,  $\varnothing 40H7/k6$ ,  $\varnothing 50H8/u8$  и т.д., здесь все валы выполнены в СА, отверстия являются основными (H).

2. Посадки в системе вала (СВ) выбираются в тех случаях, когда: а) вал является частью готовой сборочной единицы, последующая обработка которой не допускается, например, наружное кольцо подшипника качения в корпус ( $\varnothing 80J_7/10$ ), здесь отверстие в корпусе выполнено в СВ; б) «гладкий» вал соединяется одновременно с несколькими деталями по разным посадкам, например,  $\varnothing 60E8/h7$ ,  $\varnothing 60J_7/h7$ ,  $\varnothing 60U8/h7$ , здесь все отверстия — в СВ, а вал одного и того же диаметра и точности обработки — основной ( $\varnothing 60h7$ ); в) штифтовые и шпоночные соединения, которые включают признаки а) и б).

3. Посадки в которых отверстия выполняются в СВ, а вал в СА, например,  $\varnothing 40E9/d11$  называют комбинированными. Комбинированные посадки целесообразно применять в сборочных единицах, в которых детали высокой точности и более низкой точности можно соединять без ухудшения функциональных свойств.

4. Посадки в СА и СВ должны выбираться из числа предпочтительных или рекомендуемых полей допусков.

### Расчёт функциональных параметров посадок и выбор стандартных посадок

Функциональные параметры посадки — это предельные зазоры  $S_{maxf}$  и  $S_{minf}$  или натяги  $N_{maxf}$  и  $N_{minf}$ , обеспечивающие работоспособность соединения. Допуск посадки  $TS(N)$  определяет точность и, следовательно, стоимость изготовления соединения  $TS(N) = S_{max}(N_{max}) - S_{min}(N_{min})$ , для посадок с зазором (S) или с натягом (N);  $TS(N) = S_{max} + N_{max}$  для переходных посадок, так как натяг в расчётах принимают за отрицательный зазор;  $TS(N) = TD + Td$  для всех типов посадок. Посадки с гарантированным зазором обеспечивают взаимное перемещение деталей соединения в заданных эксплуатационных условиях. Функциональные зазоры ( $S_{maxf}$ ,  $S_{minf}$ ) рассчитываются по соответствующим методикам для конкретных изделий.

При выборе стандартных посадок необходимо с точностью примерно  $\pm 5\%$  выполнить условия  $S_{min} \geq S_{minf}$ ,  $S_{max} \leq S_{maxf}$ . Посадки с гарантированным натягом обеспечивают взаимную неподвижность деталей соединения при действии эксплуатационных усилий. Функциональные натяги ( $N_{maxf}$ ,

$N_{\min f}$ ) рассчитываются, исходя из передачи максимального усилия ( $N_{\min f}$ ) и прочности ( $N_{\max f}$ ).

При выборе стандартных посадок с натягом необходимо с точностью примерно  $\pm 5\%$  выполнить условия  $N_{\min} \geq N_{\min f}$ ,  $N_{\max} \leq N_{\max f}$ . Переходные посадки обеспечивают точность центрирования деталей соединения при возможности легкой сборки — разборки. Функциональные зазоры ( $S_{\max f}$ ) рассчитывают, исходя из точности центрирования деталей соединения, функциональные натяги ( $N_{\max f}$ ), исходя из затрат при сборке.

При выборе стандартных переходных посадок необходимо выполнить условия  $S_{\max} < 2e_f$ , где  $e_f$  допустимое смещение осей деталей соединения — эксцентриситет,  $N_{\max} \approx TD + Td - S_{\max}$ .

Квалитет точности ( $IT$ ) посадки можно определить, приняв условие, что допуск отверстия ( $TD$ ) в первом приближении равен допуску вала ( $Td$ ), тогда  $TD = Td = TS(N)_f/2$ .

После чего находим квалитет точности ( $IT$ ) для заданного диаметра соединения.

Значение основного отклонения как ближайшего расстояния от границы поля допуска до нулевой линии вычисляется по известным значениям  $S_{\max}(N_{\max})_f$ ,  $S_{\min}(N_{\min})_f$  и найденным значениями  $TD$  и  $Td$ , ближайшее стандартное основное отклонение определяется по таблицам ГОСТ 25347—82.

Первое приближение уточняется, согласно приведенным общим указаниям и заданным условиям, после чего принимается окончательное решение о посадке в соединении.

### Посадки подшипников качения на вал и в корпус

Посадки подшипников качения осуществляют: в корпус — в системе вала, на вал — в системе отверстия. Это означает, что предельные отклонения присоединительных размеров подшипника  $D$  и  $d$  не зависят от посадок. Посадки образуются за счет полей допусков для корпуса и вала с данными полями допусков наружного и внутреннего колец подшипника (рис. 9.6, с. 268).

К посадочным поверхностям под подшипники качения предъявляют повышенные требования к точности формы и качеству поверхности. Отклонения формы поверхностей корпусов и валов не должны превышать для подшипников 0 и 6 классов значений, равных  $IT/4$ , а для подшипников 5 и 4 классов —  $IT/8$ . Наиболее значительное отрицательное влияние на работоспособность подшипников качения оказывают конусообразность и овальность посадочных поверхностей, поэтому для этих поверхностей указывают допуск круглости и допуск профиля продольного сечения. Шероховатость поверхностей устанавливается в зависимости от класса точности подшипника и диаметра.

Допуски корпусов или валов при местном нагружении кольца подшипника принимают по 7-му качеству точности (*IT7*), если подшипник 0-го или 6-го класса и по *IT6*, если 5-го или 4-го класса.

Допуски корпусов или валов при циркуляционном нагружении кольца принимают по 6-му качеству (*IT6*) при классе точности подшипника 0 или 6 и по *IT5* для 5-го или 4-го класса.

### Примеры расчёта посадок

Рассмотрим примеры расчета и выбора посадок в соединениях, входящих в сборку (рис. 9.25).

#### **Пример 1.** Посадки подшипника качения на вал и в корпус

*Исходные данные:* подшипник 6—7309 — однорядный конический, 6-го класса точности; радиальная реакция опоры  $F_r = 20000\text{ Н}$ ; условия работы — удары, вибрация, перегрузка до 300%; вал — полый с диаметром отверстия  $d_1 = 20\text{ мм}$ ; корпус неразъемный; вращается вал, корпус — неподвижен.

*Решение.* По справочной литературе находим посадочные размеры подшипника — диаметр наружного кольца —  $D = 100\text{ мм}$ , внутреннего —  $d = 45\text{ мм}$ , посадочная ширина —  $b = 26\text{ мм}$ ; нижние предельные отклонения колец —  $eiD = -13\text{ мкм}$ ,  $EId = -10\text{ мкм}$ , верхние отклонения равны 0, тогда  $D = \varnothing 100_{-0,013}$ ,  $d = \varnothing 45_{-0,010}$ .

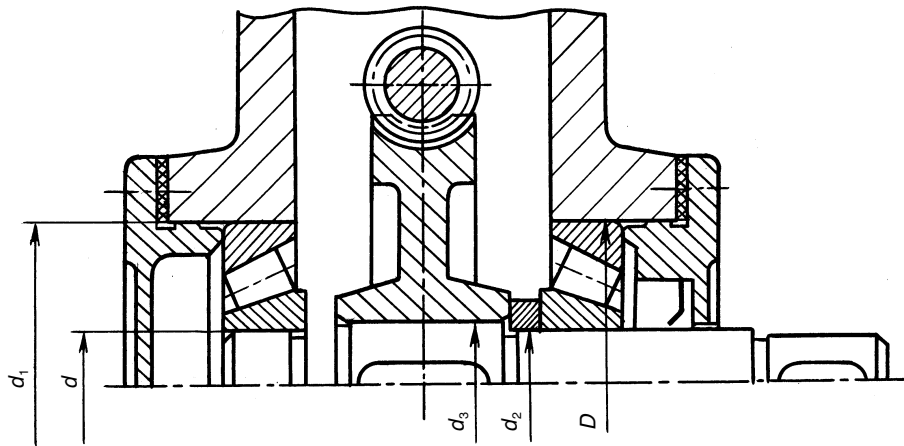


Рис. 9.25. Червячный редуктор

Вид нагружения колец: наружное — местное, внутреннее — циркуляционное.

Основное отклонение корпуса находим по табл. 9.5 (см. с. 272) с учетом того, что: корпус неразъемный, перегрузка 300%,  $D = 100$  мм, получим основное отклонение —  $H$ . Поле допуска отверстия корпуса для заданного класса точности подшипника —  $H7$ ;  $ES = +35$  мкм. Посадка наружного кольца в корпус —  $\varnothing 100H7/l6$ . Строим схему расположения полей допусков (рис. 9.26, а).

Основное отклонение валов необходимо определять по интенсивности нагружения  $P_R$ . Для этого находим необходимые коэффициенты, входящие в уравнение 9.1 (см. с. 271). Коэффициент  $k_1 = 1.8$  (табл. 9.1) (см. с. 270), с учетом перегрузки 300%;  $k_2 = 1.6$ , так как  $d_1/d = 20/45 = 0,44$ , а  $D/d = 100/45 = 2,22$  (табл. 9.2, с. 270);  $k_3 = 1,0$ , так как подшипник однорядный. Интенсивность нагружения равна:  $P_R = (20000/26) \cdot 1,8 \cdot 1,6 \cdot 1,0 = 2215$  Н/мм. По табл. 9.4 (см. с. 271) находим основное отклонение вала —  $n$ ; поле допуска вала, с учетом класса точности подшипника —  $n6$ ;  $ei = +17$  мкм,  $es = +33$  мкм. Посадка внутреннего кольца на вал —  $\varnothing 45 L6/n6$ . Строим схему расположения полей допусков (рис. 9.26, б).

### Пример 2. Посадка крышки в корпус

**Исходные условия.** Посадка крышки в корпус зависит от: а) конструкции крышки — глухая или с отверстием для выхода вала; б) поля допуска отверстия в корпусе, которое выполнено под подшипник; в) необходимости обеспечить возможность легкой сборки — разборки; г) требований к точности центрирования манжетного уплотнителя в случае, если крышка с отверстием.

**Решение.** Требуемым условиям удовлетворяют поля допусков предпочтительного применения  $d11$  — для глухих крышек и  $d9$  — для крышек с отверстием. Таким образом, получаем комбинированные посадки  $\varnothing 100H7/d11$  и  $\varnothing 100H7/d9$ .

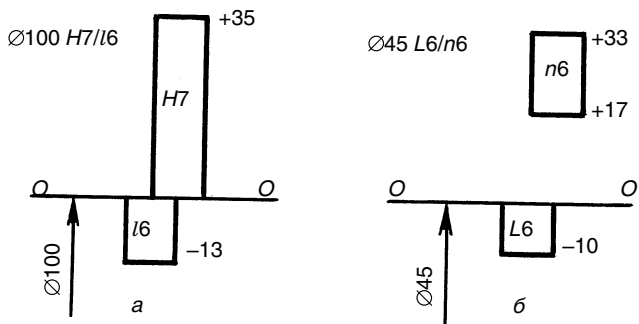


Рис. 9.26. Схемы расположения полей допусков посадок подшипника качения: а — в корпус; б — на вал

Для  $\varnothing 100d11$  имеем  $ei = -120$  мкм,  $es = -340$  мкм; для  $\varnothing 100d9$  —  $ei = -120$  мкм,  $es = -207$  мкм. Строим семы расположения полей допусков посадок.

В случае более высоких классов точности подшипника может возникнуть необходимость применения более высоких квалитетов точности и уменьшения предельных зазоров. Схемы расположения полей допусков представлены на рис. 9.27, а, б.

**Пример 3.** Посадка дистанционного кольца (втулки) на вал

*Исходные условия.* Вал выполнен под подшипник, поле допуска —  $n6$ ; дистанционное кольцо ( $l/d < 0,8$ ) должно достаточно легко собираться с валом, т.е.  $S_{\min f} > 0$ ; максимальный зазор  $s$  не должен вызывать повышенную неуравновешенность — пусть, например,  $S_{\max f} \leq 100$  мкм, т.е. допустимый эксцентриситет  $e_f \leq 50$  мкм,  $S_{\max} \leq 2e_f$ .

*Решение.* Возможны, например, варианты применения предпочтительных полей допусков  $\varnothing 45E9$  и  $\varnothing 45F8$  и рекомендуемых  $\varnothing 45E8$ ,  $\varnothing 45F9$ ,  $\varnothing 45D9$ , которые представлены на схеме (рис. 9.28).

Для рассматриваемого примера, исходными условиями лучше всего удовлетворяет посадка  $\varnothing 45 E9/n6$ ,  $S_{\min} = EI - es = 50 - 33 = 17$  мкм  $> 0$ ,  $S_{\max} = ES - ei = 112 - 17 = 95$  мкм  $< 100$  кроме того, поле  $E9$  предпочтительное. Другое предпочтительное поле допуска —  $F8$  не подходит, так как для посадки  $\varnothing 45 F8/n6$  существует вероятность натяга.

Для дистанционных втулок ( $l/d > 0,8$ ) предельный минимальный зазор  $S_{\min}$  целесообразно увеличить для компенсации отклонений формы. Квалитет точности принимается более высоким для быстрходных валов.

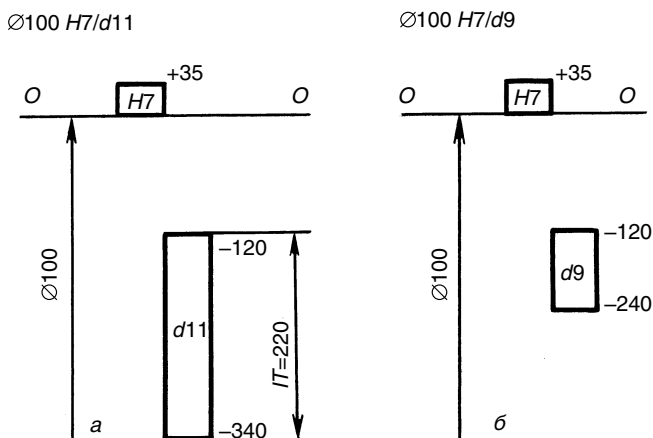


Рис. 9.27. Схемы расположения полей допусков посадок крышки в корпус:  
а — глухой; б — с отверстием

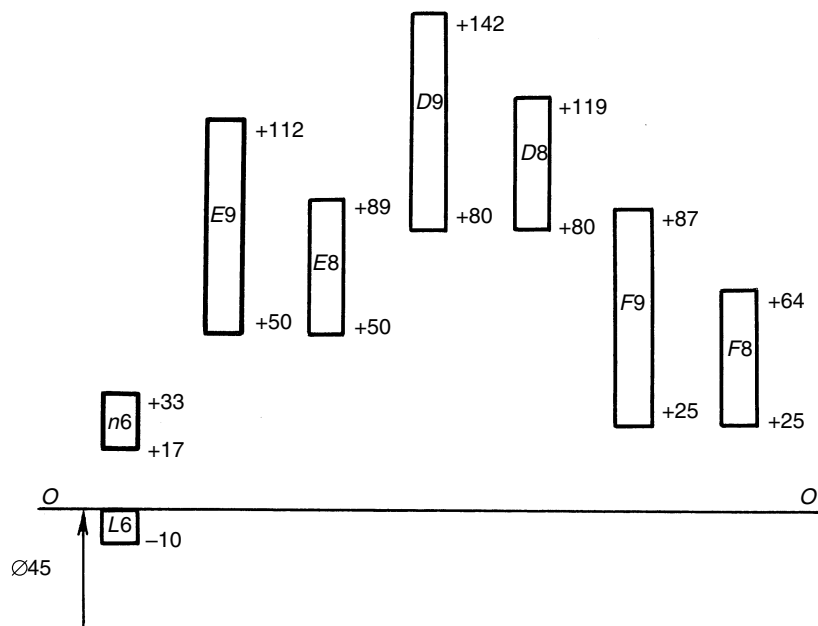


Рис. 9.28. Схемы расположения полей допусков различных вариантов посадок дистанционного кольца на вал

#### Пример 4. Посадка червячного (зубчатого) колеса на вал

На сборке (см. рис. 9.25) изображен червячный редуктор, крутящий момент может передаваться шпонкой или без нее, поэтому рассмотрим эти два варианта.

1) *Исходные данные:* червячная передача 7-й степени точности, диаметр червячного колеса  $D_k = 120$  мм, диаметр соединения  $d_k = 55$  мм. Обеспечить легкую сборку—разборку, крутящий момент передается шпонкой.

*Решение.* Находим по ГОСТ 3675—81 допуск на радиальное биение зубчатого венца  $F_r = 30$  мкм;  $F_r = 2e < S_{\max}$ . Посадка должна быть выбрана в СА ориентировочно по IT6 — IT8 из числа предпочтительных или рекомендуемых. Тип посадки — переходная, из числа обеспечивающих большую вероятность зазора. После предварительных расчетов остановимся на посадках  $\varnothing 55H8/k6$ ;  $\varnothing 55H7/j_6$ ;  $\varnothing 55H7/k6$ .

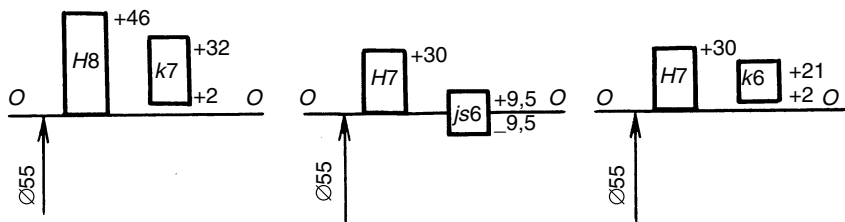


Рис. 9.29. Схемы расположения полей допусков различных вариантов посадок червячного колеса на вал (со шпонкой)

Как видно из построенных схем полей допусков (рис. 9.29, а, б, в) принятым условиям удовлетворяет посадка  $\text{Ø}55\text{H}7\text{k}6$ , так как  $S_{\max} = 28 \text{ мкм} < S_{\max f}$ ; в случаях: а)  $S_{\max} = 48 \text{ мкм} > S_{\max f}$  и б)  $S_{\max} = 39,5 \text{ мкм} > S_{\max f}$ , т.е.  $S_{\max} > 2e = 30 \text{ мкм}$ .

2) *Исходные данные:* геометрические параметры и точность червячного колеса, как в варианте 1. Крутящий момент передается посадкой с натягом, расчетные функциональные натяги равны  $N_{\max f} = 108 \text{ мкм}$ ,  $N_{\min f} = 55 \text{ мкм}$ .

*Решение.* Оценим качество точности соединения, приняв, как и в варианте 1 систему отверстия (СА):  $TD' = Td' = (N_{\max f} - N_{\min f})/2 = (108 - 55)/2 = 26,5 \text{ мкм}$ , полученное значение находится между качествами  $IT6$  ( $IT = 19 \text{ мкм}$ ) и  $IT7$  ( $IT = 30 \text{ мкм}$ ).

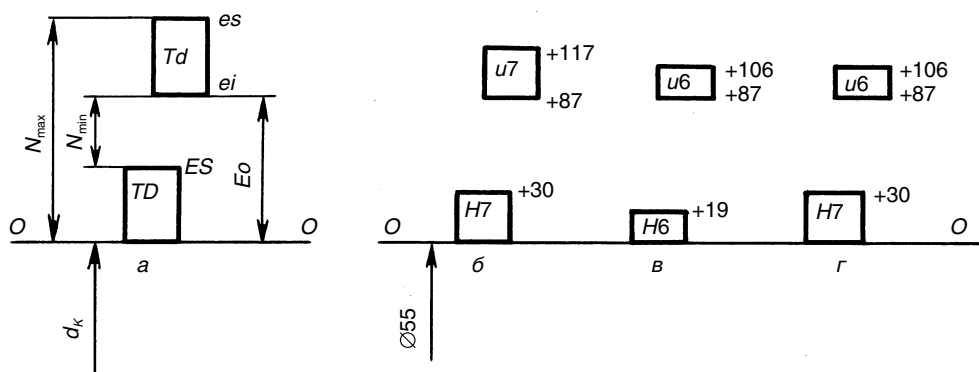


Рис. 9.30. Схемы расположения полей допусков различных вариантов посадок червячного колеса на вал (без шпонки)

Общий вид схемы полей посадки с натягом (рис. 9.30, а) позволяет оценить возможное основное отклонение вала:  $E_o = TD + N_{\min}$ ; для  $IT6$   $E_o = 19 + 55 = 74$  мкм, для  $IT7$   $E_o = 30 + 55 = 85$  мкм. Штрихами обозначены расчетные значения, без штрихов стандартные. Ближайшее стандартное основное отклонение находим по таблицам ГОСТ, для  $d_k = 55$  мм оно соответствует  $u$  и равно 87 мкм. Рассмотрим три варианта посадок (рис. 9.30, б, в, г); б)  $\varnothing 55H7/u7$ ; в)  $\varnothing 55H6/u6$ ; г)  $\varnothing 55H7/u6$ . Условиям удовлетворяет вариант г)  $S_{\max} = 106 - 0 = 106$  мкм  $< S_{\max f}$ ;  $S_{\min} = 87 - 30 = 57$  мм, отличается от  $S_{\min f}$  на 3,6%, что допустимо. Посадка  $\varnothing 55H7/u6$  относится к числу рекомендуемых. В вариантах б)  $S_{\max} = 117 - 0 = 117$  мкм  $> S_{\max f}$ ; в)  $S_{\min} = 87 - 19 = 68$  мкм, отличается от  $S_{\min f}$  существенно больше, чем на 5%. Обозначения выбранных посадок и предельных отклонений размеров, а также шероховатости и допусков формы (рис. 9.31—9.33), соответствуют правилам, изложенным в предыдущих разделах. На чертежах использованы цифровое, буквенное и комбинированное обозначения. Например,  $\varnothing 55H7$  можно обозначить  $\varnothing 55H7^{(+0,03)}$  или  $\varnothing 55^{+0,03}$ . Посадку  $\varnothing 55H7/u6$  можно обозна-

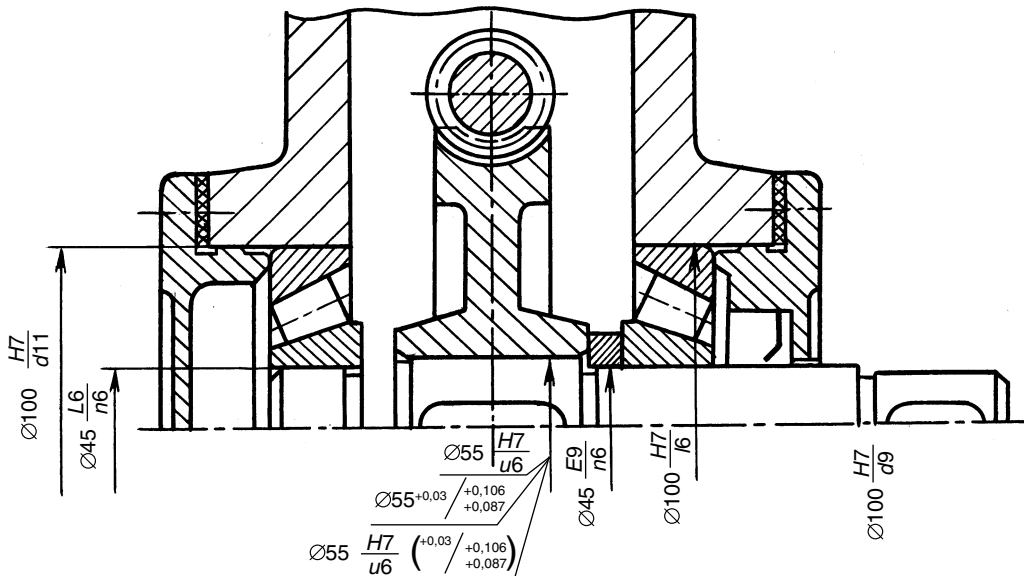


Рис. 9.31. Обозначения предельных отклонений и посадок на сборке

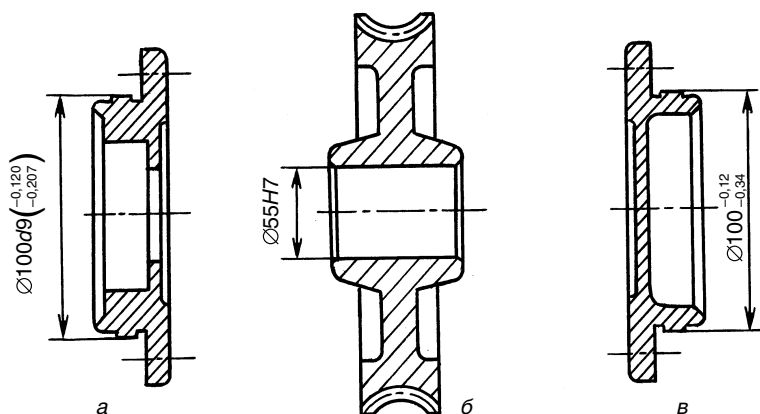


Рис. 9.32. Обозначения предельных отклонений на деталях:  
а — комбинированное; б — буквенное; в — цифровое

читать  $\varnothing 55 \frac{H7}{u6} \left( \begin{smallmatrix} +0,03 \\ +0,106 \\ +0,087 \end{smallmatrix} \right)$  или  $\varnothing 55 \left( \begin{smallmatrix} +0,03 \\ +0,106 \\ +0,087 \end{smallmatrix} \right)$ . Допуски формы определяются по соответствующим рекомендациям: корпус —  $IT/4 = 35/4 \approx 8 \text{ мкм} = 0,008 \text{ мм}$ ; вал —  $IT/4 = 16/4 = 4 \text{ мкм} = 0,004 \text{ мм}$ .

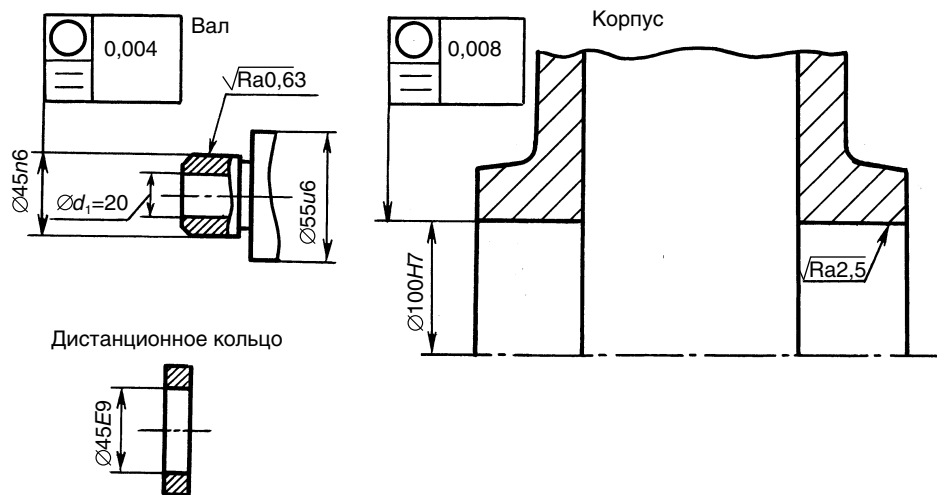


Рис. 9.33. Эскизы деталей с обозначениями требований к точности

## ГЛАВА 10

# СТАНДАРТИЗАЦИЯ И КОНТРОЛЬ НОРМ ТОЧНОСТИ РЕЗЬБОВЫХ ДЕТАЛЕЙ И СОЕДИНЕНИЙ

### 10.1. ОСНОВНЫЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗЬБОВЫМ СОЕДИНЕНИЯМ

Резьбовые соединения широко распространены в промышленности. Резьбовые детали и соединения можно разделить по эксплуатационному признаку на резьбы общего назначения и специальные. *Резьбы общего назначения* — крепежные (метрическая, дюймовая), применяемые для разъемных соединений изделий. Главные требования к этим резьбам — полная взаимозаменяемость (свинчиваемость) и прочность (статическая и динамическая) в процессе длительной эксплуатации. *Резьбы специального назначения*:

а) кинематические (трапецеидальная и прямоугольная), применяемые для ходовых винтов, винтов суппортов станков и столов измерительных приборов, главное требование к этим резьбам — точность перемещения при минимальном трении;

б) силовые (упорные), предназначенные для преобразования вращательного движения в прямолинейное в прессах и домкратах, главное требование к этим резьбовым соединениям — обеспечение плавности перемещения при больших нагрузках;

в) трубные и арматурные (трубные цилиндрическая и коническая, метрическая коническая), применяемые для трубопроводов и арматуры, главное требование к этим резьбовым соединениям — обеспечение герметичности соединений.

Эксплуатационные требования к резьбам зависят от назначения резьбовых соединений. Общими для всех резьб являются требования долговечности и свинчиваемости без подгонки.

Принципы стандартизации норм точности резьбовых соединений имеют много общего, несмотря на конструктивные различия и назначение. Наибольшее распространение имеют метрические крепёжные резьбы.

## 10.2. ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ МЕТРИЧЕСКИХ РЕЗЬБ

Номинальный профиль наружной и внутренней резьбы определяется основным профилем (ГОСТ 9150—2002) и дополнительными требованиями к форме впадины резьбы, устанавливаемыми ГОСТ 16093—2004 (для резьб диаметром от 1 мм) и ГОСТ 9000—81 (для резьб диаметром менее 1 мм).

Метрическая резьба характеризуется следующими номинальными геометрическими параметрами (рис. 10.1 и 10.2): средний  $d_2$  ( $D_2$ ), наружный  $d$  ( $D$ ) и внутренний  $d_1$  ( $D_1$ ) диаметры наружной (внутренней) резьбы; высота исходного треугольника  $H$ ; шаг резьбы  $P$ ; угол профиля  $\alpha$ ; номинальный радиус закругления впадины внутренней резьбы  $R$ . Резьба имеет также такие параметры как: рабочая высота профиля  $H_1$ ;  $d_3$  — внутренний диаметр болта по дну впадины; углы наклона сторон профиля  $\beta$  и  $\gamma$ ; угол подъема резьбы  $\psi$ ; длина свинчивания  $l$ . Профиль, номинальные размеры диаметров и шага  $P$ , а также  $\alpha$  и  $H_1$  являются общими как для наружной (болта, шпильки, винта и др.), так и для внутренней (гайки, резьбового отверстия и др.) резьб. Размеры элементов профиля метрической резьбы соответствующие ГОСТ 9150—2002 определены следующими формулами:  $H = 0,866025404P$ ;  $H_1 = 5/8 \cdot H = 0,541265877P$ ;  $3/8 \cdot H = 0,324759526P$ ;  $H/4 = 0,216506351P$ ;  $H/8 = 0,108253175P$ .

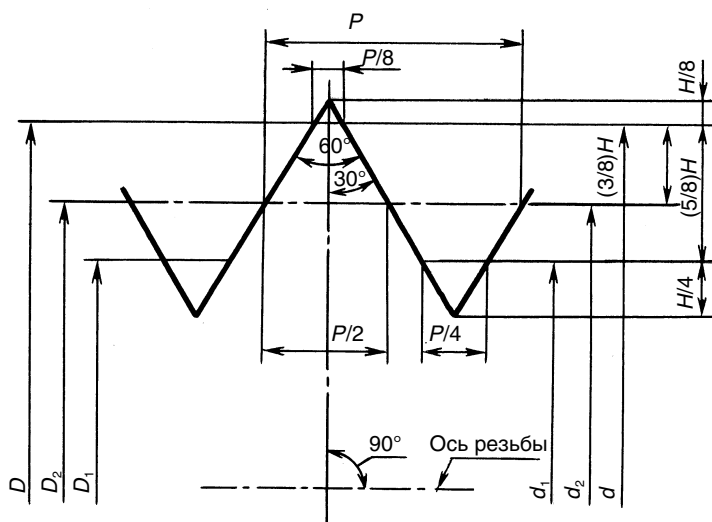


Рис. 10.1. Профиль метрической резьбы

Следует заметить, что как видно из рис. 10.1, средний диаметр резьбы — это диаметр воображаемого цилиндра, образующая которого делит шаг резьбы пополам, а не полусумма наружного и внутреннего диаметров.

Номинальный профиль отличается от теоретического тем, что имеет срезы вершин резьбы, равные  $H/4$  у гайки и  $H/8$  у болта, а также срезы или закругления впадин. Резьбовые соединения с таким профилем отличаются повышенной циклической прочностью, кроме того, упрощается образование наружной резьбы накатыванием и внутренней резьбы нарезанием. Метрическая резьба при нагрузках имеет свойство самоторможения.

Реальный профиль впадин наружной резьбы ни в одной точке не должен выходить за линию плоского среза на расстоянии  $H/4$  от вершины исходного треугольника, а реальный профиль внутренней резьбы — за линию плоского среза на расстоянии  $H/8$  от вершины исходного треугольника, т.е. реальный профиль впадины как для наружной, так и для внутренней резьбы ни в одной из точек не должен заходить за основной профиль.

Для наружной резьбы на крепежных деталях класса прочности 8.8 и выше по ГОСТ 1759.4—87 профиль впадины должен иметь неизменяющуюся по знаку кривизну, и ни один из участков профиля не должен иметь радиус кривизны менее  $0,125P$ .

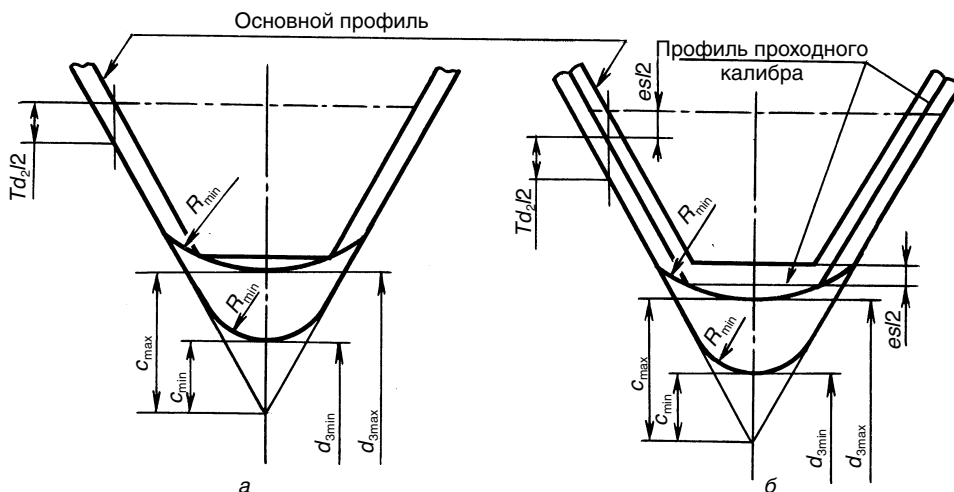


Рис. 10.2. Форма впадины резьбы:  
а — основное отклонение  $h$ ; б — основные отклонения  $d, e, f, g$

При максимальном внутреннем диаметре  $d_3$  две дуги радиусом  $R_{\min} = 0,125P$  будут проходить через точки пересечения боковых сторон профиля максимума материала с цилиндром внутреннего диаметра проходного калибра (ПР) по ГОСТ 24997—2004, а при минимуме материала одна дуга с этим радиусом будет сопрягаться с обеими боковыми сторонами (рис. 10.2).

Для расчета прочности по внутреннему диаметру  $d_3$  наружной резьбы за основу целесообразно принимать срез по впадине, равный  $H/6$  (при  $R = 0,14434P$ ). Соответствующие значения  $d_3$ , приведены в ГОСТ 24705—2004.

Минимальный срез по впадине вычисляют по формуле  $c_{\min} = 0,125P = H/7$ . Для крепежных деталей или других резьбовых соединений, которые подвержены знакопеременным нагрузкам или ударам, наружная резьба на крепежных деталях класса прочности ниже 8.8 должна предпочтительно соответствовать требованиям, установленным для резьбы класса прочности 8.8 по ГОСТ 1759.4—87.

Профиль впадины резьбы выполняется без ограничений, кроме того, что наибольший внутренний диаметр  $d_3$  наружной резьбы должен быть меньше наименьшего внутреннего диаметра проходного калибра по ГОСТ 24997—2004.

Метрические резьбы бывают с крупным и мелким шагом. ГОСТ 8724—2002 устанавливает три ряда диаметров метрической резьбы, в каждом из которых предусмотрены крупный и мелкие шаги. При выборе диаметров резьб первый ряд следует предпочитать второму, второй — третьему. У резьбы с крупным шагом каждому наружному диаметру соответствует шаг, определяемый зависимостью  $d(D) \approx 6P^{1,3}$ . Резьба с мелкими шагами при одном наружном диаметре может иметь разные шаги.

### 10.3. ПРИНЦИПЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМОСТИ РЕЗЬБ

Несмотря на различие типоразмеров, а также функционального назначения резьбовых соединений системы допусков и посадок, обеспечивающие взаимозаменяемость резьб построены по единым принципам.

Резьбовой контур, включающий несколько витков резьбы на длине свинчивания  $l$  резьбовых деталей, ограниченный предельным контуром, представлен на рис. 10.3.

Номинальный контур резьбы определяет наибольший предельный контур резьбы болта и наименьший — гайки. Взаимозаменяемость резьбовых деталей достигается, когда действительные контуры свинчиваемых деталей — болта и гайки не выходят за предельные контуры на всей длине свинчивания.

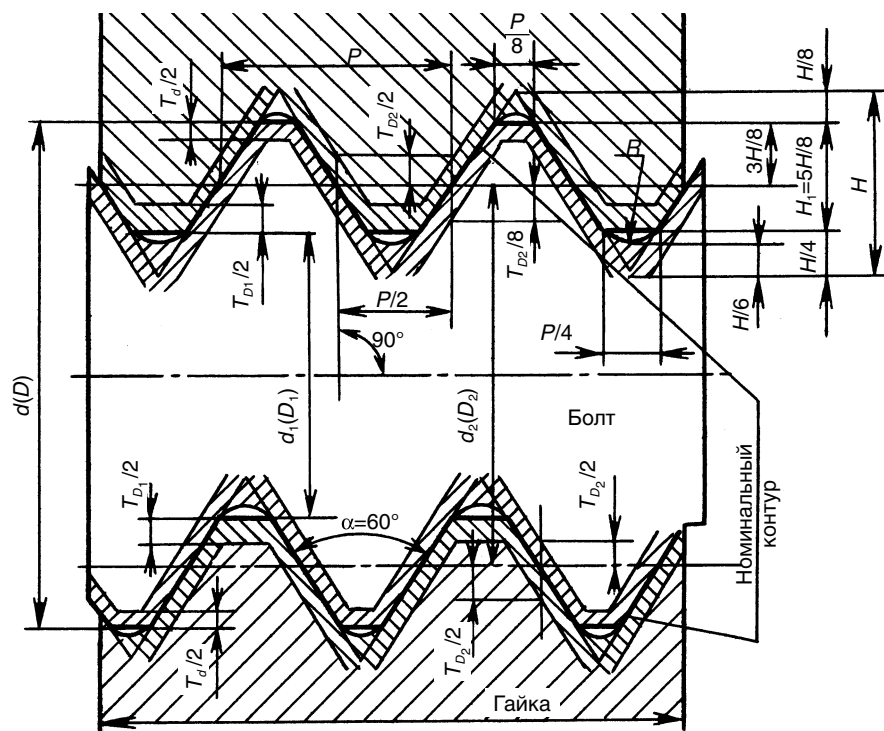


Рис. 10.3. Предельные контуры болта и гайки

Погрешности диаметров резьбы, шага и угла профиля, определяющие на свинчиваемость имеют разные направления действия и степень влияния. Комплексная оценка суммарного действия этих погрешностей возможна путём приведения их к диаметральному направлению. Погрешности шага и угла профиля резьбы, направление действия которых приведены к диаметральному направлению, называют *диаметральными компенсациями шага*  $f_p$ , и *угла профиля*  $f_\alpha$ , соответственно. Таким образом, отклонения шага и угла профиля связаны со средним диаметром резьбы, который оказывает прямое влияние на свинчиваемость, в то время как наружный и внутренний диаметры изменены срезом и закруглением. *Отклонением шага* резьбы  $\Delta P$  называют разность между действительным и номинальным расстояниями в осевом направлении между двумя средними точками любых одноименных боковых сторон профиля в пределах длины свинчи-

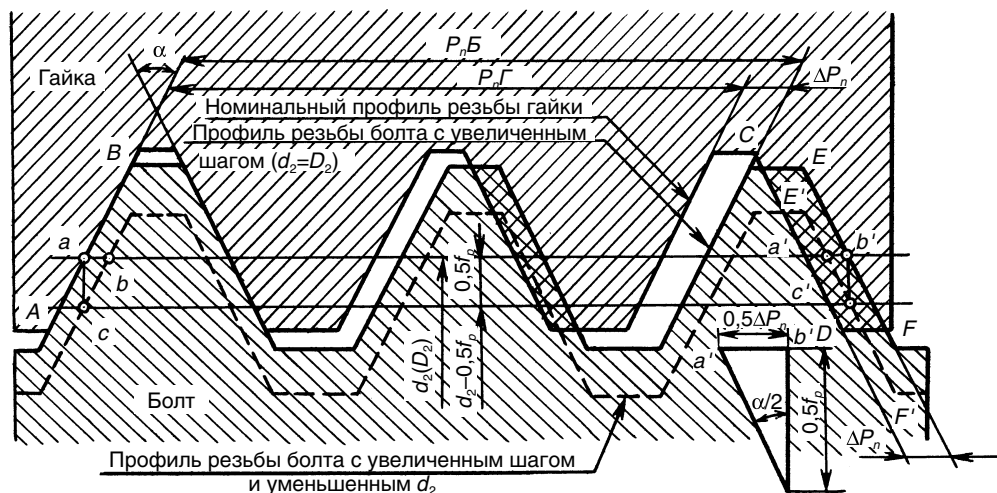


Рис. 10.4. Диаметральная компенсация погрешности шага

вания или заданной длины. Отклонение шага состоит из прогрессивных погрешностей шага, пропорциональных числу витков резьбы на длине свинчивания  $l$ . Наложим на осевое сечение резьбы гайки, имеющей номинальные профиль и размеры, осевое сечение резьбы болта, у которого на длине свинчивания шаг увеличен на  $\Delta P_n$  (рис. 10.4).

При равенстве диаметров резьбы болта и гайки эти детали не свинтятся из-за накопленной погрешности шага равной  $\Delta P_n = P \cdot n$ , где  $n$  число шагов на длине свинчивания. Из рис. 10.4 видно, что если условно совместить левые боковые стороны  $AB$  профилей резьбы болта и гайки, то свинчивание окажется невозможным вследствие перекрытия правых сторон профилей резьбы —  $EF$  профиля резьбы болта и  $CD$  профиля резьбы гайки. Свинчивание резьбовых деталей, имеющих погрешность шага резьбы, возможно только при наличии разности  $f_p$  их средних диаметров, полученной в результате уменьшения среднего диаметра резьбы болта или увеличения среднего диаметра резьбы гайки. При уменьшении среднего диаметра резьбы болта на  $f_p$  профиль его резьбы сместится к оси в верхней части резьбы на  $0,5 f_p$  и в нижней части резьбы также на  $0,5 f_p$ . Новое положение профиля резьбы болта показано штриховой линией. Боковая сторона профиля  $EF$  резьбы болта займёт положение  $E'F'$ . Кроме того, весь болт может быть смещен влево на  $ab$ . Следовательно, при  $ab = a'b' = 0,5 f_p$  боковая сторона  $EF$  профиля резьбы болта совместится с боковой стороной  $CD$  профи-

ля резьбы гайки, что обеспечит возможность свинчивания. Из треугольника  $a'b'c'$ , в котором  $b'c' = 0,5 f_p$ , найдем  $0,5 f_p = 0,5 \cdot \Delta P_n \operatorname{ctg} \alpha/2$  или  $f_p = \operatorname{ctg} (\alpha/2) \Delta P_n$ .

Величина  $f_p$  — диаметральная компенсация погрешностей шага резьбы равна для метрической резьбы  $f_p = 1,732 \Delta P_n$ .

Погрешность угла профиля резьбы  $f_\alpha$  не даёт информацию о перекосе профиля резьбы по отношению к оси, поэтому в качестве определяющей погрешности принимают *погрешность половины угла профиля  $\Delta\alpha/2$* . *Погрешностью половины угла профиля резьбы  $\Delta\alpha/2$*  болта или гайки (для резьб с симметричным профилем) называют разность между действительными и номинальными значениями  $\alpha/2$ .

Погрешность  $\Delta\alpha/2$  при симметричном профиле резьбы находят как среднее арифметическое абсолютных значений отклонений обеих половин угла профиля  $\Delta\alpha/2 = 0,5(|\Delta(\alpha/2)_{\text{пр}}| + |\Delta(\alpha/2)_{\text{лев}}|)$ .

На рис. 10.5 показано сечение резьбы гайки с номинальным профилем 1, на которое наложено сечение резьбы болта 2, имеющего погрешность половины угла профиля  $\Delta\alpha/2$ .

При равенстве диаметров резьбы болта и гайки свинчивание этих деталей невозможно вследствие перекрытия профилей резьбы (зона 3). Свинчивание резьбовых деталей, имеющих погрешность  $\Delta\alpha/2$ , будет возмож-

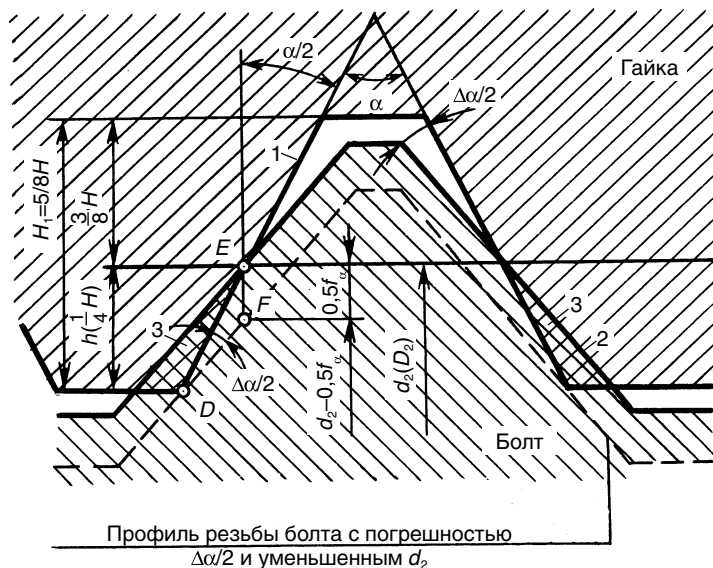


Рис. 10.5. Диаметральная компенсация погрешности половины угла профиля

ным, если обеспечить зазор по среднему диаметру резьбы. Диаметральная компенсация  $f_\alpha$  показывает, на сколько требует уменьшения средний диаметр резьбы болта или увеличения средний диаметр резьбы гайки, чтобы произошло свинчивание.

Величину  $f_\alpha$  можно найти из треугольника  $DEF$ . По теореме синусов, получим

$$\frac{EF}{ED} = \frac{\sin(\Delta\alpha/2)}{\sin[180^\circ - (\alpha/2 + \Delta\alpha/2)]},$$

где  $EF = 0,5 f_\alpha$ ;  $ED = h/\cos(\Delta\alpha/2)$ ;  $\sin \Delta\alpha/2 = \Delta\alpha/2$ , ввиду малости угла  $\Delta\alpha/2$ . После преобразований имеем

$$f_\alpha = \frac{4h\Delta\alpha/2}{\sin \alpha} \frac{2\pi}{360 \cdot 60} 10^3 \approx \frac{1,164h}{\sin \alpha} \Delta\alpha/2.$$

Здесь  $\Delta\alpha/2$  в угловых минутах,  $h$  в мм,  $f_\alpha$  в мкм.

Окончательно используя соотношения между  $h$  и шагом  $P$ , получим: для метрической резьбы  $f_\alpha = 0,36P \Delta\alpha/2$ .

Приведение всех погрешностей геометрических параметров резьбы к диаметральному направлению позволило получить комплексный параметр определяющий свинчиваемость — приведенный средний диаметр резьбы. *Приведенный средний диаметр болта* — это средний диаметр болта, увеличенный на диаметральную компенсацию отклонений шага и половины угла профиля. *Приведенный средний диаметр гайки* — это средний диаметр гайки, уменьшенный на диаметральную компенсацию отклонений шага и половины угла профиля гайки. Свинчиваемость обеспечивается, если разность средних диаметров резьбы болта и гайки не меньше сумм диаметральных компенсаций шага и половины угла профилей болта и гайки. Таким образом, приведенный диаметр болта равен  $d_{2пр} = d_{2г} + f_{P6} + f_{\alpha6}$ ; гайки —  $D_{2пр} = D_{2г} - f_{Pг} - f_{\alphaг}$ , где  $d_{2г}$  и  $D_{2г}$  действительные диаметры болта и гайки.

При наличии погрешностей шага и половины угла профиля резьбы у обеих деталей получаемый в соединении зазор определяется разностью действительных значений приведенных средних диаметров внутренней и наружной резьбы.

Допуски болта и гайки устанавливают только на резьбы с натягом и резьбы калибров и инструмента. На метрические резьбы с зазором параметры резьбы раздельно не нормируют, а устанавливают суммарный допуск на средний диаметр болта  $T_{d2}$  и гайки  $T_{D2}$ , который включает допускаемое отклонение собственно среднего диаметра  $\Delta d_2$  ( $\Delta D_2$ ) и диаметрально-

ные компенсации погрешности шага и угла профиля  $T_{d_2}(T_{D_2}) = \Delta d_2(\Delta D_2) + f_p + f_\alpha$ .

#### 10.4. СИСТЕМА ДОПУСКОВ И ПОСАДОК МЕТРИЧЕСКИХ РЕЗЬБОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ С ЗАЗОРОМ

##### Структура системы допусков

Система допусков резьбы предусматривает: допуски диаметров резьбы; положения полей допусков диаметров резьбы; классификацию длин свинчивания резьбы; поля допусков резьбы и их выбор с учетом длин свинчивания.

Для получения посадок резьбовых деталей с зазором в ГОСТ 16093—2004 предусмотрены основные отклонения  $d, e, f, g, h$  для наружной и  $E, F, G, H$  для внутренней резьбы. Схемы расположения полей допусков и основных отклонений диаметров наружной и внутренней резьбы в посадках с зазором приведены на рис. 10.6 и 10.7.

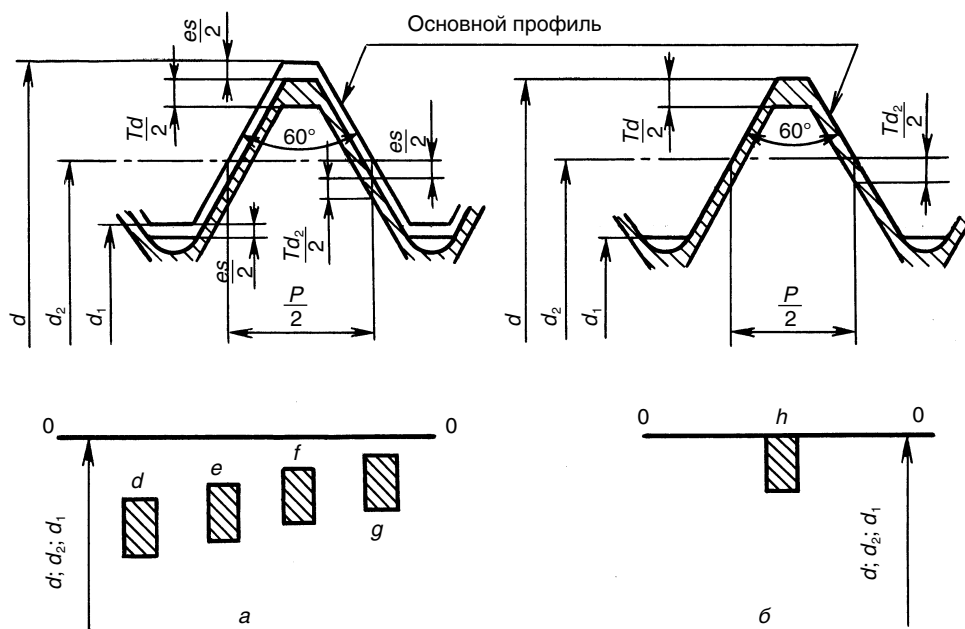


Рис. 10.6. Расположение полей допусков наружной резьбы:  
а — с основными отклонениями  $d, e, f, g$ ; б — с основным отклонением  $h$

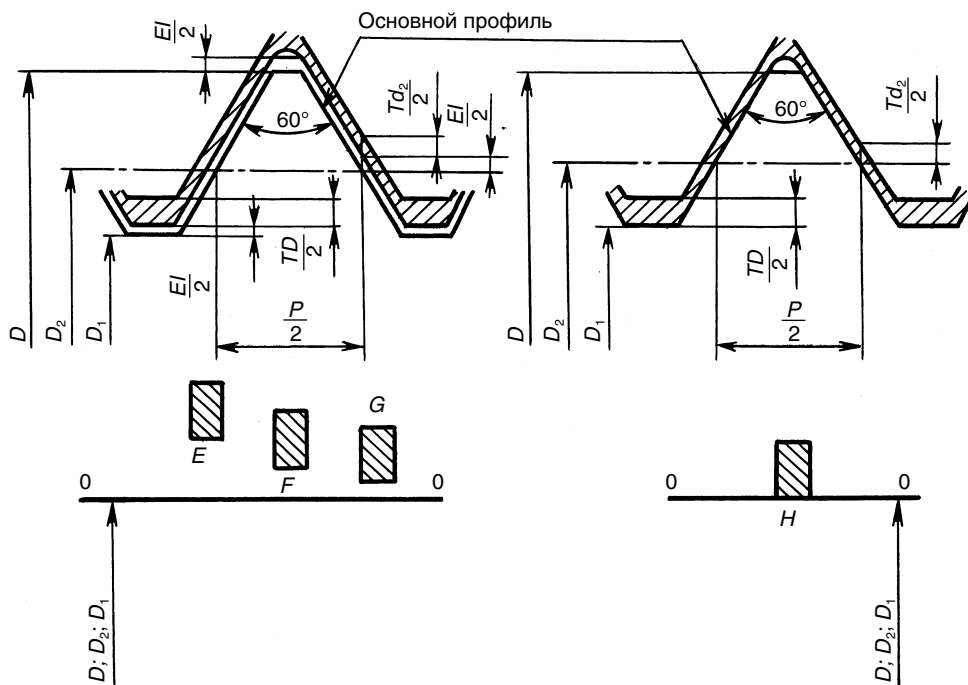


Рис. 10.7. Расположение полей допусков внутренней резьбы:  
а — с основными отклонениями E, F, G; б — с основным отклонением H

Отклонения отсчитываются от основного профиля резьбы в направлении, перпендикулярном к оси резьбы. Допуски для среднего диаметра и диаметра выступов (наружного диаметра наружной резьбы и внутреннего диаметра внутренней резьбы) устанавливаются по степеням точности, обозначаемым цифрами.

Номера установленных степеней точности диаметров резьбы приведены в табл. 10.1. Допуски диаметров  $d_1$  и  $D_1$  не устанавливаются. Допуски среднего диаметра резьбы являются суммарными.

Положение поля допуска диаметра резьбы определяется основным отклонением (верхним для наружной резьбы и нижним для внутренней резьбы) и обозначается буквой латинского алфавита, строчной для наружной резьбы и прописной для внутренней (табл. 10.2).

Таблица 10.1

**Степени точности для диаметров резьбы**

| Вид резьбы                                  | Диаметр резьбы | Степень точности         |
|---------------------------------------------|----------------|--------------------------|
| Наружная резьба                             | $d$            | 4; 6; 8                  |
|                                             | $d_2$          | 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10* |
| Внутренняя резьба                           | $D_2$          | 4; 5; 6; 7; 8; 9*        |
|                                             | $D_1$          | 4; 5; 6; 7; 8            |
| * Только для резьб на деталях из пластмасс. |                |                          |

Таблица 10.2

**Основные отклонения для диаметров резьбы**

| Вид резьбы        | Диаметр резьбы | Основное отклонение |
|-------------------|----------------|---------------------|
| Наружная резьба   | $d$            | $d; e; f; g; h$     |
|                   | $d_2$          | $d; e; f; g; h$     |
| Внутренняя резьба | $D_2$          | $E; F; G; H$        |
|                   |                | $E; F; G; H$        |

*Примечания:* 1) Верхнее отклонение диаметра  $d_1$  должно соответствовать основному отклонению диаметра  $d_2$ ; 2) Нижнее отклонение диаметра  $D$  должно соответствовать основному отклонению диаметра  $D_2$ ; 3) Основные отклонения внутренней резьбы  $E$  и  $F$  установлены только для специального применения при значительных толщинах слоя защитного покрытия.

Длины свинчивания резьбы подразделяются на три группы: «короткие»  $S$ , «нормальные»  $N$  и «длинные»  $L$ .

Поле допуска отдельного диаметра резьбы (среднего диаметра  $d_2$ ,  $D_2$  или диаметра выступов  $d$ ,  $D_1$ ) образуется сочетанием допуска и основного отклонения. Поле допуска резьбы образуется сочетанием полей допусков среднего диаметра и диаметра выступов.

**Условные обозначения резьбы**

Обозначение размера резьбы устанавливается ГОСТ 8724—2002. Обозначение поля допуска отдельного диаметра резьбы состоит из цифры, указывающей степень точности и буквы, указывающей основное отклонение, например:  $4h$ ;  $6g$ ;  $6H$ . Обозначение поля допуска резьбы состоит из обозначения поля допуска среднего диаметра, помещаемого на первом месте и обозначения поля допуска диаметра выступов. Если обозначение поля допуска диаметра выступов совпадает с обозначением поля допуска среднего

диаметра, то оно в обозначении поля допуска резьбы не повторяется. В условном обозначении резьбы обозначение поля допуска должно следовать за обозначением резьбы.

*Примеры условного обозначения:* 1) наружной резьбы с крупным шагом M10-6g или M10×1,5-6g, с мелким шагом M10×1-6g; 2) внутренней резьбы с крупным шагом: M10-6H, с мелким шагом M10×1-6H; 3) многозаходной резьбы M16×Ph3P1,5-6H или M16×Ph3P1,5 (два захода) — 6H; 4) левой резьбы: с крупным шагом M10-6g-LH, с мелким шагом M10×1-6H-LH; 5) левой многозаходной резьбы M16×Ph3P1,5-6H-LH.

Отсутствие обозначения поля допуска резьбы означает, что назначенный класс точности — «средний». В этом случае ему соответствуют следующие поля допусков: а) наружная резьба 6h — для резьбы диаметром до 1,4 мм включительно; б) 6g — для резьбы диаметром 1,6 мм и более; в) внутренняя резьба 5H — для резьбы диаметром до 1,4 мм включительно; 6H — для резьбы диаметром 1,6 мм и более.

Однако, рекомендуется в качестве предпочтительного, во всех случаях указание обозначения поля допуска резьбы.

Обозначение группы длин свинчивания «нормальная» N в обозначении резьбы не указывается. Обозначение группы длин свинчивания «короткая» S и «длинная» L указывается за обозначением поля допуска резьбы и отделяется от него чертой, например M6-7g6g-L; M20×2-5—S—LH.

Обозначение групп длин свинчивания S или L допускается дополнять указанием в скобках длины свинчивания в миллиметрах, например M12-7g/6g-L (30).

Посадка в резьбовом соединении обозначается дробью, в числителе которой указывают обозначение поля допуска внутренней резьбы, а в знаменателе — обозначение поля допуска наружной резьбы, например M6-6H/6g; M20×2-6H/5g6g; M12×1-6H/6g-LH.

### Рекомендуемые поля допусков

Сокращение числа типоразмеров режущего и контрольного инструмента достигается установлением предпочтительных полей допусков резьбы по ГОСТ 16093—2004 (табл. 10.3, 10.4). Поля допусков установлены в трех классах точности: *точный*, *средний* и *грубый*. Области применения классов точности следующие: *точный* — для прецизионных резьб, когда необходимо малое колебание характера посадки; *средний* — для общего применения; *грубый* — для случаев, когда могут возникнуть производственные трудности, например, при нарезании резьбы на горячекатаных стержнях или в длинных глухих отверстиях.

Таблица 10.3

**Поля допусков для групп длин свинчивания  
по классам точности наружной резьбы**

| Класс<br>точности | Группа длин свинчивания      |                          |               |                  |                  |                  |                  |                          |                          |                          |
|-------------------|------------------------------|--------------------------|---------------|------------------|------------------|------------------|------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
|                   | <i>S</i>                     |                          | <i>N</i>      |                  |                  |                  | <i>L</i>         |                          |                          |                          |
|                   | Поле допуска наружной резьбы |                          |               |                  |                  |                  |                  |                          |                          |                          |
| Точный            | —                            | (3 <i>h</i> 4 <i>h</i> ) | —             | —                | —                | (4 <i>g</i> )    | <b>4<i>h</i></b> | —                        | —                        | (5 <i>h</i> 4 <i>h</i> ) |
| Средний           | 5 <i>g</i> 6 <i>g</i>        | (5 <i>h</i> 6 <i>h</i> ) | (6 <i>d</i> ) | <b>6<i>e</i></b> | <b>6<i>f</i></b> | <b>6<i>g</i></b> | 6 <i>h</i>       | (7 <i>e</i> 6 <i>e</i> ) | 7 <i>g</i> 6 <i>g</i>    | (7 <i>h</i> 6 <i>h</i> ) |
| Грубый            |                              | —                        | —             | (8 <i>e</i> )    | —                | 8 <i>g</i>       | —                | (9 <i>e</i> 8 <i>e</i> ) | (9 <i>g</i> 8 <i>g</i> ) | —                        |

Таблица 10.4

**Поля допусков для групп длин свинчивания  
по классам точности внутренней резьбы**

| Класс<br>точности | Группа длин свинчивания        |            |               |            |               |            |
|-------------------|--------------------------------|------------|---------------|------------|---------------|------------|
|                   | <i>S</i>                       |            | <i>N</i>      |            | <i>L</i>      |            |
|                   | Поле допуска внутренней резьбы |            |               |            |               |            |
| Точный            | (5 <i>G</i> )                  | 4 <i>H</i> |               | 5 <i>H</i> |               | 6 <i>H</i> |
| Средний           |                                | 5 <i>H</i> | 6 <i>G</i>    | 6 <i>H</i> | (7 <i>G</i> ) | 7 <i>H</i> |
| Грубый            |                                |            | (7 <i>G</i> ) | 7 <i>H</i> | (8 <i>G</i> ) | 8 <i>H</i> |

Степень предпочтительности полей допусков, представленных в таблицах 10.3 и 10.4 различная. Поля допусков, указанные в рамках, рекомендуются для резьбовых деталей в изделиях, реализуемых в коммерческих целях, например, на экспорт. Предпочтительность выбора полей допусков следующая: в первую очередь применяют поля допусков, обозначенные жирным шрифтом; во вторую очередь — поля допусков, набранные обычным шрифтом; в третью очередь — поля допусков, указанные в скобках.

Допускается применять, в случае необходимости, поля допусков резьбы, образованные другими сочетаниями полей допусков среднего диаметра и диаметра выступов резьбы из числа приведенных в табл. 10.3 и 10.4. Допускается применять также поля допусков, полученные сочетаниями степеней точности (табл. 10.2) и основных отклонений (табл. 10.3), например, для наружной резьбы 4*h*6*h*; 8*h*; 8*h*6*h*; для внутренней резьбы 5*H*; 5*H*6*H*.

Посадки могут быть образованы любыми полями допусков наружной и внутренней резьбы из числа рекомендуемых. Однако, для обеспечения достаточной рабочей высоты профиля окончательные размеры деталей резьбового соединения должны образовывать посадки типа *H/g*, *H/h* или *G/h*.

Для резьб с размерами М1,4 и менее следует выбирать посадки 5Н/6h, 4Н/6h или точнее.

Посадки с натягом регламентированы ГОСТ 4608—81, который распространяется на метрические резьбы с профилем по ГОСТ 9150—2002 диаметром 5÷45 мм и шагом 0,8÷3 мм.

Посадки с натягом по среднему диаметру используют, когда конструкция узла не допускает применения резьбового соединения типа болт-гайка из-за возможного нарушения герметичности и самоотвинчивания шпилек под действием вибраций, переменных нагрузок и изменения рабочей температуры. Примером может служить посадка резьбы шпилек в корпуса двигателей. Шпильку следует ввинчивать в корпус настолько туго, чтобы исключить ее проворачивание при затяжке в процессе сборки и эксплуатации или при отвинчивании гайки (соединенной по посадке Н/h с другим концом шпильки) для ремонта и осмотра механизма.

Переходные посадки применяют при одновременном дополнительном заклинивании шпилек по коническому сбегу резьбы, по плоскому бурту и по цилиндрической цапфе. Переходные посадки метрической резьбы с профилем по ГОСТ 9150—2002 установлены ГОСТ 24834—81.

## 10.5. КОНТРОЛЬ ТОЧНОСТИ РЕЗЬБ

Точность резьбы можно контролировать дифференцированным и комплексным методами. *Дифференцированный* — это контроль каждого параметра в отдельности. *Комплексный контроль* — это контроль расположения контура резьбы в предписанном поле допуска. Метод контроля каждого параметра резьбы в отдельности (среднего диаметра, шага и угла профиля) трудоемок, поэтому его применяют для точных резьб: ходовых винтов, резьбовых калибров, метчиков и т. п. По результатам контроля отдельных параметров можно вычислить комплексный параметр, например, приведенный средний диаметр резьбы. Комплексный контроль резьб выполняют либо с помощью предельных калибров, либо с помощью проекторов и шаблонов с предельными контурами.

В системах допусков резьбовых калибров устанавливается ГОСТ 24997—2004. Поля допусков для резьбовых калибров строят так же, как и для гладких изделий, но отдельно по каждому из трех диаметров. В отличие от резьбовых деталей допуски для резьбовых калибров установлены раздельно на каждого параметра резьбы.

Основные параметры резьбы: собственно средний диаметр, наружный и внутренний диаметры, шаг и угол профиля можно контролировать с помощью универсальных или специализированных контрольных средств. Средний диаметр наружной резьбы контролируют с помощью универсаль-

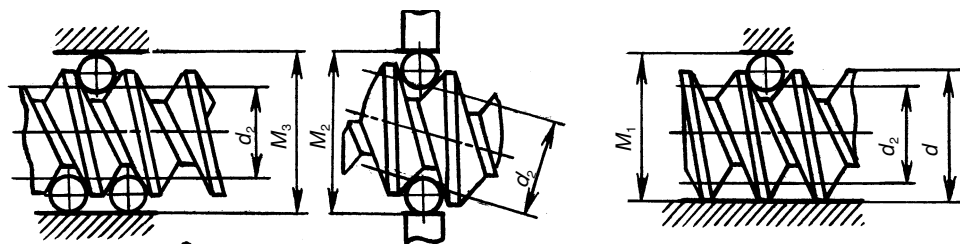


Рис. 10.8. Метод измерения среднего диаметра с помощью проволочек

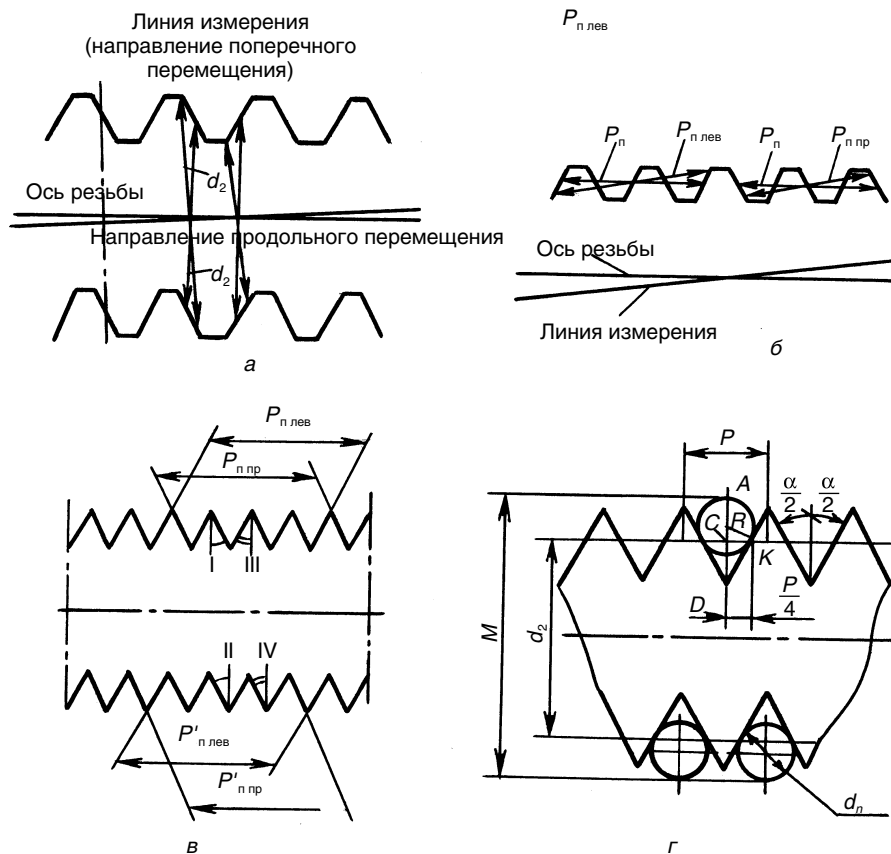


Рис. 10.9. Схемы измерения параметров резьбы: а — среднего диаметра; б — шага; в — половины угла профиля; г — среднего диаметра тремя проволочками

ных средств без дополнительных приспособлений или с использованием резьбовых вставок, ножей, проволочек, роликов, а для внутренней резьбы — еще и шариков или оттисков. Для измерения среднего диаметра наружной резьбы часто применяют метод трех, двух или одной проволочек. Цилиндрические элементы заданного диаметра (проволочки) закладывают во впадины резьбы, измеряют размер  $M$ , зависящий от среднего диаметра резьбы  $d_2$  и диаметра  $d_n$  проволочек (рис. 10.8).

Измерение размера  $M$  можно проводить различными средствами, например, используют длиномеры; оптиметры, микрометры и др.

Шаг резьбы измеряют с помощью универсальных или специальных средств. Из универсальных средств используют главным образом микроскопы, перекрестия которых последовательно наводят на правые и левые стороны профиля резьбы. Это делается для того, чтобы исключить погрешность от перекоса оси резьбы относительно линии измерения в горизонтальной и вертикальной плоскостях. Шаг необходимо измерять по правым и по левым сторонам профиля и с обеих его сторон для повышения точности измерений. На рис. 10.9 показаны схемы измерения указанных параметров.

Шаг резьбы можно измерять также методом сравнения либо с образцовой деталью, либо со штриховой мерой. Современные информационно-измерительные приборы позволяют измерять все параметры резьбы и проводить анализ полученной информации с использованием компьютера.

# ГЛАВА 11

## СТАНДАРТИЗАЦИЯ И КОНТРОЛЬ НОРМ ТОЧНОСТИ ЗУБЧАТЫХ КОЛЁС И ПЕРЕДАЧ, ДОПУСКИ ШЛИЦЕВЫХ СОЕДИНЕНИЙ

### 11.1. ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ЗУБЧАТЫМ ПЕРЕДАЧАМ

Наибольшее распространение в машиностроении получили цилиндрические зубчатые и червячные передачи, а также конические и гипоидные зубчатые передачи. По эксплуатационному назначению все зубчатые передачи можно разделить на четыре основные группы: отсчетные, скоростные, силовые и общего назначения.

К *отсчетным* относятся зубчатые передачи измерительных приборов, делительных механизмов металлорежущих станков и делительных машин, следящих систем и т.п. В большинстве случаев колеса этих передач имеют малый модуль и работают при малых нагрузках и скоростях. Основным эксплуатационным показателем делительных и других отсчетных передач является высокая кинематическая точность, т.е. точная согласованность углов поворота ведущего и ведомого колес передачи. Для реверсивных отсчетных передач существенное значение имеет величина бокового зазора в передаче и колебание этой величины.

*Скоростными* являются зубчатые передачи турбинных редукторов, двигателей турбовинтовых самолетов и др. Окружные скорости зубчатых колес таких передач могут достигать 60 м/с при сравнительно большой передаваемой мощности (до 40 000 кВт). Их основной эксплуатационный показатель — плавность работы, т.е. отсутствие циклических погрешностей, многократно повторяющихся за оборот колеса. С увеличением скорости вращения требования к плавности работы повышаются. Передача должна работать бесшумно и без вибраций, что может быть достигнуто при минимальных погрешностях формы и взаимного расположения зубьев. Для тяжело нагруженных скоростных зубчатых передач имеет значение также полнота контакта зубьев. Колеса таких передач обычно имеют средние величины модулей. Для них часто ограничивают также интенсивность шума работающей передачи: вибрацию, статическую и динамическую неуравновешенность вращающихся масс и т.п. К *силовым* относятся зубчатые пе-

редачи, передающие значительные крутящие моменты и работающие при малых числах оборотов (зубчатые передачи шестеренных клеток прокатных станков, подъемно-транспортных механизмов и др.). Колеса для таких передач изготавливают с большим модулем. Основное эксплуатационное требование к ним — высокая прочность зубьев, что достигается обеспечением более полного использования активных боковых поверхностей зубьев, т.е. получение наибольшего пятна контакта зубьев. К передачам *общего назначения* не предъявляются повышенные требования по точности отдельных показателей.

## 11.2. СИСТЕМЫ ДОПУСКОВ ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ

В основу построения систем допусков цилиндрических зубчатых и червячных передач, а также конических и гипоидных зубчатых передач положены общие принципы и закономерности. Допуски этих передач установлены стандартами ГОСТ 1643—81, ГОСТ 3675—81, ГОСТ 1758—81.

ГОСТ 1643—81 распространяется на эвольвентные цилиндрические зубчатые колеса и передачи внешнего и внутреннего зацепления с прямыми зубьями, косозубыми и шевронными зубчатыми колесами с делительным диаметром до 6300 мм, шириной зубчатого венца или полусшеврона до 1250 мм, модулем зубьев от 1 до 55 мм, с исходным контуром по ГОСТ 13755—81. ГОСТ 3675—81 распространяется на червячные цилиндрические передачи и червячные пары (поставляемые без корпуса) с архимедовыми червяками *ZA*, эвольвентными червяками *ZI*, конволютными червяками *ZN* всех типов и с червяками типов *ZK*, образованными конусом с межосевым углом, равным  $90^\circ$ , с модулем от 1 до 25 мм, с делительным диаметром червяка до 450 мм и делительным диаметром червячного колеса до 6300 мм. ГОСТ 1758—81 распространяется на конические и гипоидные зубчатые передачи и пары (поставляемые без корпуса) внешнего зацепления с прямыми, тангенциальными и криволинейными зубьями со средним делительным диаметром зубчатых колес до 4000 мм, средним нормальным модулем от 1 до 56 мм, с прямолинейным профилем исходного контура и номинальным углом его профиля  $20^\circ$ .

Стандартами установлены двенадцать степеней точности колес (червяков) и передач, обозначаемых в порядке убывания точности цифрами 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12.

Для степеней точности 1 и 2 цилиндрических зубчатых колес и передач, а также степеней точности 1, 2 и 3 конических гипоидных зубчатых передач допуски и предельные отклонения в стандартах не даны. Эти степени предусмотрены для будущего развития.

Для каждой степени точности зубчатых (червячных) колес, червяков, зубчатых (червячных) передач или пар устанавливаются нормы: *кинематической точности, плавности работы и контакта зубьев* зубчатых колес (зубьев и витков червячного колеса и червяка) в передаче.

Терминология, а также общие понятия, относящиеся к погрешностям и допускам зубчатых передач, даны в ГОСТ 1643—81.

### Кинематическая точность

Для обеспечения кинематической точности предусмотрены нормы, ограничивающие кинематическую погрешность передачи и кинематическую погрешность колеса. *Кинематическая погрешность передачи* определяется как разность между действительным  $\varphi_{2r}$  и номинальным (расчетным)  $\varphi_{20}$  углами поворота ведомого зубчатого (червячного) колеса передачи; она выражается в линейных величинах длиной дуги его делительной окружности, т.е. равна  $(\varphi_{2r} - \varphi_{20})r$ , где  $r$  — радиус делительной окружности ведомого колеса (рис. 11.1). В червячных передачах, если нет оговорок, ведомым считают червячное колесо.

*Кинематическая погрешность зубчатого (червячного) колеса* определяется как разность между действительным и номинальным (расчетным) углами поворота зубчатого (червячного) колеса на его рабочей оси (ось, на которой колесо вращается в передаче), ведомого измерительным колесом (червяком) при номинальном взаимном положении осей вращения этих колес (червячного колеса и червяка). Она также выражается в линейных

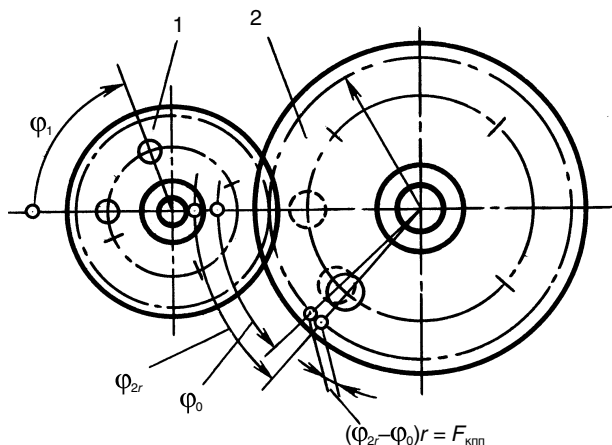


Рис. 11.1. Схема определения кинематической погрешности зубчатой передачи

величинах длиной дуги делительной окружности. При значении требований к точности колеса относительно другой оси (например, оси отверстия под вал, которая может не совпадать с рабочей осью), погрешность колеса будет другой, что должно учитываться при установлении точности передач. При использовании в качестве измерительной базы поверхностей с отклонениями формы и расположения относительно рабочей оси вращения последние следует учитывать при выборе соответствующих допусков или компенсировать их уменьшением производственного допуска.

Показателем кинематической точности передачи является наибольшая кинематическая погрешность передачи  $F'_{ior}$ , которая равна наибольшей алгебраической разности значений кинематической погрешности передачи за полный цикл измерения относительного положения зубчатых колес (рис. 11.2, а). Полный цикл совершается при повороте большого зубчатого колеса (червячного колеса) на угол  $\varphi_2$ , равный частному от деления числа зубьев меньшего колеса (числа витков червяка)  $z_1$  на наибольший общий делитель  $x$  чисел зубьев (витков)  $z_1$  и  $z_2$ , т.е.  $\varphi_2 = 2\pi \frac{z_1}{x}$ .

Например,  $z_1=40$ ,  $z_2=60$ ,  $x=20$ , тогда  $\varphi_2 = 2\pi \frac{40}{20} = 4\pi$ . Наибольшая кинематическая погрешность передачи ограничена допуском  $F'_{ir}$ . Допуски на наибольшую кинематическую погрешность передач в стандартах не приведены, они могут быть определены расчётом.

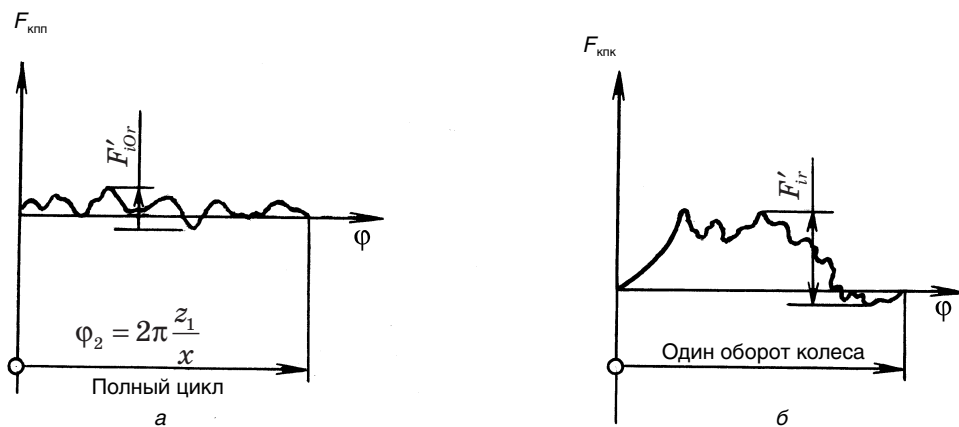


Рис. 11.2. График кинематической погрешности: а — передачи; б — колеса

Показателем кинематической точности зубчатого (червячного) колеса является наибольшая кинематическая погрешность зубчатого (червячного) колеса  $F'_{ir}$ , которая равна наибольшей алгебраической разности значений кинематической погрешности зубчатого (червячного) колеса за один полный оборот (рис. 11.2, б).  $F'_{ir}$  является комплексной погрешностью колеса. Погрешность  $F'_{ir}$  ограничена допуском на наибольшую погрешность колеса  $F'_i$ . В стандартах его величина не дается, она определяется расчётом.

Кинематическая точность передачи любого типа зависит от следующих погрешностей параметров зубчатого (червячного) колеса: накопленной погрешности  $k$  шагов, накопленной погрешности шага, погрешности обката. Кроме того, составляющими кинематической погрешности в зависимости от типа передачи являются также: для цилиндрических зубчатых передач — колебание длины нормали, для цилиндрических зубчатых и червячных передач — радиальное биение зубчатого венца, колебание измерительного межосевого расстояния за оборот колеса, а для конических и гипоидных передач — биение зубчатого венца, колебание измерительного межосевого угла пары (измерительной пары), колебание относительного положения зубчатых колес пары (измерительной пары), колебание бокового зазора в передаче.

*Накопленная погрешность  $k$  шагов  $F_{pkr}$*  — кинематическая погрешность на  $k$  целых угловых шагов, определяется из выражения

$$F_{pkr} = \left( \varphi - \frac{2\pi}{z} k \right) r,$$

где  $\varphi$  — действительный угол поворота колеса, соответствующий  $k$  угловым шагам;  $z$  — число зубьев колеса;  $r$  — радиус делительной окружности;  $k$  — число целых угловых шагов от 2 до  $z/2$ ;  $\frac{2\pi}{z} k$  — номинальный угол поворота колеса.

Допуск на накопленную погрешность  $k$  шагов  $F_{pk}$  при отсутствии специальных требований назначают для длины дуги, соответствующей  $z/6$  или ближайшему целому числу.

*Накопленная погрешность зубчатого (червячного) колеса  $F_{pr}$*  — наибольшая алгебраическая разность значений накопленных погрешностей, найденных для всех значений  $k$  в пределах от 2 до  $z/2$  (рис. 11.3). Допуск на накопленную погрешность шага колеса обозначают  $F_p$ . Допуски  $F_p$  для червячных и конических колес в стандартах не приведены. Их принимают равными допускам  $F_{pk}$ , соответствующим  $k = \frac{z}{2}$  или ближайшему целому числу. Величина накопленной погрешности шага  $F_{pr}$  в большинстве случа-

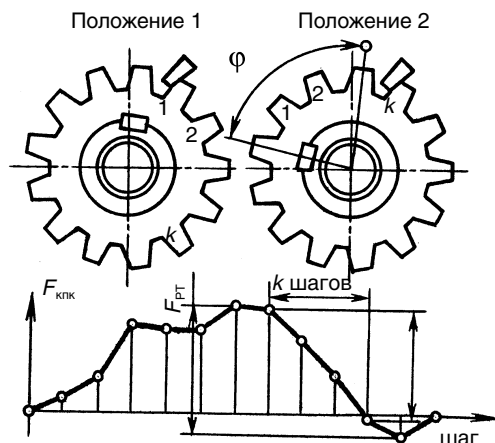


Рис. 11.3. Накопленные погрешности шага по зубчатому колесу  $F_{pr}$  и на  $k$  шагах  $F_{pkr}$

ев составляет 70–80% от величины наибольшей кинематической погрешности колеса  $F'_{ir}$ . Накопленная погрешность шага колеса  $F_{pr}$  образуется в основном вследствие монтажного эксцентриситета зубчатого (червячного) колеса и погрешности обката.

Погрешность обката  $F_{cr}$  — составляющая часть кинематической погрешности зубчатого (червячного) колеса, определяемая при его вращении на технологической оси при исключении циклических погрешностей зубцовой частоты и кратных ей более высоких частот. Под технологической понимают ось колеса, вокруг которой оно вращается в процессе окончательной механической обработки зубьев по обеим их сторонам. Погрешность обката возникает из-за неточностей червячного делительного колеса станка, вызывающих несогласованность угловых поворотов, обрабатываемого колеса и перемещения зубообрабатывающего инструмента. Поэтому  $F_{cr}$  можно определить как кинематическую погрешность делительной цепи зуборезного станка, используемого для окончательной обработки зубьев. Погрешность обката ограничивается допуском  $F_c$ .

Радиальное биение зубчатого венца  $F_{rr}$  для цилиндрических зубчатых колес — наибольшая в пределах зубчатого колеса разность расстояний от его рабочей оси до делительной прямой элемента нормального исходного контура одиночного зуба или впадины, условно наложенного на профили зубьев колеса (рис. 11.4):

Радиальное биение зубчатого венца колеса  $F_{rr}$  для червячных колес — наибольшая в пределах червячного колеса разность расстояний от его рабочей оси до контактной хорды впадины в нормальном ее сечении. Контактная хорда соединяет потенциальные контактные точки, лежащие на разноименных боковых поверхностях впадины.

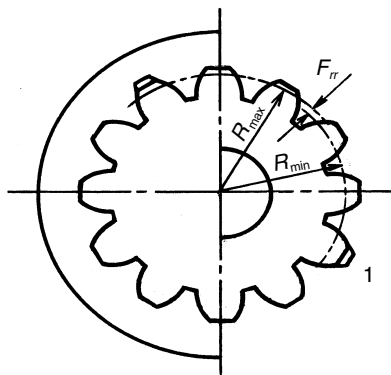


Рис. 11.4. Радиальное биение зубчатого венца  $F_r$ :  
1 — элемент нормального исходного контура

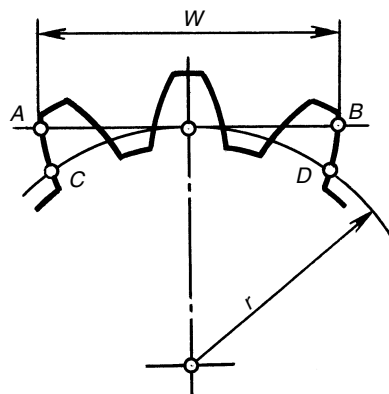


Рис. 11.5. Длина общей нормали  $W$

Биение зубчатого венца  $F_r$  для конических и гипоидных колес — наибольшая в пределах зубчатого колеса разность расстояний от его рабочей оси до элемента нормального исходного контура одиночного зуба или впадины, наложенного на профили зубьев колеса и определяемая в направлении, перпендикулярном образующей делительного конуса на среднем конусном расстоянии.

Погрешность  $F_r$  вызывается неточным совмещением рабочей оси колеса с технологической осью при зубообработке, а также радиальным биением делительного колеса станка. Допуск параметра обозначают  $F_r$ .

Колебание длины общей нормали  $F_{vWr}$  для цилиндрических зубчатых колес — разность между максимальным  $W_{max}$  и минимальным  $W_{min}$  длинами общей нормали в одном и том же зубчатом колесе:  $F_{vWr} = W_{max} - W_{min}$ . Длина общей нормали  $W$  — это расстояние между двумя параллельными плоскостями, касательными к двум разноименным активным боковым поверхностям A и B зубьев колеса (рис. 11.5). Общая нормаль к эвольвентным профилям является одновременно касательной к основной окружности. Погрешность  $F_{vWr}$  ограничена допуском  $F_{vW}$ . Колебание длины общей нормали зависит от тангенциальной составляющей погрешности обката при обработке зубчатого колеса.

Колебание измерительного межосевого расстояния за оборот колеса  $F_{ir}$  для цилиндрических зубчатых и червячных передач — разность между наибольшим и наименьшим действительными межосевыми расстояниями при беззазорном (двухпрофильном) зацеплении измерительного зубчатого колеса с контролируемым колесом при повороте последнего на полный оборот или на один угловой шаг (рис. 11.6). Номинальным измерительным

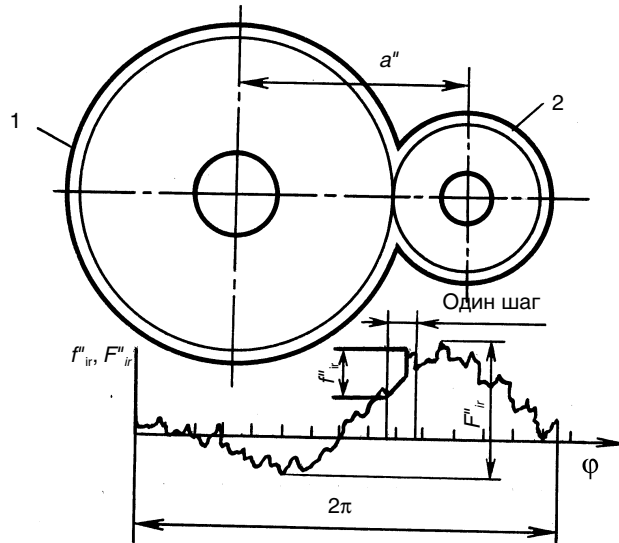


Рис. 11.6. График колебания измерительного межосевого расстояния за оборот  $F''_{ir}$  и на одном зубе  $f''_{ir}$ : 1 — контролируемое колесо; 2 — измерительное колесо

межосевым расстоянием для цилиндрических зубчатых колес является расчетное расстояние между осями измерительного и проверяемого колеса, имеющего наименьшее дополнительное смещение исходного контура. Для червячных колес измерительное межосевое расстояние определяется при зацеплении с измерительным червяком, имеющим номинальную толщину витка и лишенным погрешностей. Сопряженные зубья находятся в плотном двухпрофильном зацеплении. В обоих случаях  $F''_{ir}$  является комплексной радиальной погрешностью и определяется теми же факторами, что и кинематическая погрешность зубчатого (червячного) колеса, за исключением погрешности обката. Допуск показателя  $F''_{ir}$  обозначают  $F''_i$ .

Колебание измерительного межосевого угла пары (измерительной пары) конических колес за полный цикл  $F''_{i\sigma r}$  (за полный оборот зубчатого колеса  $F''_{i\sigma r}$ ) определяется разностью наибольшего и наименьшего измерительных межосевых углов за полный цикл (за полный оборот колеса) при безззорном зацеплении (рис. 11.7).  $F''_{i\sigma r}$  и  $F''_{i\sigma r}$  определяют как линейные величины на среднем конусном расстоянии.

Колебание относительного положения конических зубчатых колес пары (измерительной пары) по нормали за полный цикл  $F''_{inor}$  (за полный оборот зубчатого колеса  $F''_{inr}$ ) определяется разностью положений одного

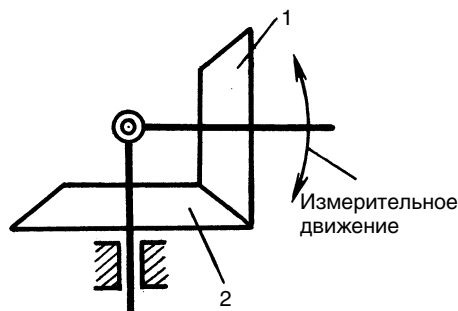


Рис. 11.7. Колебание измерительного межосевого угла пары конических колёс:  
1 — контролируемое колесо; 2 — второе контролируемое колесо или измерительное колесо

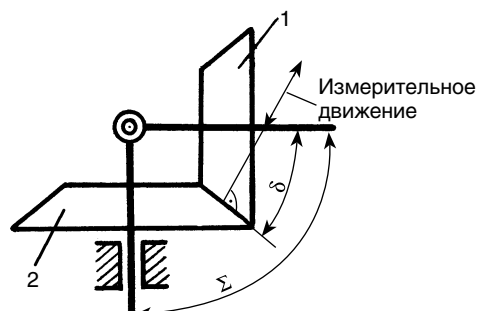


Рис. 11.8. Колебание относительного положения конических зубчатых колёс пары по нормали:  
1 — контролируемое колесо; 2 — второе контролируемое колесо или измерительное колесо

колеса пары относительно другого. Показатели  $F''_{inor}$  и  $F''_{inr}$  определяются в направлении, перпендикулярном плоскости, проходящей через образующую начальных конусов и касательную к ним (рис. 11.8). Колебание бокового зазора в передаче  $F_{vjr}$  для конических зубчатых передач определяется разностью наибольшего и наименьшего боковых зазоров в пределах полного цикла. Цикл взаимного поворота колес для показателей  $F''_{i\sigma or}$ ,  $F''_{i\sigma r}$ ,  $F''_{inor}$ ,  $F''_{inr}$  и  $F_{vjr}$  находится так же, как для показателя  $F'_{ior}$ . Допуски этих показателей обозначают  $F''_{i\sigma o}$ ,  $F''_{i\sigma}$ ,  $F''_{ino}$ ,  $F''_{in}$ ,  $F_{vj}$ .

Кинематическая точность колес может быть повышена путем снижения радиального биения колеса и обработки его на станке с повышенной кинематической точностью при точном центрировании заготовки в процессе нарезания и шлифования зубьев. Шевингование колес не уменьшает их кинематическую погрешность.

### Плавность работы

Плавность работы передач определяется такими параметрами погрешности, которых многократно (циклически) проявляются за оборот зубчатого (червячного) колеса. Они составляют часть кинематической погрешности. Аналитически или при помощи анализаторов кинематическую погрешность можно представить в виде спектра гармонических составляющих, амплитуда и частота которых зависят от характера составляющих погрешностей. Например, отклонения шага вызывают колебания кинема-

тической погрешности с частотой, равной частоте входа в зацепление зубьев колес. Такую частоту называют *зубцовой*.

Для ограничения циклических погрешностей, нарушающих плавность работы передачи, стандартами установлены допуски на амплитуды гармонических составляющих кинематической погрешности:  $f_{zko}$  — допуск на циклическую погрешность передачи;  $f_{zh}$  — допуск на циклическую погрешность колеса.

Под циклической погрешностью передачи  $f_{zko}$  (рис. 11.9, а) и зубчатого (червячного) колеса  $f_{zkr}$  (рис. 11.9, б) понимается удвоенная амплитуда гармонической составляющей кинематической погрешности соответственно передачи и колеса. Допуски  $f_{zko}$  и  $f_{zh}$ , заданные в стандартах, рассчитаны для разных частот.

Для ограничения циклической погрешности с частотой повторения, равной частоте входа зубьев в зацеплении  $f_{zko}$ , установлен допуск на *циклическую погрешность зубцовой частоты в передаче*  $f_{zko}$ . Циклическая погрешность зубцовой частоты является главной причиной нарушения плавности зубчатых передач, состоящих из прямозубых колес.

Циклическая погрешность зубчатого (червячного) колеса возникает из-за биения червяка делительной пары станка, биения и перекоса фрезы, а также неточностей станка и инструмента, вызывающих погрешность профиля зубьев колес.

Местная кинематическая погрешность колеса  $f_{lr}$  для цилиндрических зубчатых колес — наибольшая разность между местными соседними экс-

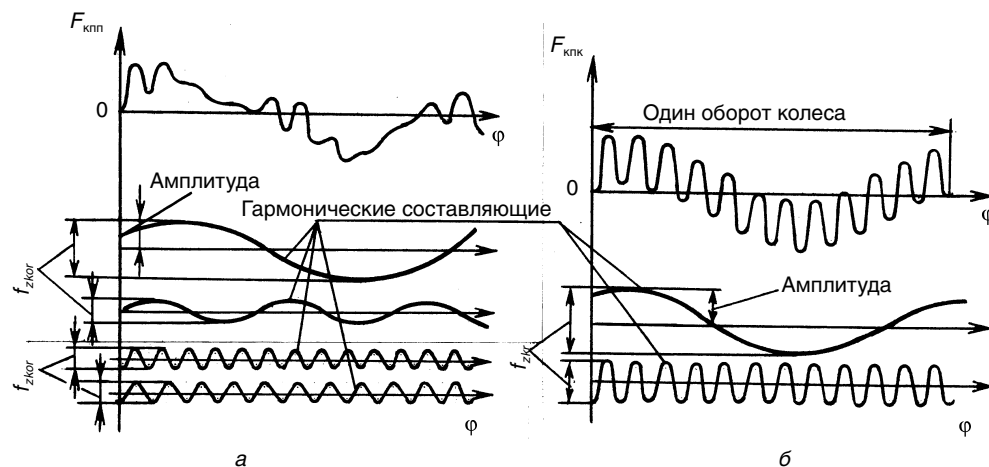


Рис. 11.9. График кинематической погрешности и её гармонические составляющие: а — для передачи; б — для колеса

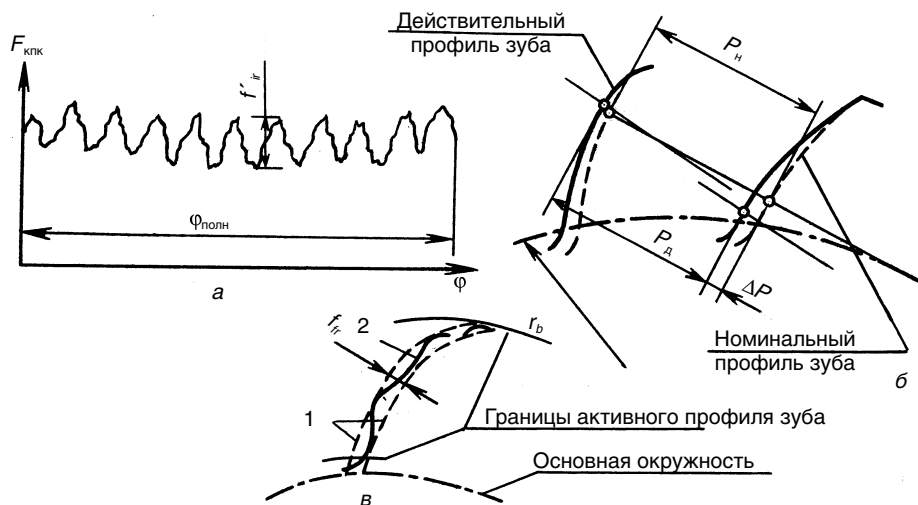


Рис. 11.10. Погрешности зубчатого колеса, влияющие на плавность работы: а — местная кинематическая погрешность  $f'_{ir}$ ; б — отклонение шага зацепления  $f_{pbr}$ ; в — погрешность профиля зуба  $f_{ir}$

тремальными (максимальными и минимальными) значениями кинематической погрешности зубчатого колеса (рис. 11.10, а). Допуск показателя  $f'_{ir}$  обозначают —  $f'_i$ .

Показателем плавности работы зубчатого (червячного) колеса является отклонение шага. Установлены верхнее и нижнее предельные отклонения шага  $\pm f_{pt}$ . Под *отклонением шага*  $f_{ptr}$  понимается кинематическая погрешность зубчатого (червячного) колеса при его повороте на один номинальный угловой шаг, т.е.  $f_{ptr} = (\varphi - 2\pi/z)r$ . Кроме перечисленных выше показателей, характеризующих плавность работы зубчатых передач всех типов, для каждого типа существуют свои специфические показатели. *Отклонение шага зацепления*  $f_{pbr}$  для цилиндрических зубчатых колес — разность между действительным и номинальным шагом зацепления. Действительный шаг зацепления равен расстоянию между двумя параллельными плоскостями, касательными к двум одноименным активным боковым поверхностям соседних зубьев зубчатого колеса. Его определяют в сечении, перпендикулярном к направлению зубьев в плоскости, касательной к основному цилиндру (рис. 11.10, б). Предельные отклонения шага зацепления обозначают  $\pm f_{pb}$ .

В колесах, получаемых методом обката, отклонение шага зацепления зависит главным образом от погрешности того же элемента нарезающего

инструмента (червяной фрезы, долбяка, гребенки), которая переносится на обрабатываемое колесо. Незначительное влияние оказывает точность делительной цепи станка. При наличии отклонений  $f_{pbr}$  пересопряжение зубьев сопровождается ударами, повышенным шумом, передача работает неплавно. При этом увеличивается неравномерность нагрузки зубьев, что снижает их долговечность.

*Разность шагов  $f_{vptr}$  для цилиндрических зубчатых колес* — разность между отклонениями шагов на любых участках зубчатого колеса. Допуск показателя  $f_{vptr}$  обозначают —  $f_{vpt}$ .

*Погрешность профиля  $f_{fr}$  для цилиндрических зубчатых и червячных колес* — расстояние по нормали между двумя ближайшими номинальными торцовыми профилями 1, между которыми размещается действительный торцевой активный профиль 2 зуба колеса (рис. 11.10, в). Под действительным торцовым профилем зуба понимают линию пересечения действительной боковой поверхности зуба зубчатого (червячного) колеса плоскостью, перпендикулярной к его рабочей оси. Для червячных колес этот показатель обозначают  $f_{f2r}$ . Погрешность профиля витка червяка  $f_{f1r}$  определяется в плоскости, касательной к направляющему цилиндру червяка, причем для архимедова червяка радиус этого цилиндра равен нулю, для эвольвентного — радиусу основного цилиндра. Допуски обозначаются  $f_f$ , а для червячного колеса и червяка соответственно  $f_{f2}$  и  $f_{f1}$ . Погрешность профиля вызывает неравномерность движения, дополнительные динамические нагрузки, а также уменьшает поверхность контакта зубьев.

*Колебание измерительного межосевого расстояния на одном зубе  $f''_{ir}$  для цилиндрических зубчатых и червячных колес* определяется аналогично показателю кинематической точности  $F''_{ir}$ , но при повороте колеса на один зуб. Допуск обозначается —  $f''_i$ .

На плавность работы червячных передач оказывают влияние накопления погрешность  $k$  шагов червяка  $f_{pxkr}$  (допуск  $f_{pxk}$ ), радиальное биение червяка  $f_{rr}$  (допуск —  $f_r$ ), которые определяются аналогично соответствующим показателям кинематической точности  $F_{pkr}$  и  $F_{rr}$ , отклонение осевого шага червяка  $f_{pxr}$  (рис. 11.11) (предельные отклонения  $\pm f_{pxr}$ ), определяемое аналогично показателю  $f_{ptr}$ , а также погрешности винтовой линии, ее форма и расположение на поверхности червяка.

*Погрешность винтовой линии в пределах оборота  $f_{hr}$  и на длине нарезной части червяка  $f_{hkr}$*  — расстояние по нормали между двумя номинальными винтовыми линиями, лежащими на соосном цилиндре, близком к делительному цилиндру червяка. Допуски обозначаются — соответственно  $f_h$  и  $f_{hk}$ .

*Погрешность формы и расположения винтовой поверхности червяка  $f_{hsr}$*  — наибольшее в пределах активной поверхности витка червяка рассто-

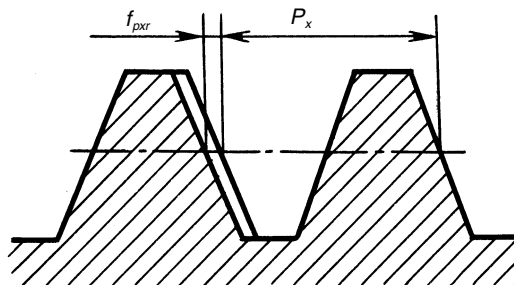


Рис. 11.11. Отклонение осевого шага червяка  $f_{px}$

яние по нормали между активной поверхностью червяка и условно соприкасающейся с ней соосно расположенной производящей поверхностью червячной фрезы. Допуск на эту погрешность —  $f_{hs}$ .

Показатели плавности работы конических колес: колебание измерительного межосевого угла пары  $f''_{i\Sigma or}$  (измерительной пары  $f''_{i\Sigma r}$ ) и колебание относительного положения зубчатых колес пары на одном зубе  $f''_{inor}$  (измерительной пары  $f''_{inr}$ ) определяются аналогично соответствующим показателям кинематической точности  $F''_{i\Sigma or}$ ,  $F''_{i\Sigma r}$ ,  $F''_{inor}$ ,  $F''_{inr}$ . Допуски на показатели  $f''_{i\Sigma or}$ ,  $f''_{i\Sigma r}$ ,  $f''_{inor}$ ,  $f''_{inr}$  обозначены соответственно  $f''_{i\Sigma o}$ ,  $f''_{i\Sigma}$ ,  $f''_{ino}$ ,  $f''_{in}$ .

Для конических колес устанавливаются также допуск  $f_c$  на погрешность обката зубцовой частоты и предельные осевые смещения зубчатого венца  $\pm f_{AM}$ .

Погрешность обката зубцовой частоты  $f_{ct}$  для конических колес является составляющей кинематической погрешности колеса по частоте, равная зубцовой или более высокой, кратной ей. Показатель  $f_{ct}$  определяется на технологической оси при исключении влияния погрешности производящей поверхности инструмента или как погрешность кинематической цепи станка. Осевое смещение зубчатого венца  $f_{AMr}$  для конических передач (рис. 11.12) определяется величиной смещения зубчатого венца

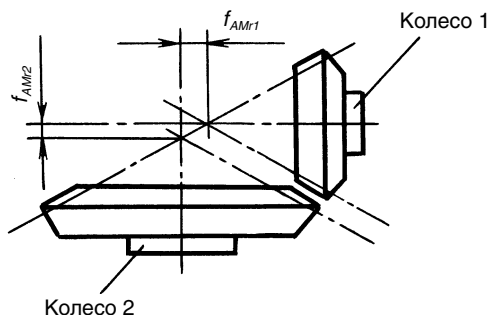


Рис. 11.12. Осевые смещения зубчатого венца  $f_{AMr1}$  и  $f_{AMr2}$

вдоль оси при монтаже передачи от положения, при котором плавность работы и пятно контакта являются наилучшими.

Приведенные выше погрешности, многократно периодически проявляющиеся за оборот колеса, снижают долговечность скоростных и особенно тяжелонагруженных скоростных передач (например, турбинных редукторов). Они вызывают повторяющиеся разрывы контакта сопряженных зубьев, крутильные колебания привода, поперечные колебания валов и вибрацию всего агрегата. Этому сопутствует шум высокого уровня, который увеличивается с увеличением скорости вращения передачи. Чтобы повысить плавность передачи, целесообразно повышать точность зуборезного инструмента и точность червяка, сопряженного делительным колесом станка, а также применять шевингование и зубохонингование колес.

### Контакт зубьев

Долговечность и износостойкость зубчатых передач зависят от полноты контакта сопряженных боковых поверхностей зубьев колес. При неполном прилегании зубьев уменьшается несущая площадь поверхности их контакта, неравномерно распределяются контактные напряжения и смазка, что приводит к интенсивности износу зубьев. Для обеспечения требуемой полноты контакта зубьев в передаче установлены наименьшие размеры суммарного пятна контакта.

*Суммарным пятном контакта* называют часть активной боковой поверхности зуба колеса, на которой располагаются следы прилегания его к зубьям парного колеса после вращения собранной передачи при непрерывном контактировании зубьев обоих колес. Для червячных передач суммарное пятно контакта определяется по следам прилегания зуба червячного колеса и червяка. Вращение передачи осуществляется при легком торможении или, если это специально оговорено, под нагрузкой.

Для конических колес суммарное пятно контакта, полученное при легком торможении при условии непрерывного контактирования, называют *суммарной зоной касания*.

Суммарное пятно (зону касания) (рис. 11.13) определяют по относительным размерам в %: по длине зуба — отношением расстояния  $a$  между крайними точками следов прилегания за вычетом разрывов  $c$ , превосходящих величину модуля (в мм), к длине зуба  $b$ , т.е.  $(a - c)/b \cdot 100\%$ ; по высоте зуба — отношением средней (по всей длине зуба) высоты следов прилегания  $h_m$  к высоте зуба соответствующей активной боковой поверхности  $h_p$ , т.е.  $\frac{h_m}{h_p} 100\%$ , или по отклонениям относительных размеров суммарного

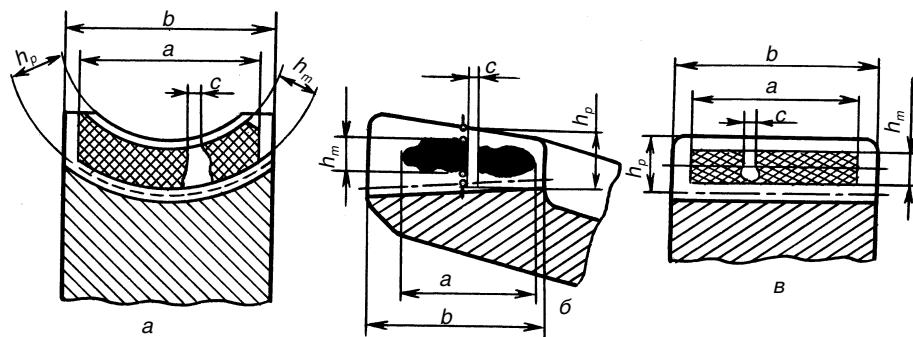


Рис. 11.13. Пятно контакта зубьев в передаче: а — червячного колеса; б — конического зубчатого колеса; в — цилиндрического зубчатого колеса

пятна контакта по длине  $F_{slr}$  и по высоте  $F_{shr}$ . Отклонения суммарной зоны касания обозначают соответственно  $F_{slr}$  и  $F_{shr}$ . Предельные отклонения обозначают  $F_{sl}$  и  $F_{sh}$ , а для зоны касания —  $F_{sl}$  и  $F_{sh}$ .

Показателем полноты контакта является также мгновенное пятно контакта. *Мгновенное пятно контакта* — это часть активной боковой поверхности зуба большого зубчатого колеса передачи, на которой располагаются следы его прилегания к зубьям меньшего зубчатого колеса, покрытым красителем, после поворота большого зубчатого колеса на полный оборот при легком торможении, обеспечивающем непрерывное контактирование зубьев обоих колес.

Предельные относительные размеры мгновенного пятна контакта зубьев цилиндрических зубчатых передач 7–11-й степеней точности с числом зубьев колеса, не равным и не кратным числу зубьев шестерни, допускается уменьшать по отношению к соответствующим предельным относительным размерам суммарного пятна контакта, но не более чем на 25%. При контроле полноты контакта с измерительным зубчатым колесом относительные размеры суммарного пятна контакта должны быть соответственно увеличены.

На полноту контакта колес влияют в зависимости от типа передачи погрешности формы и расположения зубьев, а также погрешности монтажа.

**Цилиндрические зубчатые передачи.** Для косозубых колёс устанавливается отклонение осевых шагов по нормали  $F_{pxnr}$  — разность между действительным осевым расстоянием зубьев и суммой соответствующего числа номинальных осевых шагов, умноженная на синус угла наклона де-

лительной линии зуба  $\beta$ , т.е.  $F_{pxnr} = x \sin \beta$  (рис. 11.14, а). Под действительным осевым расстоянием зубьев понимают расстояние между одноименными линиями зубьев косозубого зубчатого колеса по прямой, параллельной рабочей оси. Расстояние между одноименными линиями соседних зубьев является действительным осевым шагом. Предельные отклонения осевых шагов  $\pm F_{pxn}$ .

Погрешность формы и расположения контактной линии (потенциальной)  $F_{kr}$  — расстояние по нормали между двумя ближайшими номи-

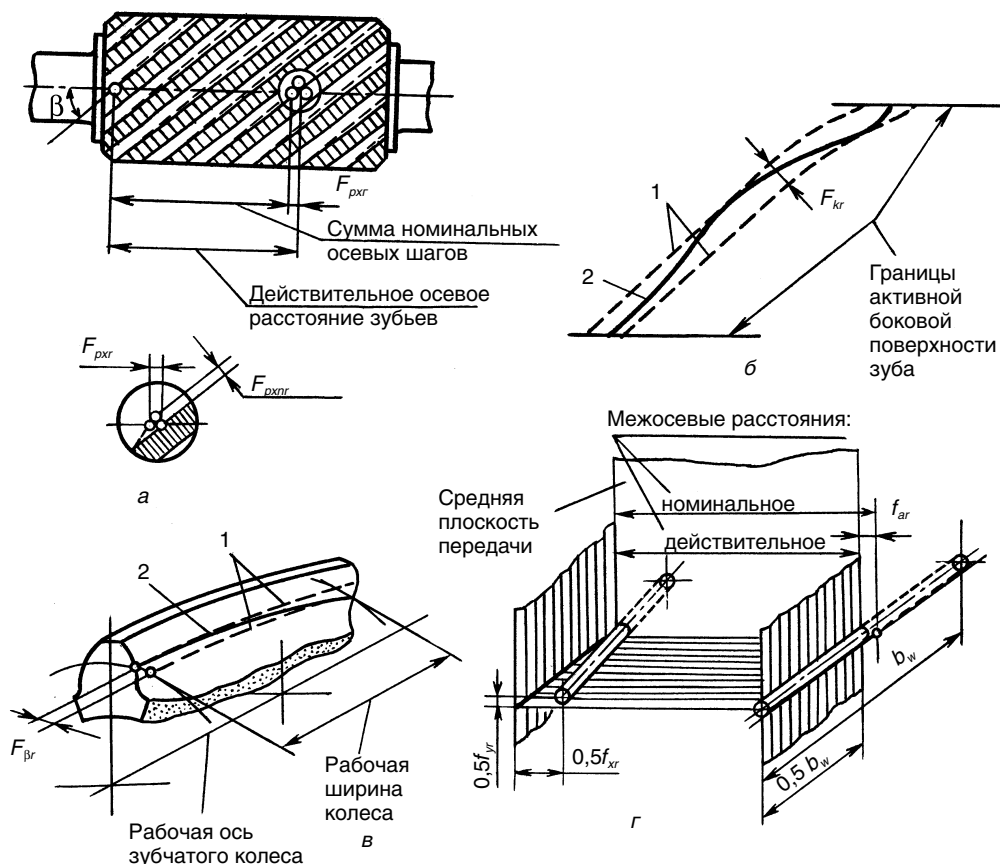


Рис. 11.14. Погрешности, влияющие на полноту контакта зубьев в цилиндрической зубчатой передаче: а — отклонение осевых шагов по нормали  $F_{pxnr}$ ; б — погрешность формы и расположения контактной линии  $F_{kr}$ ; в — погрешность направления зуба  $F_{\beta r}$ ; г — отклонение от параллельности осей  $f_{xr}$ , перекос осей  $f_{yr}$ , отклонение межосевого расстояния  $f_{ar}$

нальными потенциальными контактными линиями 1 (рис. 11.14, б), условно положенными на плоскость (поверхность) зацепления, между которыми размещается действительная потенциальная контактная линия 2 на активной боковой поверхности зуба. Под потенциальной контактной линией понимают линию пересечения поверхности зуба поверхностью зацепления. Допуск на погрешность формы и расположения контактной (потенциальной) линии —  $F_k$ .

*Погрешностью направления зуба  $F_{\beta r}$*  называют расстояние по нормали между двумя ближайшими номинальными делительными линиями зуба 1 (рис. 11.14, в), между которыми размещается действительная делительная линия зуба 2, соответствующая рабочей ширине венца. Под действительной делительной линией зуба понимают линию пересечения действительной боковой поверхности зуба колеса делительным цилиндром, ось которого совпадает с рабочей осью. Допуск обозначают  $F_{\beta}$ .

*Непараллельность осей (отклонение от параллельности)  $f_{xr}$*  — отклонение от параллельности проекций рабочих осей зубчатых колес в передаче на плоскость, в которой лежит одна из осей и точка второй оси в средней плоскости передачи (рис. 11.14, г). Под средней плоскостью передачи понимают плоскость, проходящую через середину рабочей ширины венца или (для шевронной передачи) через середину расстояния между внешними торцами, ограничивающими рабочую ширину полушевроннов. *Перекос осей  $f_{yr}$*  — отклонение от параллельности рабочих осей зубчатых колес в передаче на плоскость, проходящую через одну из осей и перпендикулярную к плоскости, в которой лежит эта ось и точка второй оси в средней плоскости передачи. Непараллельность и перекос определяются в линейных единицах на длине, равной рабочей ширине венца или ширине полушеврона. Эти погрешности характеризуют точность монтажа передачи и ограничиваются соответственно допусками  $f_x$  и  $f_y$ .

**Червячные передачи.** *Отклонение межосевого угла в передаче  $f_{\Sigma r}$  и в обработке  $f_{\Sigma cr}$*  — разность между действительным и номинальным межосевыми углами. Определяется на ширине зубчатого венца колеса в линейных величинах (рис. 11.15, а). Предельные отклонения соответственно  $\pm f_{\Sigma}$  и  $\pm f_{\Sigma c}$ .

*Отклонение межосевого расстояния в передаче  $f_{ar}$  и в обработке  $f_{acr}$*  — разность между действительным и номинальным межосевыми расстояниями (рис. 11.15, б). Предельные отклонения, соответственно  $\pm f_a$  и  $\pm f_{ac}$ .

*Смещение средней плоскости колеса в передаче  $f_{xr}$  и в обработке  $f_{xcr}$*  — расстояние между средней плоскостью колеса и плоскостью, перпендикулярной его оси и проходящей через ось червяка (рис. 11.15, в). Предельные отклонения соответственно  $\pm f_x$  и  $\pm f_{xc}$ .

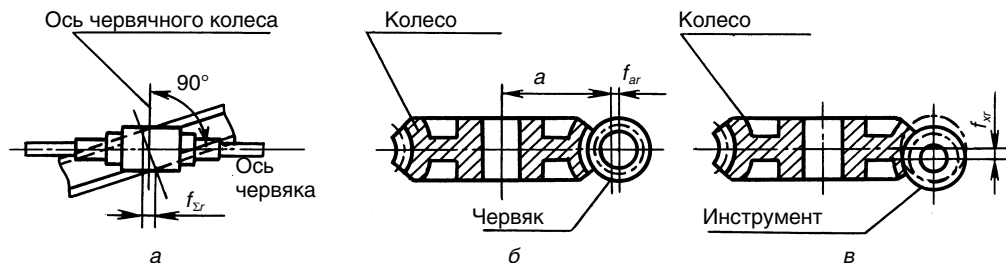


Рис. 11.15. Погрешности, влияющие на полноту контакта зубьев и витков в червячной передаче: а — отклонение межосевого угла  $f_{sr}$ ; б — отклонение межосевого расстояния  $f_{ar}$ ; в — смещение средней плоскости колеса  $f_{sr}$

**Конические зубчатые передачи.** Суммарное пятно контакта зависит от отклонения межосевого расстояния  $f_{ar}$ , которое определяется для конических передач как отклонение действительного межосевого расстояния от его номинального нулевого значения. Предельные отклонения обозначают  $\pm f_a$ .

### Боковой зазор

Боковой зазор  $j_{nr}$  в зубчатой передаче (рис. 11.16, а) определяется как зазор, обеспечивающий свободный поворот зубчатого (червячного) колеса при неподвижном втором зубчатом колесе (червяке). Боковой зазор в передаче необходим для устранения возможности заклинивания при нагреве

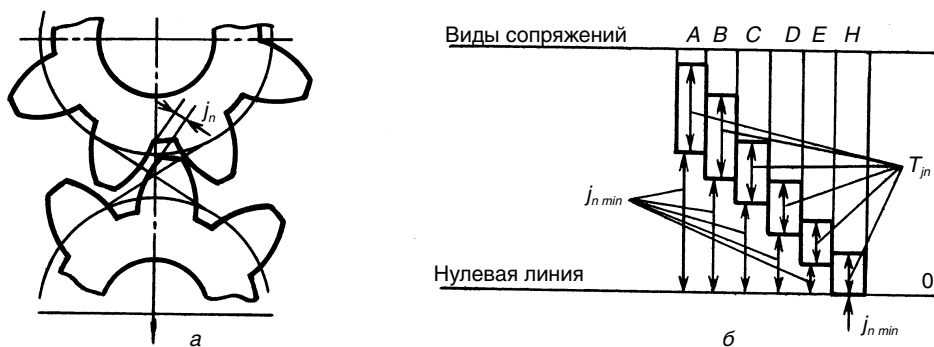


Рис. 11.16. Сопряжение зубьев в зубчатой передаче: а — боковой зазор  $j_{nr}$ ; б — схема расположения полей допусков  $T_{jn}$  для принятых видов сопряжений

передачи, обеспечения условий протекания смазки, для компенсации погрешностей изготовления и монтажа. Кроме того, величина зазора влияет на мертвый ход при реверсировании отсчетных и делительных передач, а также на ударный импульс по нерабочим профилям, который возникает в случае разрыва контакта рабочих профилей из-за динамических явлений.

Стандартами устанавливается гарантированный боковой зазор  $j_{n\min}$  — наименьший предписанный боковой зазор. Для удовлетворения требований различных отраслей промышленности предусмотрено шесть видов сопряжений, определяющих различную величину  $j_{n\min}$ :  $A, B, C, D, E, H$  (рис. 11.16, б), а также установлены виды допусков на боковой зазор:  $a\ b\ c\ d\ h$ . Обозначения даны в порядке убывания величины бокового зазора и допуска на него. Видам сопряжений  $H$  и  $E$  соответствует вид допуска на боковой зазор  $h$ , видам сопряжений  $A, B, C, D$  — вид допуска соответственно  $a, b, c, d$ . Допускается изменять соответствие между видом сопряжения и видом допуска, при этом для цилиндрических зубчатых и червячных передач могут быть использованы виды допуска на боковой зазор  $x, y, z$ .

Для цилиндрических зубчатых передач устанавливается также шесть классов отклонений межосевого расстояния (I, II, III, IV, V, VI). Видам сопряжений  $H, E$  соответствует II класс, видам сопряжений  $D, C, B, A$  — соответственно III, IV, V, VI классы. Указанное соответствие разрешается изменять.

Погрешности изготовления и монтажа колес учитывают при определении наибольшего бокового зазора. Разность между наибольшим и гарантированным зазорами должна быть достаточной для компенсации погрешностей изготовления и монтажа колес. Компенсация уменьшения бокового зазора, возникающего из-за погрешностей изготовления цилиндрических зубчатых колес и монтажа передачи  $k_j$ , определяется по формуле

$$k_j = \sqrt{(f_a 2 \sin \alpha)^2 + 2f_{pb}^2 + 2F_\beta^2 + (f_x \sin \alpha)^2 + (f_y \cos \alpha)^2}.$$

В зависимости от типа зубчатой передачи боковой зазор обеспечивается по-разному.

**Цилиндрические зубчатые передачи.** С целью обеспечения в передаче гарантированного бокового зазора осуществляется *дополнительное смещение исходного контура*  $E_{Hr}$ . Дополнительное смещение исходного контура рейки (зуборезного инструмента) от его номинального положения (рис. 11.17) производится по радиусу в тело колеса. Номинальным положением исходного контура условно считают то, которое получается после его смещения при корригировании зубчатых колес.

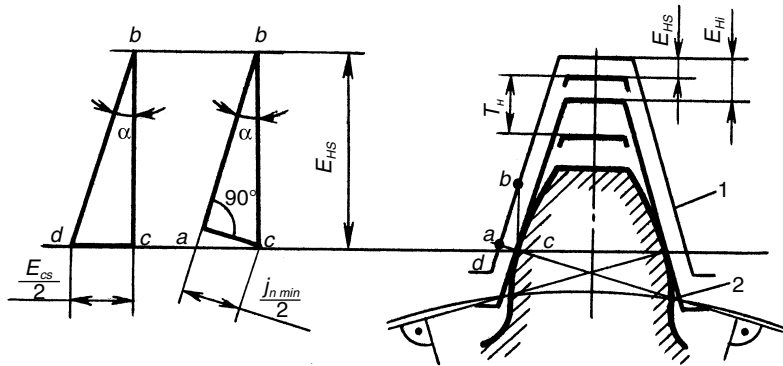


Рис. 11.17. Смещение исходного контура:

1 — номинальное положение; 2 — дополнительное смещение

Наименьшее дополнительное смещение назначают в зависимости от степени точности по нормам плавности и вида сопряжения и обозначают: для зубчатых колес с внешними зубьями —  $E_{Hs}$ , для колес с внутренними зубьями —  $E_{Hi}$ . Допуск  $T_H$  на смещение исходного контура установлен в зависимости от допуска на радиальное биение  $F_r$ , вида сопряжения, причем  $T_H > F_r$ . Показателями, обеспечивающими гарантированный боковой зазор, для колес является также наименьшее отклонение средней длины линии общей нормали  $E_{Wms}(E_{Wmi})$  (рис. 11.18, а); наименьшее отклонение толщины зуба по постоянной хорде в нормальном сечении  $E_{cs}$ ; предельные отклонения измерительного межосевого расстояния; верхнее  $E_{a'i}$  (рис. 11.18, б). Установлены допуски на среднюю длину общей нормали  $T_{Wm}$  и на толщину зуба  $T_c$ .

В собранных передачах показателями бокового зазора являются: для передач с нерегулируемым расположением осей предельные отклонения межосевого расстояния  $\pm f_a$ , а с регулируемым — гарантированный боковой зазор  $j_{n \min}$ .

**Червячные передачи.** Гарантированный боковой зазор в передаче обеспечивается наименьшим отклонением толщины витка червяка по хорде  $E_{ss}$ , которое является наименьшим предписанным уменьшением контактной хорды витка, определяемым в нормальном сечении к витку. Допуск на толщину витка  $T_s$ .

**Конические зубчатые передачи.** Гарантированный боковой зазор обеспечивается выбором предельных отклонений межосевого угла передачи  $\pm E_z$ , а также наименьшего отклонения средней постоянной хорды зубь-

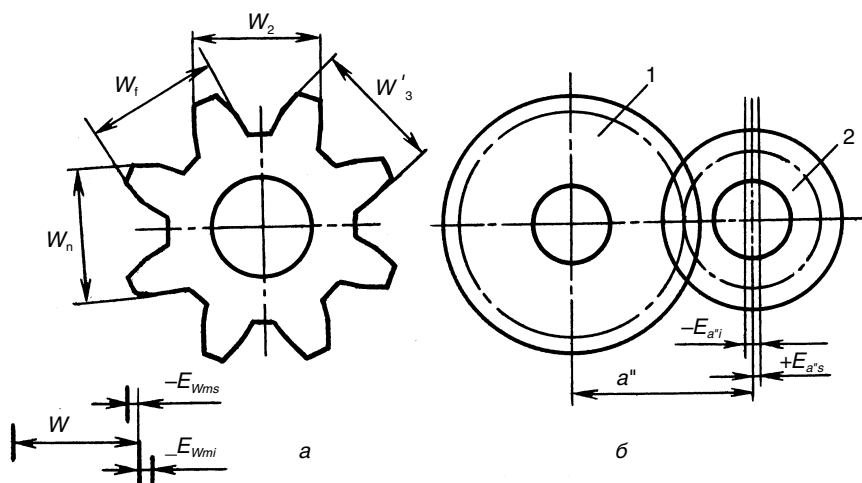


Рис. 11.18. Предельные отклонения:

*a* — средней длины общей нормали  $E_{Wms}$  ( $E_{Wmi}$ ); *б* — измерительного межосевого расстояния  $E_{a'i}$ ; 1 — контролируемое колесо; 2 — измерительное колесо

ев  $E_{scs}$  (допуск  $T_{sc}$ ) и наименьшего отклонения средней делительной толщины зуба по хорде  $E_{ss}$  (допуск  $T_{sc}$ ). Показатели  $E_{scs}$  и  $E_{ss}$  являются наименьшим предписанным уменьшением соответственно постоянной хорды зуба и средней делительной толщины зуба, осуществляемым с целью создания гарантированного бокового зазора.

### Условное обозначение точности зубчатых передач

Точность изготовления зубчатых (червячных) колес и червяков, а также зубчатых передач задается степенью точности, а требования к боковому зазору — видом сопряжения по нормам бокового зазора.

*Примеры условного обозначения точности цилиндрических передач.* Передача со степенью точности 7 по всем трем нормам, с видом сопряжения зубчатых колес *C* и соответствием между видом сопряжения и видом допуска на боковой зазор (вид допуска — *c*), а также между видом сопряжения и классом отклонения межосевого расстояния (класс IV): 7-*C* ГОСТ 1643—81. Цилиндрическая зубчатая передача со степенью 8 по нормам кинематической точности, степенью 7 по нормам плавности работы, степенью 6 по нормам контакта зубьев, с видом сопряжения колес *B*, видом допуска на боковой зазор *a* и соответствием между видом сопряжения и классом отклонений межосевого расстояния:

8-7-6-*Ва* ГОСТ 1643—81. Цилиндрическая зубчатая передача со степенью точности 7 по всем нормам, с видом сопряжения *С*, видом допуска *a* и V классом отклонений межосевого расстояния, т.е. грубее соответствующего виду сопряжения *С* (класс IV): 7-*Ca/V* –128 ГОСТ 1643—81. В этом случае в условном обозначении указывают принятый класс и рассчитанный по формуле уменьшенный гарантированный боковой зазор  $j'_{n\min} = j'_{n\min} - 0,68(|f'_a| - |f_a|)$ . Так, например, по ГОСТ 1643—81 для передачи с межосевым расстоянием  $a_w = 450$  мм значение гарантированного бокового зазора  $j_{n\min}$  и предельного отклонения межосевого расстояния  $f_a$ , соответствующих IV классу (вид сопряжения *С*), а также параметр  $f'_a$ , соответствующий принятому V классу:  $j_{n\min} = 155$  мкм,  $f_a = 80$  мкм,  $f'_a = 120$  мкм, тогда с округлением  $j_{n\min} = 128$  мкм. При принятии более точного класса отклонений межосевого расстояния рассчитанный зазор может не указываться в условном обозначении.

*Примеры условного обозначения точности червячных передач.* Передача 7-й степени точности по всем трем нормам, с видом сопряжения *С* и видом допуска *c*: 7-*С* ГОСТ 3675—81. Передача с комбинированием степеней, с видом сопряжения *В* и видом допуска *a*, не соответствующим виду сопряжения: 8-7-6-*Ва* ГОСТ 3675—81.

*Примеры условного обозначения точности конических передач.* Передача 7-й степени по всем трем нормам точности, с видом сопряжения *С*: 7-*С* ГОСТ 1758—81. Передача с комбинированием степеней, с видом сопряжения *В*: 8-7-6-*В* ГОСТ 1758—81. Передача 7-й степени точности с гарантированным боковым зазором  $j_{n\min} = 400$  мкм, не соответствующим ни одному из видов сопряжения: 7-400 ГОСТ 1758—81. В случаях, когда на одну из норм не задается степень точности, вместо соответствующей цифры ставится буква *N*: 8-7-*N* ГОСТ 1758—81.

### Выбор степени точности передач

Степень точности колес и передач устанавливают в зависимости от требований к кинематической точности, плавности, передаваемой мощности, а также от величины окружной скорости колес. Например, при окружной скорости прямозубых колес, равной 10–15 м/с, применяют 6–7-ю степени точности, а при скорости 20–40 м/с 4–5-ю степени. Степень точности должна определяться соответствующими расчетами. Например, на основе кинематического расчета погрешностей всей передачи и допустимого угла рассогласования можно найти необходимую степень по нормам кинематической точности; из расчета динамики передачи, уровня вибрации и шума выбирают степень точности по нормам плавности работы; расчет на про-

чность и долговечность дает возможность выбрать степень точности по нормам контакта.

При выборе степени точности учитывают опыт эксплуатации аналогичных передач и используют принцип комбинирования норм точности, т.е. для конкретной передачи в зависимости от ее назначения устанавливают различные степени точности: по нормам кинематической точности, плавности работы и контакта зубьев. Комбинирование норм позволяет устанавливать повышенную точность только тех параметров колес, которые важны для удовлетворения эксплуатационных требований; остальные параметры можно выполнять по более грубым допускам. Комбинирование целесообразно как с эксплуатационной, так и с технологической точки зрения. При комбинировании степеней учитывают следующие ограничения: нормы плавности могут быть не более чем на две степени точности или на одну степень грубее норм кинематической точности, нормы контакта могут назначаться по степеням более точным, чем нормы плавности. Для цилиндрических зубчатых передач допускается назначать *нормы контакта на одну степень грубее норм плавности*.

Указанные ограничения вызваны наличием определенной взаимосвязи между показателями точности колес. Так, циклическая погрешность является частью кинематической погрешности, многократно повторяющейся на оборот колеса. Поэтому при сохранении допуска на кинематическую погрешность колеса расширение допуска на циклическую погрешность более чем на одну степень вызывает заметное уменьшение допускаемого значения кинематической погрешности и делает практически невозможным изготовление такого колеса.

При назначении допусков кинематической точности и плавности работы колес по разным степеням точности допуск на колебание измерительного межосевого расстояния за оборот зубчатого колеса для цилиндрических зубчатых передач определяют по формуле

$$[F_i'']_{k>B2} = [F_i'' - f_i'']_F + [f_i'']_f,$$

а для червячных передач — по формуле

$$[F_i'']_{k>B2} = [F_r]_F + [F_i'' - F_r]_f,$$

где допуск, входящий в первое слагаемое, принимается по степени для норм кинематической точности, а допуски, входящие во второе слагаемое, по степени для норм плавности работы. Это связано с тем, что допуск  $F_i''$  является суммарным и учитывает как кинематическую погрешность, так и погрешность, нарушающую плавность работы. Степень точности по нормам контакта обычно выбирают совпадающей со степенью по нормам плавности. Например, для тракторов, грузовых автомобилей применяют зуб-

чатые передачи 7-6-6-С, 8-7-7-С; для редукторов турбин — передачи 6-5-5-В, в металлургическом машиностроении — передачи 8-7-7-В. Для силовых передач прокатных станков применяют зубчатые колеса с повышенной точностью по нормам контакта: 8-7-6-В. Для делительных и других отсчетных механизмов степени по нормам кинематической точности и плавности принимают одинаковыми, а иногда кинематическая точность на одну степень точнее плавности, например, 4-5-5-Д.

### 11.3. КОНТРОЛЬ ТОЧНОСТИ ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ

#### Общие сведения

В зависимости от поставленной цели контроль зубчатых колес может быть приемочный (окончательный) и технологический. При *приемочном* контроле устанавливают соответствие точности колеса предъявляемым требованиям, зависящим от назначения передачи. *Технологический* контроль используют при наладке технологических операций и для выявления причин брака.

Поскольку точность зубчатых колес проверяют различными методами и средствами, ГОСТ 1643—81, ГОСТ 3675—81 и ГОСТ 1758—81 установлены комплексные и несколько вариантов поэлементных показателей точности зубчатых (червячных) колес. Выбор показателей для контроля точности зубчатых колес зависит от условий производства, степени точности колес, их назначения, размеров, объема выпуска и других факторов. Комплексы показателей точности цилиндрических зубчатых колес и передач приведены в ГОСТ 1643—81. Комплексы контроля червяков, червячных колес и передач приведены в ГОСТ 3675—81. Все установленные комплексы, используемые при приемке зубчатых колес и передач, являются равноправными. Однако комплексы неравноценны. Наиболее полную информацию о годности колеса по каждой из трех норм, а также по виду сопряжения дают комплексные (функциональные) показатели. *Комплексными показателями* являются наибольшая кинематическая погрешность колеса  $F'_{ir}$  и передачи  $F'_{ior}$ , циклическая погрешность колеса  $f_{zkr}$  и передачи  $f_{zkor}$ , циклическая погрешность зубцовой частоты в передаче  $f_{zzor}$ , суммарное пятно контакта и гарантированный боковой зазор  $j_{n\min}$ . Каждый последующий комплекс составляет хотя и значительную, но часть основной погрешности. Поэтому допуски и отклонения для показателей, не полностью выявляющих основную погрешность, установлены стандартами, меньшими, чем для комплексных показателей, например, допуски на накопленную погрешность шага меньше, чем на наибольшую кинематическую погрешность и т.д. Контроль колес и передач по всем показателям установленного комплекса можно не производить, если изготовитель существующей

у него системой контроля производства гарантирует требуемую точность изделий. При выборе комплекса для приемочного контроля зубчатых колес необходимо учитывать следующие общие положения:

1. Предпочтение следует отдавать комплексным показателям, позволяющим оценивать суммарную погрешность зубчатого колеса. Для оценки виброактивности зубчатых колес и передач предпочтительно осуществлять контроль кинематической погрешности с последующим гармоническим анализом, т.е. контролировать весь спектр циклических погрешностей.

2. Полную оценку точности колеса можно получить при контроле с измерительным колесом. При этом определить наибольшую кинематическую погрешность  $F'_{ir}$ , циклическую погрешность  $f_{zkr}$ , пятно контакта и боковой зазор  $j_{nr}$ .

3. Предпочтительно применять методы контроля, дающие непрерывную информацию об измеряемом показателе по всему зубчатому колесу. Например, целесообразнее контролировать кинематическую погрешность, а не накопленную погрешность шага; колебание измерительного межосевого расстояния, а не радиальное биение зубчатого венца; погрешность обката, а не колебание длины общей нормали.

4. Предпочтение следует отдавать измерениям, проводимым на рабочей оси вращения колеса.

5. Предпочтительно применять методы контроля, которые дают непосредственную оценку показателей точности (не требуется пересчет или другая математическая обработка). Например, предпочтительны измерение накопленной погрешности шага с помощью прибора с угловым устройством, а не определение величины накопления по результатам измерения равномерности шага; контроль смещения исходного контура, а не контроль размера по роликам и т.д.

Рекомендуемые комплексы проверок для цилиндрических зубчатых колес, применяемых в машиностроении, приведены в ГОСТах. Рекомендации являются ориентировочными и могут быть скорректированы в зависимости от условий производства. Стандартами установлено, что если показатели кинематической точности, плавности или контакта зубьев колес требованиям стандарта и требование селективной сборки не выдвигается, то контроль кинематической точности, плавности или пятна зубчатой передачи не обязателен. При соответствии норм точности окончательно собранной передачи требованиям стандарта контроль кинематической точности, плавности работы или контакта зубьев не является необходимым.

Приборы для контроля цилиндрических, конических, червячных зубчатых колес, червяков можно разделить: 1) по назначению — на приборы

для контроля зубчатых колес: цилиндрических  $C$ , конических  $K$ , червячных  $G$ , червяков  $Z$ , других колес (смешанных, спироидных передач и спироидных червяков)  $R$ ; 2) по конструкции — на типы: станковые  $S$ , накладные  $M$ ; 3) по параметрам — диаметрам и модулям контролируемых колес; 4) по контролируемым показателям точности — на группы: 1 — приборы для контроля кинематической погрешности, 2 — приборы для контроля погрешности шага, 3 — приборы для контроля радиального биения и т.д.; 5) по точности — на классы точности  $A$ ,  $AB$  и  $B$ .

Приборы класса точности  $A$  можно применять для контроля зубчатых колес, начиная с 3-й степени точности, классов  $AB$  и  $B$  — соответственно начиная с 5 и 7-й степеней точности. Типы, основные параметры и нормы точности приборов для контроля цилиндрических зубчатых колес приведены в ГОСТ 5368—81. Приборы для контроля цилиндрических зубчатых колес изготавливают двух типов: СЦ — станковые с устройством для базирования проверяемых колес и НЦ — накладные.

### Контроль кинематической точности цилиндрических зубчатых колёс и передач

Основным видом контроля кинематической точности колес является комплексная проверка зубчатого колеса в однопрофильном зацеплении с измерительным колесом (червяком или рейкой). Однопрофильный контроль (рис. 11.19) заключается в определении с помощью устройства 3 разности действительных углов поворота ведомых звеньев двух систем, из которых одна состоит из контролируемого колеса 2, находящегося в однопрофильном зацеплении с измерительным колесом 1, а другая — из образцовой передачи 4 с заданным передаточным отношением, кинематической погрешностью которой можно пренебречь. Достоинством однопрофильно-

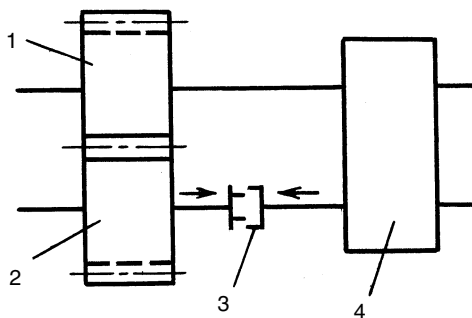


Рис. 11.19. Принципиальная схема прибора для контроля кинематической погрешности зубчатых колёс

го контроля является то, что условия зацепления при проверке соответствуют условиям работы колес в механизме.

Современные приборы для контроля кинематической циклической погрешностей снабжены анализирующей и регистрирующей аппаратурой и имеют интерфейс для связи с компьютером, что позволяет осуществлять гармонический анализ графика кинематической погрешности. Циклическая погрешность записывается прибором в виде спектра частот, составляющих кинематическую погрешность.

Комплексный однопрофильный контроль предполагает использование сложных информационно-измерительных систем. Поэтому в массовом и крупносерийном производствах зубчатые колеса проверяют часто в двухпрофильном зацеплении с измерительным зубчатым колесом на приборах, называемых *межцентромерами*. Распространение этого вида контроля объясняется также сравнительной простотой конструкции межцентромеров и высокой производительностью контроля. Такой контроль позволяет выявить колебание измерительного межосевого расстояния (относительно его номинального значения) за оборот проверяемого колеса  $F_{ir}''$  и при повороте на один зуб  $f_{ir}''$ . При контроле можно устанавливать отклонение толщины зуба или смещение исходного контура. Контроль колес в двухпрофильном зацеплении обычно дополняют контролем колебания длины общей нормали  $F_{vwr}$  или контролем точности оборудования.

Двухпрофильный контроль легко автоматизируется. Поэтому в автоматических линиях изготовления зубчатых колес применяют полуавтоматы и автоматы для двухпрофильного контроля, завода «Калибр» (БВ-8010А и БВ-80110В). Приборы для комплексного двухпрофильного контроля (МЦМ-160, МЦМ-320М, МЦМ-400Б, БВ-5029) универсальны — позволяют контролировать колеса разных размеров, насадных и валковых, и снабжены приспособлениями для проверки цилиндрических передач внешнего и внутреннего зацепления, конических и червячных передач.

На рис. 11.20 показан прибор типа МЦМ-400Б. На оправку 1, жестко связанную с подвижной измерительной кареткой 2, насаживают измерительное колесо, а на оправку 6, жестко связанную с неподвижным суппортом 5, — проверяемое колесо. Измерительная каретка 2 под действием пружины 4 прижимает измерительное колесо к проверяемому, создавая плотное зацепление. При совместном вращении колес колебания измерительного межосевого расстояния отмечают индикатором 3 или установленным вместо него индуктивным преобразователем, связанным с самописцем. Номинальное межосевое расстояние  $a_w$  устанавливают при помощи концевых мер, располагаемых между оправками 1 и 6, или при помощи специальных дисков, которые надевают на эти оправки.

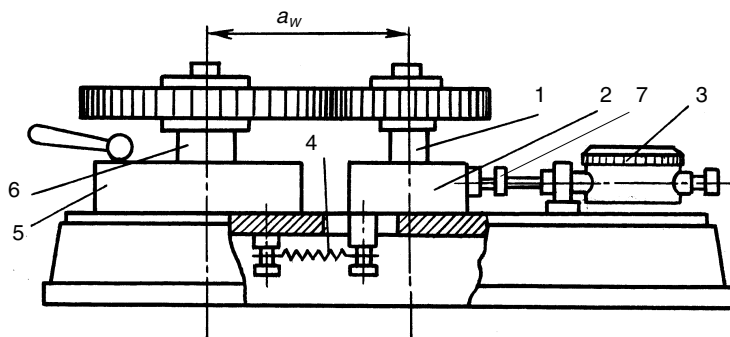


Рис. 11.20. Межцентромер для комплексного двухпрофильного контроля цилиндрических зубчатых колес

Если невозможно выполнить однопрофильную проверку, устанавливают накопленную погрешность  $k$  шагов  $F_{pkr}$  или по зубчатому колесу  $F_{pr}$ . Накопленная погрешность шага (углового) может быть определена по результатам проверки равномерности шага по всему колесу. В этом случае накопленную погрешность определяют путем соответствующей обработки результатов последовательного измерения шагов и построения диаграммы. Непосредственно накопленная погрешность шага может быть определена при последовательном измерении угловых шагов колеса при помощи универсальных приборов для угловых измерений — теодолитов, оптических делительных головок и т.п.

Принципиальная схема углового шагомера показана на рис. 11.21. Проверяемое колесо 1 устанавливают соосно с угловым лимбом 2 и фиксируют в этом положении фиксаторов 3. Измерительный наконечник 7 рычага 4, на который опирается индикатор, приводят в соприкосновение с профилем зуба колеса, и его радиальное положение фиксируют упором 6. Индикатор устанавливают на руль. Затем при помощи каретки 5 наконечник 7 отводят и зубчатое колесо последовательно поворачивают от зуба к зубу по всей окружности на величину углового шага ( $\gamma = 360^\circ / z$ ). При помощи этого прибора измеряют отклонения углового шага от его теоретической величины. Сумма наибольших положительного и отрицательного отклонений угловых шагов, полученных при измерении этого параметра по всей окружности колеса, составляет накопленную погрешность окружного шага в угловых величинах.

Радиальное биение зубчатого венца проверяют с помощью приборов, называемых *биениемерами* (рис. 11.22). Измерительный наконечник может иметь форму: зуба рейки, выполненного по исходному контуру, усе-

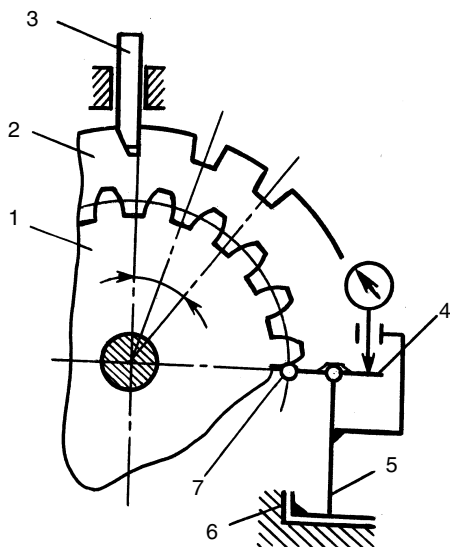


Рис. 11.21. Схема углового шагомера для контроля накопленной погрешности шага

ченного конуса с углом при вершине  $2\alpha$ , седлообразного наконечника, имеющего профиль впадины зуба рейки или форму сферического наконечника. Наконечник должен касаться поверхности двух соседних зубьев по постоянной хорде впадины.

Проверяемое зубчатое колесо 1 насаживают на оправку 2. Наконечник 3 на измерительном стержне 4 перемещается под действием пружины

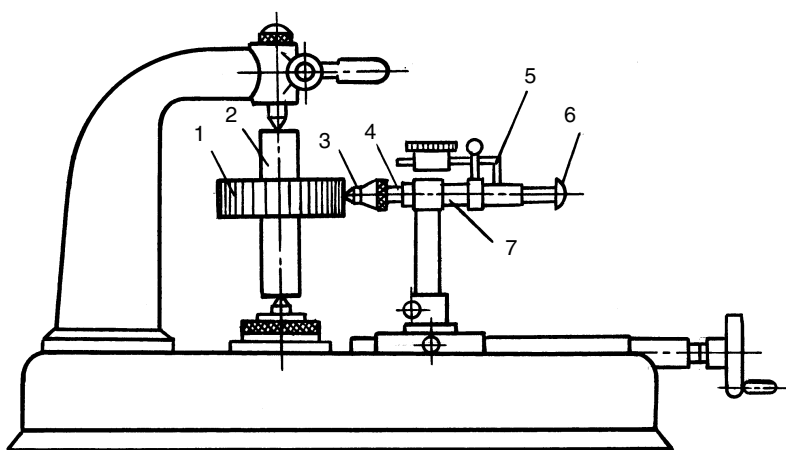


Рис. 11.22. Схема биенимера

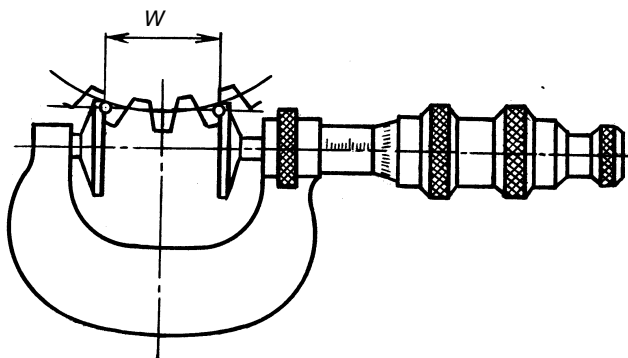


Рис. 11.23. Зубомерный микрометр

в направляющей втулке 7 и прикрепленной к нему планкой 5 воздействует на наконечник индикатора 6. Измерения производят путем последовательного ввода наконечника 3 во все впадины колеса. Разность между наибольшим и наименьшим показаниями индикатора при поочередном перемещении наконечника во все впадины колеса определения радиальное биение зубчатого венца.

Контроль колебания длины общей нормали. Контроль колебания длины общей нормали  $F_{\text{вр}}$  производить зубомерными микрометрами (рис. 11.23), индикаторными нормалемерами и другими средствами.

Индикаторный нормалемер (рис. 11.24) снабжен трубкой 1, по которой перемещается разрезная втулка 2, жестко соединенная с переставной измерительной губкой 3. Подвижная измерительная губка 4 перемещается на плоских пружинах 5 параллельно оси трубки 1. Это перемещение передается индикатору 7 через угловой рычаг 6 с соотношением плеч 2 : 1. При цене индикатора 0,01 мм цена деления нормалемера равна 0,005 мм.

Колебание длины общей нормали  $F_{\text{вр}}$  находят как разность между наибольшей и наименьшей действительными длинами общей нормали при последовательном измерении всех групп зубьев проверяемого колеса. Средняя длина общей нормали  $W_m$  определяется как средняя арифметическая всех действительных длин общих нормалей по зубчатому колесу.

На производстве применяют профилактические методы контроля всех составляющих технологического процесса: станка, приспособления, инструмента, детали при этом контролируют погрешность обката. Это позволяет упростить контроль зубчатых колес, ограничиваясь проверкой радиального биения зубчатого венца. Для контроля погрешности обката в промышленности применяют кинематометры. Принцип работы этих приборов аналогичен приборам для комплексного однопрофильного контроля. Приборы отличаются по способу создания образцового движения. Так, в при-

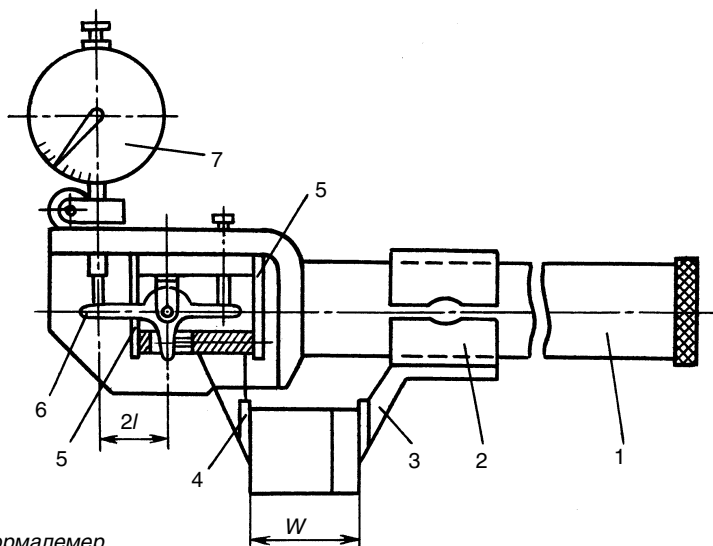


Рис. 11.24. Индикаторный нормалемер

боре МЭК-2 образцовое движение задается с помощью магнитоэлектрической записи, а в приборе КН-6М — с помощью стеклянных дисков со штрихами (растров). Высокочастотные составляющие кинематической погрешности зубообрабатывающих станков выявляются с помощью сейсмических преобразователей.

### Контроль плавности работы цилиндрических зубчатых колёс и передач

Для определения показателей плавности работы зубчатых колес и передач  $f_{zkr}$ ,  $f_{zkr}$ ,  $f_{zkr}$ ,  $f'_{ir}$  применяют приборы для комплексного однопрофильного контроля, позволяющие производить запись кинематического процесса и его гармонический анализ. Кроме того, для широких косозубых колес характерна циклическая погрешность, которую можно определять волномером. В приборе БВ-5024 отсчет показаний осуществляется головкой с ценой деления 0,001 мм. В приборе БВ-502С применяется индуктивное устройство, позволяющее производить запись погрешности. Волномер устанавливают во впадине между зубьями колеса на сменные сферические опоры, погрешность при его перемещении вдоль зуба воспринимается измерительным наконечником.

Отклонение шага зацепления от номинального измеряют с помощью шагомеров. Рассмотрим шагомер с тангенциальными наконечниками (рис. 11.25). Измерительный наконечник 2 подвешен на плоских пружинах

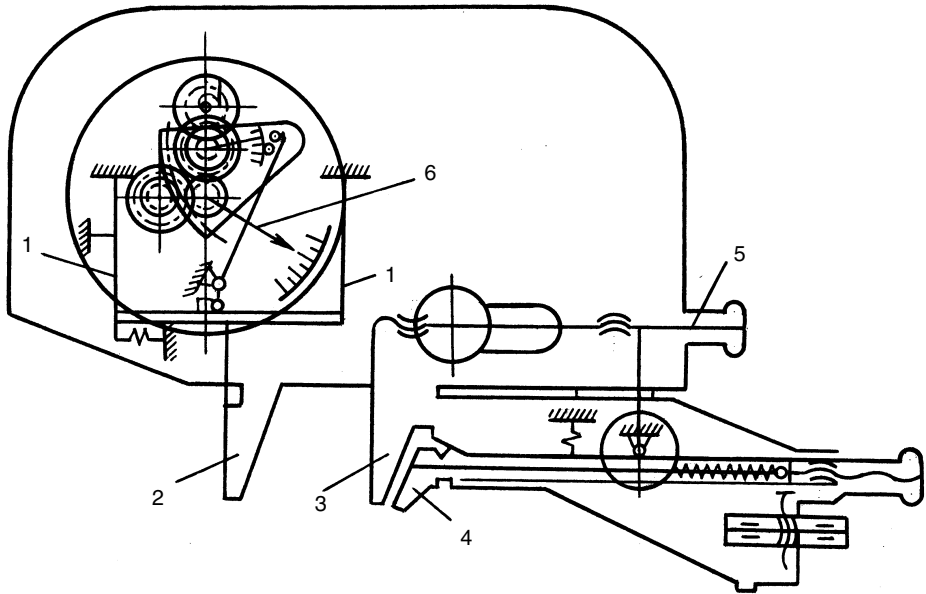


Рис. 11.25. Схема шагомера

нах 1, его перемещение фиксируется отсчетным устройством 6 с ценой деления 0,001 мм. Второй измерительный наконечник 3 можно устанавливать в нужном положении винтом 5. Опорный наконечник 4 поддерживает прибор при измерении и обеспечивает расположение линии измерения по нормали к профилям. Наконечники 2 и 3 со стороны измерительных поверхностей армированы твердым сплавом. Шагомер настраивают по блоку концевых мер, размер которых равен номинальному значению основного шага.

**Контроль профиля зубьев колес.** Проверка профиля зубьев в торцевом сечении заключается в сопоставлении действительного эвольвентного профиля с его теоретической формой. Для этого применяют приборы, называемые *эвольвентомерами*. Рассмотрим принцип действия индивидуально-дискового эвольвентомера БВ-1089 (рис. 11.26). Проверяемое зубчатое колесо 2 устанавливают на одной оси со сменным диском 1, диаметр которого равен диаметру основной окружности колеса. Этот диск прижимается пружиной к доведенной обкатывающей линейке 3, закрепленной на каретке 6 прибора. При перемещении каретки ходовым винтом 5 движение (без скольжения) передается диску и вместе с ним проверяемому колесу. При этом каждая точка рабочей плоскости линейки описывает от-

носителю диска эвольвенту. Над линейкой в одной вертикальной плоскости с ее рабочей поверхностью расположен измерительный наконечник рычага 4, другое плечо которого соприкасается с наконечником индикатора 8. По шкале 9 определяют угол развернутости проверяемого колеса, а по шкале 7 — смещение каретки из исходного положения, при котором измерительный наконечник касается профиля зуба на радиусе основной окружности колеса.

В начале измерительный наконечник рычага устанавливают на боковую поверхность зуба у его основания, индикатор на нуль. Вращая ходовой винт, перемещают каретку, причем измерительный наконечник рычага скользит по профилю зуба, и в случае отклонения его от эвольвенты заданной основной окружности получает угловое перемещение, отмечаемое индикатором. По окончании измерения одного зуба каретка возвращается в исходное положение, а колесо переставляется на один зуб. Эвольвентометры снабжаются записывающими механизмами, регистрирующими результаты измерения в увеличенном масштабе. В этих приборах для каждого размера колеса требуется специальный сменный диск. Более совершенным являются универсальные эвольвентометры, настраиваемые с помощью

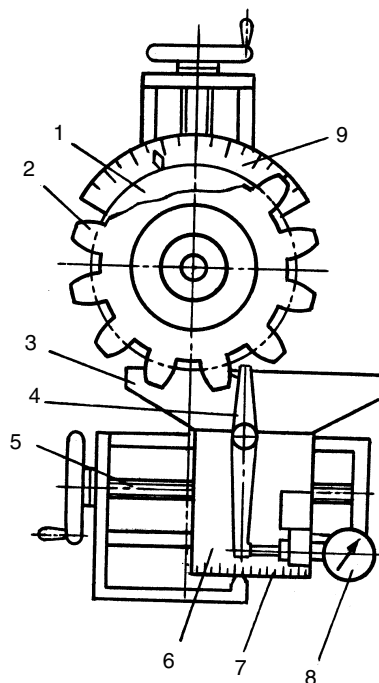


Рис. 11.26. Схема индивидуально-дискового эвольвентометра

шكال или концевых мер для контроля колес с различными диаметрами основных окружностей. Результаты измерения отклонений шага зацепления  $f_{pbr}$ , погрешности профиля  $f_{fr}$  и колебания измерительного межосевого расстояния на одном зубе  $f_{ir}''$  дают представление о плавности работы прямозубых колес.

### Контроль показателей полноты контакта зубьев цилиндрических зубчатых колёс

Качество контакта поверхностей зубьев можно определять либо непосредственно в собранной передаче, либо на контрольно-обкатных станках или специальных стендах при зацеплении с измерительным колесом. Для контроля пятна контакта боковую поверхность меньшего или измерительного колеса покрывают слоем краски толщиной не более 4–6 мкм и производят обкатку колес при номинальном межосевом расстоянии. В качестве красителя применяются свинцовый сурик, берлинскую лазурь (смесь раствора хлорного железа и раствора желтой кровяной соли), турунбулевую синь (смесь раствора двухвалентного железа с раствором красной кровяной соли). Краску наносят на предварительно обезжиренную поверхность зубьев тампоном из плотной ткани.

Контроль точности хода винтовой линии проводят для узких косозубых колес при помощи ходомера, принцип действия которого показан на рис. 11.27. Измерительный суппорт 1 с наконечником 2 совершает относительное движение по винтовой линии, лежащей на цилиндре, ось которого совпадает с осью зубчатого колеса. Измерительный суппорт 1 перемещает-

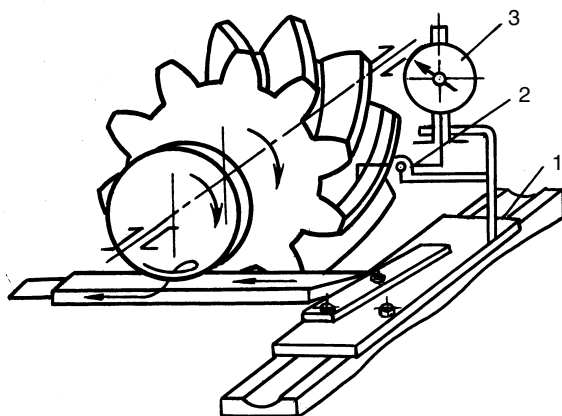


Рис. 11.27. Схема ходомера

ся поступательно, параллельно оси колеса, а колесо поворачивается вокруг своей оси. Дополнительные движения наконечника 2, контактирующего с поверхностью зуба, отмечаются индикатором 3. Прибор настраивают по ходу винтовой линии при помощи точного образца с тем же ходом (в ходомерах с универсальной настройкой — по блоку концевых мер или круговому лимбу).

Универсальный контактомер позволяет определить суммарную погрешность контактной линии  $F_{kr}$  цилиндрических зубчатых колес с модулем от 1 до 10 мм, диаметром делительной окружности от 20 до 400 мм (наибольшая длина контактной линии 200 мм, наибольший угол  $\pm 45^\circ$ ). С помощью дополнительных приспособлений можно контролировать также накопленную погрешность на  $k$  шагах  $F_{pkr}$  и по колесу  $F_{pr}$  отклонения осевых шагов  $F_{pxnr}$  (при ширине зубчатого венца до 200 мм) и радиального биения  $F_{rr}$ . Контроль отклонений осевого шага  $F_{pxnr}$  может производиться специальными приборами или непосредственно на зубошвинговальном станке, например мод. 5706.

### **Контроль показателей бокового зазора в цилиндрических зубчатых передачах**

Боковой зазор  $j_{nr}$  в собранной передаче контролируют с помощью щупа, свинцовой пластинки или с помощью специальных приспособлений со стрелочными отсчетными устройствами.

Контроль смещения исходного контура осуществляют с помощью зубомера смещения (тангенциального зубомера), показанного на рис. 11.28. Плоскости двух измерительных губок 1 и 2, каждая из которых наклонена под углом  $\alpha = 20^\circ$ , воспроизводят совместно с касательной  $b$  в окружности выступов номинальный исходный контур зубчатой рейки (рис. 11.28, а).

Расстояние между измерительными губками 1 и 2 может изменяться винтом 4 (рис. 11.28, б), имеющим на одном конце правую, а на другом — левую резьбы. Предварительно зубомер устанавливают в номинальное положение исходного контура по ролику 7 (рис. 11.28, в), диаметр которого определяется модулем контролируемого колеса. В требуемом положении губки закрепляют винтами 5. Если положение действительного контура (штриховая линия на рис. 11.28, а) не совпадает с номинальным, то по положению наконечника 3 индикатора 6 можно судить о величине смещения исходного контура. Смещение исходного контура может быть определено также с помощью станковых приборов, например, универсальных зубоизмерительных приборов и биениемеров.

Толщину зуба по постоянной хорде измеряют хордовым зубомером (штангензубомером), а также при помощи роликов. Штангензубомер име-

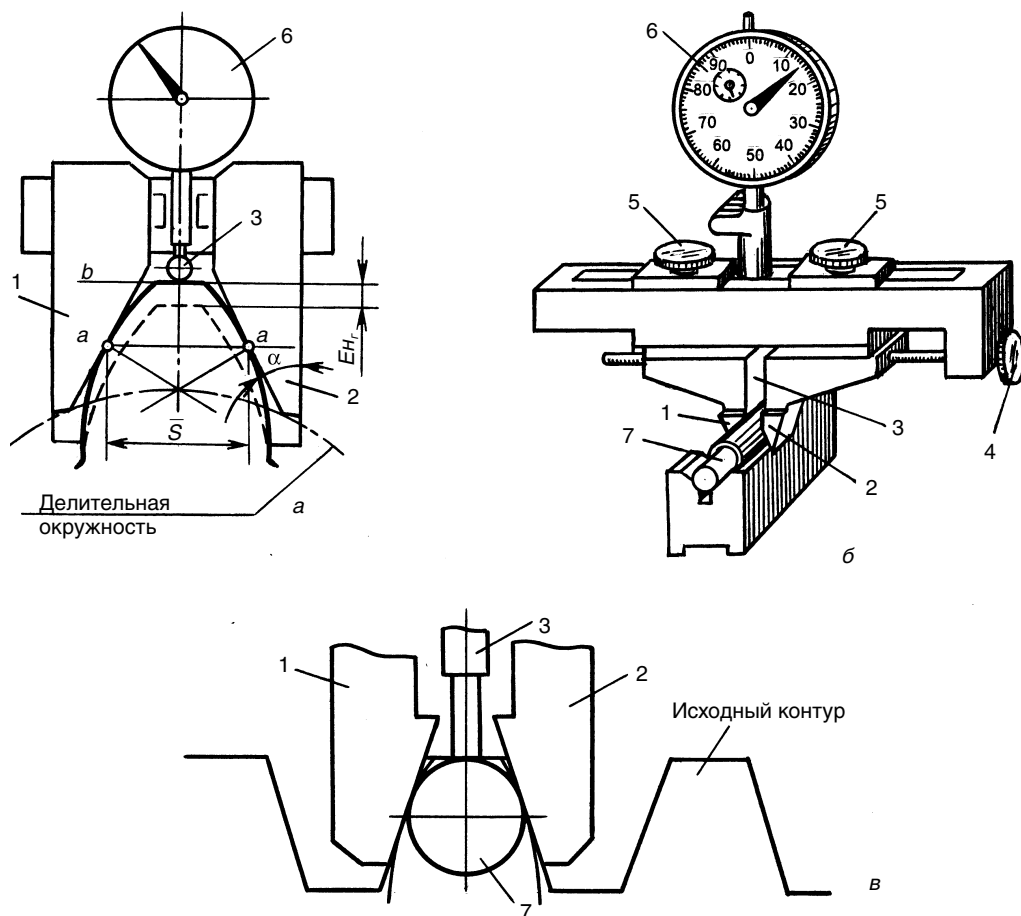


Рис. 11.28. Зубомер смещения:  
а — схема измерения; б — общий вид зубомера; в — схема настройки

ет две взаимно перпендикулярные шкалы 1 и 7 (рис. 11.29, а): одну для определения высоты  $h$ , а другую для измерения длины постоянной хорды  $\bar{S}$ . Перед измерением упор 4 устанавливают по нониусу 2 на размер, равный высоте  $h$ , на которой предполагается измерять длину хорды  $\bar{S}$  зуба, и закрепляют в этом положении. Измерительные губки 3 и 5 после установки штангензубомера упором 4 на окружность выступов контролируемого колеса сдвигают до соприкосновения с профиля зуба.

Для измеряемой хорды  $\bar{S}$  отсчитывают непосредственно по нониусу 6 штангензубомера. Измерения рекомендуется производить по постоянной

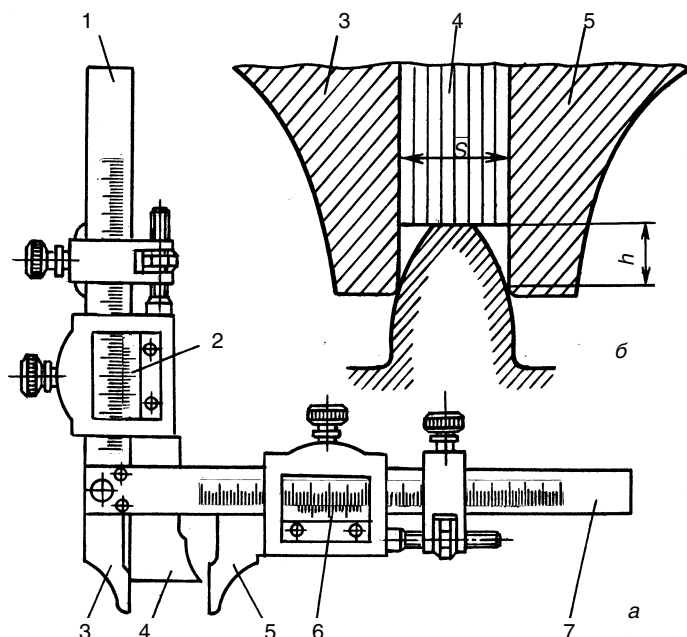


Рис. 11.29. Хордовый зубомер: а — общий вид схемы измерения; б — схема измерения

хорде зуба (хорде между точками касания исходного контура с обоими профилями зуба в нормальном сечении). Определение номинальной толщины зуба  $\bar{S}$  (рис. 11.29, б) и высоты  $h$  до постоянной хорды производят по таблицам. При контроле размера по роликам наименьшее отклонение  $E_{Ms}$  и допуск  $T_M$  определяют пересчетом величин  $E_{Wms}$  и  $T_{Wm}$  по формулам.

### Контроль червячных колёс, червяков и червячных передач

Кинематическая  $F'_{ir}$  и циклическая  $f_{zkr}$  погрешности червячного колеса определяются при однопрофильной обкатке контролируемого червячного колеса с измерительным червяком. Накопленная погрешность шага по червячному колесу  $F_{pr}$  и радиальное биение червячного колеса  $F_{rr}$  могут быть определены так же, как у цилиндрических зубчатых колес, с помощью универсальных зубоизмерительных приборов. Измерение этих показателей производится в среднем сечении колеса.

В двухпрофильном зацеплении контролируемого червячного колеса с измерительным червяком контролируются колебание измерительного межосевого расстояния за оборот колеса  $F''_{ir}$  и на одном зубе  $f''_{ir}$ . Для этого

к межцентромерам МЦМ-160 и МЦМ-320М выпускают специальные приспособления. Схема измерения  $F''_{ir}$  и  $f''_{ir}$  на межцентрометрах представлена на рис. 11.30. Приспособление позволяет совместить ось образцового червяка со средней плоскостью проверяемого червячного колеса. Плавно вращая червяк 3 и тем самым приводя в движение червячное колесо 2, с помощью отсчетного приспособления 1 или самописца определяют колебание измерительного межосевого расстояния за полный оборот колеса  $F''_{ir}$  и за оборот колеса на один зуб  $f''_{ir}$ .

Погрешности винтовой линии червяка в пределах оборота  $f_{hr}$  и на всей длине нарезанной части червяка  $f_{hkr}$  измеряют с помощью приборов, принцип действия которых основан на сравнении контролируемой винтовой линии с образцовой, получаемой от измерительного червяка с ходом витка  $P_x$ , равным контролируемому червяку, либо с теоретической винтовой линией, создаваемой кинематической схемой измерительного прибора. По такой схеме работает прибор БВ-1025 для контроля червячных мелко-модульных фрез. Этот прибор предназначен для контроля червяков и червячных фрез модулем от 0,3 до 2 мм, диаметром от 20 до 100 мм. Погрешность винтовой линии червяка  $f_{hr}$  и  $f_{hkr}$  может быть выявлена также с помощью других приборов, предназначенных для контроля червячных фрез, например, приборы БВ-5005, мод. 19295. Отклонения шага червяка  $f_{ptr}$  и накопленную погрешность  $k$  шагов червяка  $f_{pxkr}$  измеряют на приборах мод. 19295 и на универсальном контактомере БВ-5028 с помощью специального приспособления. Отклонение шага червяков с небольшим углом подъема может быть произведено и на универсальном измерительном микроскопе с помощью измерительных ножей, а при больших углах подъема — с помощью контактного приспособления НЗО-2. Измерение шага червяка рекомендуется производить по обоим сторонам профиля. За действитель-

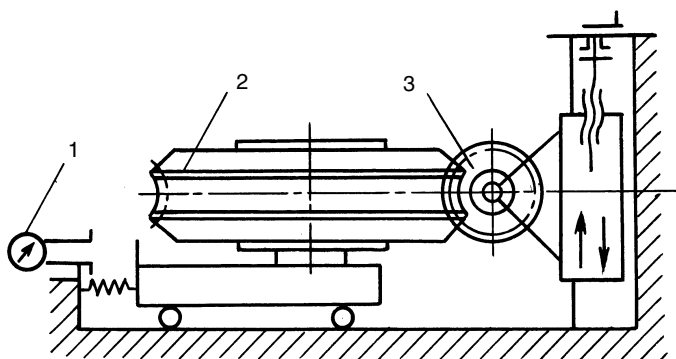


Рис. 11.30. Схема измерения червячных колёс на межцентромере с помощью приспособления

ное отклонение шага  $f_{ptr}$  берут наибольшее среднее отклонение по обеим сторонам профиля, полученное при измерении отдельных шагов по всей длине червяка, или наибольшую погрешность при повороте червяка на один номинальный угловой шаг (при однозаходном червяке — на один оборот).

Профили архимедовых  $ZA$  и эвольвентных  $ZI$  червяков можно проверить на приборах, специально предназначенных для измерения червячных фрез (мод. 19295). Измерительный узел этих приборов смонтирован на каретках, которые можно устанавливать и перемещать под углом профиля червяка параллельно прямолинейной части профиля контролируемого червяка. Угол профиля архимедовых и конволютных червяков в нормальном сечении  $\alpha_n$  можно проверить на универсальном измерительном микроскопе с помощью измерительных ножей.

Радиальное биение червяка  $f_{rr}$  определяют как наибольшую в пределах оборота разность расстояний от его рабочей оси до постоянной хорды впадины в нормальном ее сечении. Проверку этого показателя точности можно осуществить на универсальном измерительном микроскопе с помощью специального индикаторного приспособления, которое крепится к основанию микроскопа. Контролируемый червяк устанавливают в центрах микроскопа; сферический наконечник индикаторного приспособления вводят во впадину червяка. При вращении контролируемого червяка в центрах наконечник, перемещаясь по винтовой впадине червяка, фиксирует радиальное биение. За величину  $f_{rr}$  принимают наибольшую разность показаний стрелки индикаторного устройства. Для многозаходных червяков радиальное биение определяют для каждого витка отдельно.

Толщину витков червяка определяют прямым методом с помощью измерительных микроскопов или зубомера, а также косвенным методом — с помощью калиброванных проволочек или роликов. Методика измерения толщины витка червяка зубомером смещения такая же, как для цилиндрических косозубых колес.

Измерение кинематической  $F'_{ior}$  и циклической  $f_{zhor}$  погрешностей, а также циклической погрешности зубцовой частоты в передаче  $f_{zvor}$  осуществляют непосредственно в корпусе передачи измерительными средствами, с помощью которых производят измерение аналогичных показателей у цилиндрических зубчатых колес. Отклонения межосевого расстояния  $f_{ar}$  и межосевого угла  $f_{\Sigma r}$  передачи, а также смещение средней плоскости  $f_{xr}$  определяют проверкой базовых поверхностей корпуса, в котором червячная передача будет собрана. Червячная передача по своим конструктивным особенностям весьма чувствительна к неточностям сборки. В связи с этим сборку и монтаж червячной передачи следует выполнять особенно тщательно.

Контроль суммарного пятна контакта производят в собранной передаче для определения качества монтажа. Метод контроля тот же, что и при проверке цилиндрических колес. Червяк покрывают краской и по пятнам краски, полученным на червячном колесе, судят о характере контакта.

Боковой зазор червячной передачи можно определить по углу свободного поворота червяка при заторможенном червячном колесе. Для проверки бокового зазора применяют и свинцовые проволоочки, которые укладывают между контактирующими зубьями и после проворота передачи измеряют по толщине микрометром.

Погрешность обката червячного колеса  $F_{cr}$  определяют как составляющую кинематической погрешности червячного колеса при вращении его на технологической оси, под которой понимают ось, вокруг которого колесо вращается в процессе окончательной его обработки. При этом необходимо исключить циклические погрешности, частота которых равна числу зубьев червячного колеса, деленному на число заходов червяка, и кратных ей более высоких частот. Этот показатель, характеризующий кинематическую точность червячной делительной передачи зуборезного станка, на котором нарезается червячное колесо, может быть выявлен контролем кинематической погрешности станка.

#### 11.4. ДОПУСКИ И ПОСАДКИ ШЛИЦЕВЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Шлицевые соединения передают большие крутящие моменты, имеют большее сопротивление усталости и высокую точность центрирования и направления. В зависимости от профиля зубьев шлицевые соединения делят на: эвольвентные, треугольные и прямобоочные. *Шлицевые соединения с эвольвентным профилем зубьев* могут передавать большие крутящие моменты, имеют малую концентрацию напряжений у основания зубьев, повышенную циклическую долговечность, обеспечивают лучшее центрирование и направление деталей, проще в изготовлении и т. п. *Шлицевые соединения с треугольным профилем* применяют часто вместо посадок о натягом, а также при тонкостенных втулках для передачи небольших крутящих моментов.

Допуски и посадки *шлицевых соединений с прямобоочным профилем зубьев* ГОСТ 1139—80 определяются их назначением и принятой системой центрирования втулки относительно вала. Существуют три способа центрирования: по наружному диаметру  $D$  (рис. 11.31, а); внутреннему диаметру  $d$  (рис. 11.31, б) и боковым сторонам зубьев  $b$  (рис. 11.31, в).

*Центрирование по наружному диаметру  $D$*  рекомендуется, когда втулку не подвергают термической обработке или когда твердость её

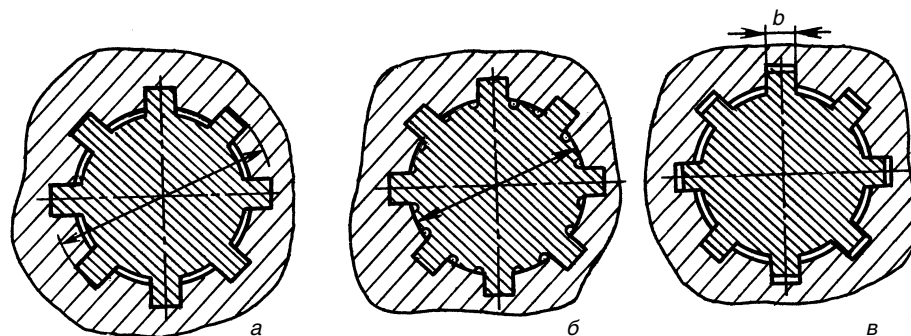


Рис. 11.31. Шлицевые соединения с прямобочным профилем с разным центрированием: а — по наружному диаметру; б — по внутреннему диаметру; в — по боковым сторонам

материала после термической обработки допускает калибровку протяжкой, а вал — фрезерование до получения окончательных размеров зубьев. Такой способ прост и экономичен. Его применяют для неподвижных соединений, а также для подвижных, воспринимающих небольшие нагрузки.

*Центрирование по боковым сторонам зубьев  $b$*  целесообразно применять при передаче знакопеременных нагрузок, больших крутящих моментов, а также при реверсивном движении. Этот метод способствует более равномерному распределению нагрузки между зубьями, но не обеспечивает высокой точности центрирования.

*Центрирование по внутреннему диаметру  $d$*  целесообразно, когда втулка имеет высокую твердость и ее нельзя обработать чистой протяжкой или когда могут возникнуть значительные искривления длинных валов после термической обработки.

Способ обеспечивает точное центрирование и применяется обычно для подвижных соединений.

Посадки шлицевых соединений назначают в системе отверстия по центрирующей цилиндрической поверхности и по боковым поверхностям впадин втулки и зубьев вала (т. е. по  $d$  и  $b$  или  $D$  и  $b$  или только по  $b$ ). Допуски и основные отклонения размеров  $d$ ,  $D$ ,  $b$  шлицевого соединения назначают по ГОСТ 25346—89. Посадки назначают в зависимости от способа центрирования, например:  $H7/f7$ ,  $H7/g6$  для  $d$ ,  $D9/h9$ ;  $F10/f9$  для  $b$ ;  $H7/f7$ ,  $H7/g6$  для  $D$  — посадки с зазором;  $H7/n6$ ,  $H7/j_6$  для  $d$  и  $D$  — переходные посадки. При высоких требованиях к точности центрирования необходимо обеспечивать наименьшие зазоры по центрирующим диаметрам; это увеличивает долговечность соединений.

Для *нецентрирующих диаметров* установлены следующие поля допусков: для  $D$  при центрировании по  $d$  или  $b$   $a11$  для вала и  $H12$  для втулки; для  $d$  при центрировании по  $D$  или  $b$   $H11$  для втулки. При указанных полях допусков нецентрирующих диаметров создаются значительные зазоры, обеспечивающие сопряжения только по посадочным поверхностям и облегчающие сборку шлицевых соединений.

### Условное обозначение шлицевых соединений

Обозначения шлицевых соединений валов и втулок содержат букву, обозначающую поверхность центрирования, число зубьев и номинальные размеры  $d$ ,  $D$  и  $b$  соединения вала и втулки, обозначения полей допусков или посадок диаметров, а также размера  $b$  помещаемого после соответствующих размеров.

*Примеры условного обозначения соединения.* Число зубьев  $z = 8$ , внутренним диаметром  $d = 36$  мм, наружным диаметром  $D = 40$  мм, шириной зуба  $b = 7$  мм, с центрированием по внутреннему диаметру, посадкой по диаметру центрирования  $H7/e8$  и по размеру  $b/D9/f8$ :  $d - 8 \times 36H7/e8 \times 40H12/a11 \times 7D9/f8$ ; то же, при центрировании по наружному диаметру с посадкой по диаметру центрирования  $H8/h7$  и по размеру  $b F10/h9$ :  $D - 8 \times 36 \times 40H8/h7 \times 7F10/h9$ ; то же, при центрировании по боковым сторонам:  $b - 8 \times 36 \times 40H12/a11 \times 7D9/h8$ . Пример условного обозначения отверстия втулки того же соединения при центрировании по внутреннему диаметру:  $d - 8 \times 36H7 \times 40H12 \times 7D9$ ; вала:  $d - 8 \times 36e8 \times 40a11 \times 7f8$ .

Допуски и посадки шлицевых эвольвентных соединений установлены ГОСТ 6033—80. В шлицевых эвольвентных соединениях (рис. 11.32)

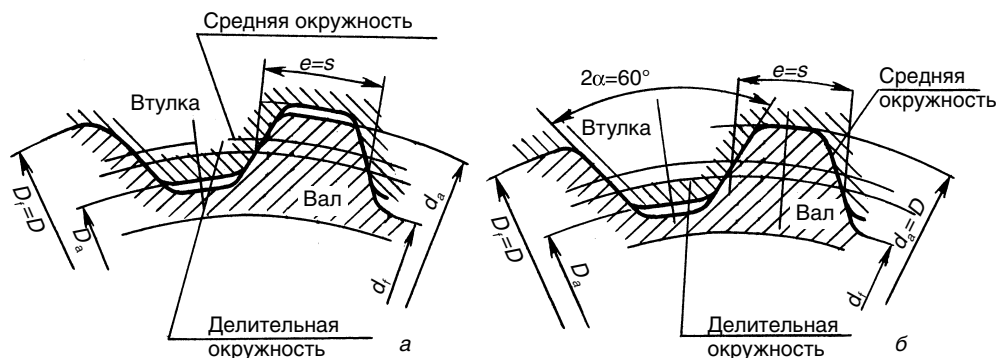


Рис. 11.32. Профиль зубьев эвольвентных шлицевых соединений:

а — центрирование по боковым поверхностям; б — центрирование по наружному диаметру

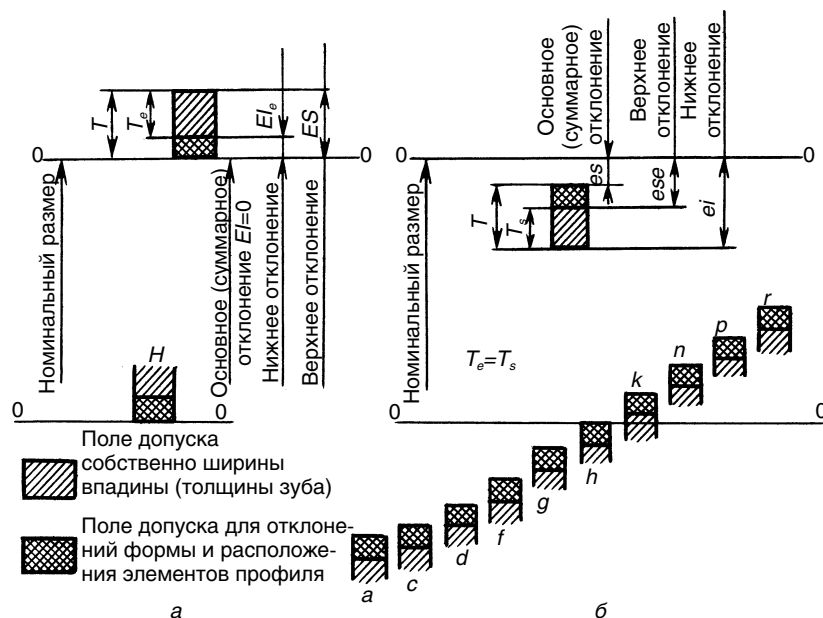


Рис. 11.33. Расположение полей допусков для эвольвентных шлицевых соединений:  
а — ширины  $e$  впадины втулки; б — толщины зуба  $s$

втулку относительно вала центрируют по боковым поверхностям зубьев или по наружному диаметру. Центрирование по внутреннему диаметру не рекомендуется. На рис. 11.32 заглавными буквами обозначены диаметры втулки, строчными — вала. Индексы при диаметрах обозначают:  $f$  — окружность впадин;  $a$  — окружность вершин.

При *центрировании по боковым поверхностям* установлено два вида допусков ширины  $e$  впадины втулки (рис. 11.33, а) и толщины  $s$  зуба вала (рис. 11.33, б):  $T_e$  ( $T_s$  — допуск собственно ширины впадины втулки (толщины зуба вала);  $T$  — суммарный допуск, включающий отклонения формы и расположения элементов профиля впадины (зуба).

### Контроль точности шлицевых соединений

Шлицевые соединения, как правило, контролируют комплексными проходными калибрами. При этом поэлементный контроль осуществляют непроходными калибрами или измерительными приборами. В спорных случаях контроль с применением комплексного калибра является решающим.

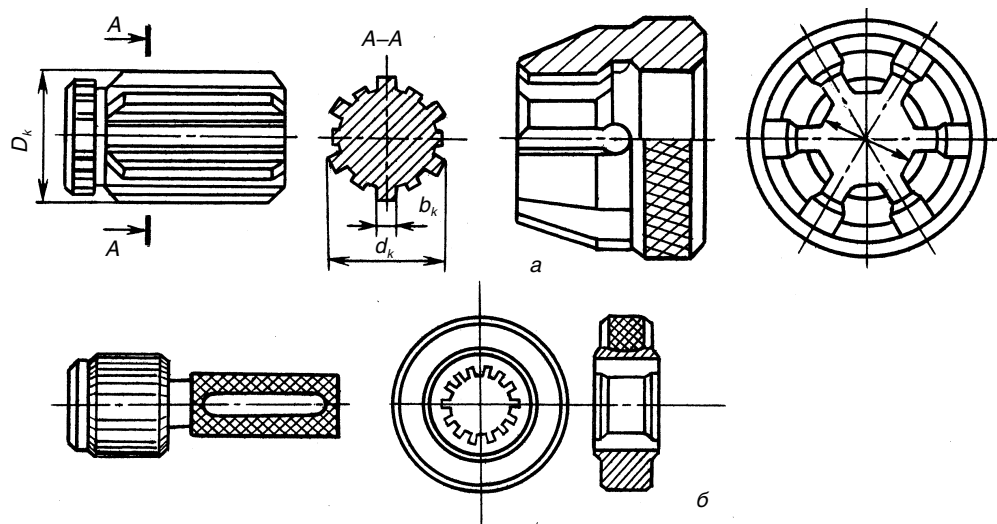


Рис. 11.34. Комплексные шлицевые калибры для контроля элементов шлицевых соединений:  
а — прямобочных; б — эвольвентных

При использовании комплексных калибров отверстие считают годным, если комплексный калибр-пробка проходит, а диаметры и ширина паза не выходят за установленные верхние пределы; вал считают годным, если комплексный калибр-кольцо проходит, а диаметры и толщина зуба не выходят за установленные нижние пределы.

Расположение полей диаметров и размеры пазов, формулы для определения размеров рабочей части калибров и допуски калибров для контроля шлицевых прямобочных соединений регламентированы ГОСТ 7951—80, эвольвентных — ГОСТ 24969—81. Калибры для контроля шлицевых соединений показаны на рис. 11.34, а, б.

## ГЛАВА 12

# РАСЧЁТ ТОЧНОСТИ РАЗМЕРОВ, ВХОДЯЩИХ В РАЗМЕРНЫЕ ЦЕПИ

### 12.1. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ. ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

В готовом изделии размеры деталей взаимосвязаны между собой, изменение одного из них вызывает изменение других. Показатели качества функционирования изделий обеспечиваются тогда, когда геометрические параметры составляющих их деталей и сборочных единиц имеют значения находящиеся в заданных пределах. Размеры, находящиеся в изделии во взаимной связи образуют *размерные цепи*. Размерные цепи отражают объективные размерные связи в конструкции машины, в технологических процессах изготовления ее деталей и сборки, при измерении. Эти связи возникают в соответствии с условием и принятым решением конструкторской, технологической задачи или задачи измерения. Свойства и закономерности размерных цепей отражаются системой понятий и аналитическими зависимостями, позволяющими производить расчет номинальных размеров, допусков, координат середин полей допусков и обеспечивать наиболее экономичным путем точность изделий при конструировании, изготовлении, ремонте и во время эксплуатации.

При расчете точности относительного положения деталей и их поверхностей учитывают взаимосвязь многих размеров деталей в изделии. Например, при изменении размеров  $A_1$  и  $A_2$  (рис. 12.1, а) зазоры  $A_\Delta$  также изменяются. Можно построить метрические модели в виде замкнутых цепей размеров, которые будут отражать эти взаимосвязи (рис. 12.1, б).

Термины и определения, раскрывающие сущность размерной цепи и ее структуру; соотношения между элементами размерной цепи; виды размерных цепей; связи между размерными цепями; методы достижения точности изделий при помощи размерных цепей; методику построения размерных цепей; методику расчета плоских размерных цепей; примеры расчета размерных цепей содержатся в РД 50-635—87. Методические указания распространяются на изделия машиностроения и

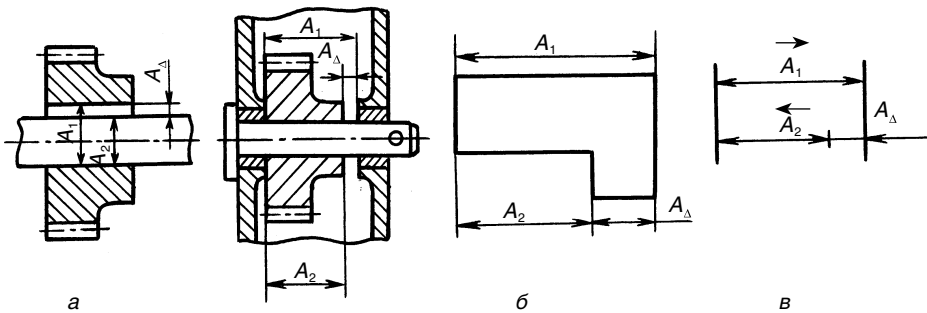


Рис. 12.1. Взаимосвязи размеров: а — в сборке; б — в детали; в — размерная цепь

приборостроения и являются методической основой при разработке межотраслевой и отраслевой нормативно-технической документации в области расчета размерных цепей.

**Размерная цепь** — совокупность размеров, непосредственно участвующих в решении поставленной задачи и образующих замкнутый контур. Например, с помощью размерных цепей можно определять точность взаимного расположения осей и поверхностей одной детали — поддетальная размерная цепь (рис. 12.1, б) или нескольких деталей в узле или механизме — сборочная размерная цепь (рис. 12.1, а). Замкнутость размерного контура — необходимое условие для составления и анализа размерной цепи. **База** — поверхность или выполняющее ту же функцию сочетание поверхностей, ось, точка, принадлежащая заготовке или изделию и используемая для базирования. Размеры, образующие размерную цепь, называют **звеньями размерной цепи**. Звенья размерной цепи обозначаются прописной или строчной буквой.

По взаимному расположению звеньев размерные цепи делят на плоские и пространственные. **Размерную цепь** называют **плоской**, если все ее звенья расположены в одной или нескольких параллельных плоскостях. **Пространственная размерная цепь** — размерная цепь, звенья которой расположены в непараллельных плоскостях. Размерные цепи различают также по виду звеньев: **линейная**, **угловая**, **скалярная**, **векторная**. Размерные цепи, звеньями которых являются линейные размеры, называют **линейными размерными цепями**, если звенья — угловые размеры, то это — **угловая размерная цепь** и т.д.

В размерных цепях некоторые звенья могут быть общими. **Параллельно связанные размерные цепи** — размерные цепи, имеющие одно или несколько общих звеньев (12.2, а). **Последовательно связанные раз-**

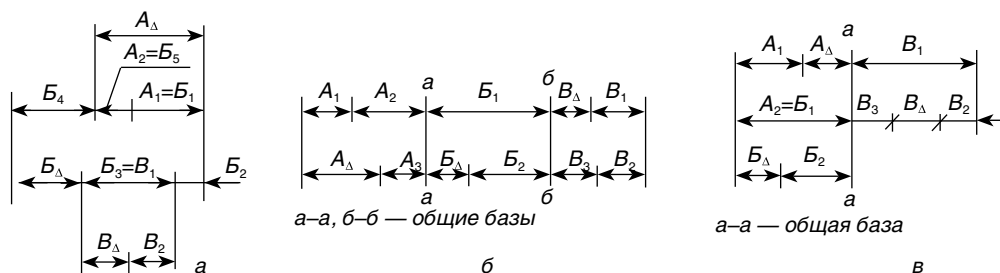


Рис. 12.2. Размерные цепи с общими звеньями:

а — размерные цепи с несколькими общими звеньями; б — размерные цепи с общей базой;

в — комбинированная размерная цепь

**мерные цепи** — размерные цепи, из которых каждая последующая имеет одну общую базу с предыдущей (рис. 12.2, б). **Размерные цепи с комбинированной связью** — размерные цепи, между которыми имеются параллельные и последовательные связи (рис. 12.2, в).

Размерная цепь содержит замыкающее и составляющие звенья. **Замыкающим** называют размер, который получается последним в процессе выполнения какой-либо задачи, например, обработки детали, сборки узла машины, измерения. Величина и точность замыкающего звена зависят от величины и точности всех остальных размеров цепи, называемых **составляющими**. Звено сборочной размерной цепи, точность которого определяет качество функционирования изделия и для обеспечения, точности которого решается размерная цепь, называют **исходным (функциональным) размером** (см. также раздел 7.4). Исходными могут быть: зазор, натяг, величина перемещения детали, параллельность рабочей плоскости стола оси вращения горизонтально-фрезерного станка и т. п. Исходя из предельных значений этого размера, рассчитывают допуски и отклонения составляющих размеров цепи. В процессе сборки исходный размер, как правило, становится замыкающим. В поддетальной размерной цепи размер, исходя, из точности которого определяют степень точности остальных размеров, также называют исходным.

**Составляющие** размеры размерной цепи в зависимости от знака коэффициента влияния могут быть увеличивающими и уменьшающими. **Увеличивающее звено** — составляющее звено размерной цепи, с увеличением которого замыкающее звено увеличивается. **Уменьшающее звено** — составляющее звено размерной цепи, с увеличением которого замыкающее звено уменьшается.

Замыкающий размер  $A_\Delta$  в трехзвенной цепи (см. рис. 12.1, в) зависит от размера  $A_1$ , являющегося увеличивающим (чем больше его величина, тем

больше значение  $A_{\Delta}$ ), и размера  $A_2$ , являющегося уменьшающим (при его увеличении  $A_{\Delta}$  уменьшается). Увеличивающие звенья обозначают буквой с индексом «ув», например  $A_{ув}$  или стрелкой, поставленной над буквенным обозначением звена и направленной вправо  $\overrightarrow{A}$ ; уменьшающие —  $A_{ум}$  или стрелкой, направленной влево  $\overleftarrow{A}$ . Замыкающее звено обозначают  $A_{\Delta}$  или  $A_0$ .

Расчет и анализ размерных цепей позволяет: установить количественную связь между размерами деталей и других составных частей изделия, рассчитать их номинальные значения, допуски и предельные отклонения и является обязательным этапом конструирования изделий. Расчет размерной цепи заключается в установлении допусков и предельных отклонений всех её звеньев исходя из требований к точности размера замыкающего звена в конструкции или в технологическом процессе.

## 12.2. РЕШЕНИЕ И ПОРЯДОК ПОСТРОЕНИЯ РАЗМЕРНЫХ ЦЕПЕЙ

### Методы достижения точности замыкающего звена

Расчётные методы могут быть основаны на метрической модели, в которой принимается самое неблагоприятное сочетание составляющих звеньев (*max-min*) или принятие другой более реальной модели, в которой принимается случайное сочетание случайных значений составляющих звеньев. В зависимости от этого различают методы достижения точности замыкающего звена.

*Метод полной взаимозаменяемости* — метод, при котором требуемая точность замыкающего звена размерной цепи достигается во всех случаях ее реализации путем включения составляющих звеньев без выбора, подбора или изменения их значений.

*Метод неполной взаимозаменяемости* — метод, при котором требуемая точность замыкающего звена размерной цепи достигается с некоторым риском путем включения в нее составляющих звеньев без выбора, подбора или изменения их значений.

*Метод групповой взаимозаменяемости* — метод, при котором требуемая точность замыкающего звена размерной цепи достигается путем включения в размерную цепь составляющих звеньев, принадлежащих к соответственным группам, на которые они предварительно рассортированы.

*Метод пригонки* — метод, при котором требуемая точность замыкающего звена размерной цепи достигается изменением значения компенсирующего звена путём изменения его размера, путём удаления необходимого слоя материала.

*Метод регулирования* — метод, при котором требуемая точность замыкающего звена размерной цепи достигается изменением значения компенсирующего звена путём установки необходимого значения компенсатора без удаления слоя материала.

### **Решаемые задачи и способы расчёта размерных цепей**

Различают две задачи: 1) определение номинального размера, предельных отклонений и допуска замыкающего звена по заданным номинальным размерам и предельным отклонениям составляющих звеньев (в случаях, когда требуется проверить соответствие допуска замыкающего размера допускам составляющих размеров, проставленных на чертеже, — проверочный расчет); 2) определение допуска и предельных отклонений составляющих размеров по заданным номинальным размерам всех размеров цепи и заданным предельным размерам исходного размера (при проектном расчете размерной цепи).

*Прямая (проектная) задача* — задача, при которой заданы параметры замыкающего (исходного) звена (номинальное значение, допустимые отклонения и т. д.) и требуется определить параметры составляющих звеньев.

*Обратная (проверочная) задача* — задача, в которой известны параметры составляющих звеньев (допуски, поля рассеяния, координаты, их середин и т. д.) и требуется определить параметры замыкающего звена.

По характеру решаемых задач, размерные цепи могут быть: *конструкторские, технологические, динамические (эксплуатационные)*. Задача обеспечения точности при конструировании изделий решается с помощью *конструкторских размерных цепей*. Задача обеспечения точности при изготовлении деталей — с помощью *технологических размерных цепей*, выражающих связь размеров обрабатываемой детали по мере выполнения технологического процесса или размеров технологической системы СПИД (станок — приспособление — инструмент — деталь). Решение задачи точности измерения проводят на основе *измерительных размерных цепей*, звеньями которых являются размеры системы измерительное средство — измеряемая деталь

*Статическая задача* — задача, решаемая без учета факторов, влияющих на изменение звеньев размерной цепи во времени.

В процессе эксплуатации изделия происходят изменения размеров, взаимного расположения поверхностей вследствие действия температурных, силовых деформаций, износа и других факторов, поэтому рассматривают *динамические размерные цепи* учитывают реальные условия эксплуатации.

*Динамическая задача* — задача, решаемая с учётом факторов, влияющих на изменение звеньев размерной цепи во времени.

*Способ расчёта на максимум-минимум* — способ расчёта, учитывающий только предельные отклонения звеньев размерной цепи и самые неблагоприятные их сочетания.

*Вероятностный способ расчёта* — способ расчёта, учитывающий рассеяние размеров и вероятность различных сочетаний отклонений составляющих звеньев размерной цепи.

### Порядок построения размерных цепей

Размерную цепь изображают в виде схемы, представляющую собой метрическую модель изделия в целом или его составной части (см. рис. 12.1, б, в, е, с. 360 и 12.2, с. 361). Метрические модели можно представлять и в другом виде, например, аналитическом или в виде графов. При построении размерной цепи необходимо соблюдать определённую последовательность. На схеме конец одного звена является началом другого, звеньями размерной цепи могут быть только размеры, обозначенные на чертеже. В некоторых случаях вместо диаметра необходимо включать радиус, при этом допуск и предельные отклонения также делятся пополам. Размер звена должен быть представлен в виде номинального значения и предельных отклонений. Например, если задано  $S = 1,1 \pm 1,2$ ,  $S_0 = 1$  мм, то размер звена  $S$  необходимо представить в виде  $1^{+0,2}_{+0,1}$ . Звенья на схемах размерных цепей обозначаются, как представлено на рис. 12.3. Линейные размеры — двусторонней стрелкой (рис. 12.3, а); параллельность — односторонней стрелкой с направлением от острия к базе (рис. 12.3, б); перпендикулярность — односторонней стрелкой с направлением острия к базе (рис. 12.3, в). Направление перемещения по контуру при построении размерной цепи, отображённое на схеме стрелкой, позволяет проверить правильность разделения звеньев на увеличивающие и уменьшающие, поскольку они будут направлены в разные стороны.

В зависимости от решаемой задачи изображают схему изделия, технологической системы станок — приспособление — инструмент — деталь (СПИД), технологического процесса или измерения, на которую наносят размерную цепь или размерные цепи. Допускается, для каждой размерной цепи изображать отдельную схему.

Первым находят замыкающее звено. Далее, начиная от одной из поверхностей (осей), ограничивающих замыкающее звено, находят составляющие звенья размерной цепи, непосредственно участвующие в решении поставленной задачи, и доходят до второй поверхности (оси), ограничивающей замыкающее звено. Замыкающее звено размерной цепи находят,

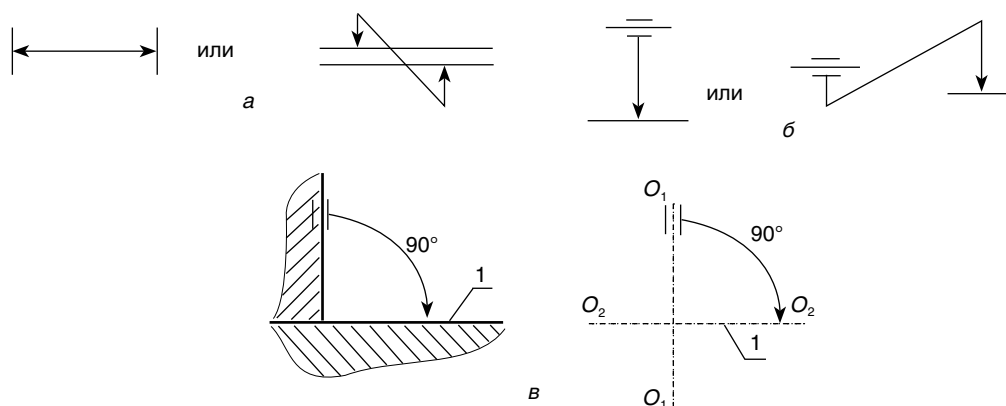


Рис. 12.3. Условные обозначения звеньев

исходя из условия задачи возникающей при конструировании изделия, его изготовлении или измерениях. Поэтому вначале должна быть поставлена и четко сформулирована задача, решение которой необходимо для обеспечения соответствия конструкции изделия его служебному назначению, обеспечения требуемой точности изделия при изготовлении или оценке его точности при измерении.

При конструировании изделия переход от формулировки задачи к нахождению замыкающего звена заключается в выявлении такого линейного или углового размера, от значения которого полностью зависит решение конструкторской задачи. При изготовлении изделия замыкающим звеном размерной цепи является размер, точность которого должна быть обеспечена технологическим процессом. При измерении замыкающим звеном является измеренный размер. Таким образом, в замыкающем звене заключен смысл решаемой задачи, из чего следует, что каждая размерная цепь дает решение только одной задачи и может иметь одно замыкающее звено.

Допуск замыкающего звена устанавливается в конструкторских размерных цепях, исходя из служебного назначения изделия или его механизма. В технологических размерных цепях — в соответствии с допуском на расстояние или относительный поворот поверхностей детали (их осей) или деталей изделия, которые необходимо получить в результате осуществления технологического процесса изготовления детали или сборки изделия. В измерительных размерных цепях — исходя из требуемой точности измерения.

### 12.3. ЗАВИСИМОСТИ ДЛЯ РАСЧЁТА РАЗМЕРНЫХ ЦЕПЕЙ

#### Метод обеспечения полной взаимозаменяемости

**Проверочная (обратная) задача.** Обеспечение полной взаимозаменяемости, оценивается на основе расчётов размерных цепей методом максимума-минимума, при котором допуск замыкающего размера определяют арифметическим сложением допусков составляющих размеров, т.е. нахождением предельной погрешности. Метод расчета на максимум-минимум, учитывающий только предельные отклонения звеньев размерной цепи и самые неблагоприятные их сочетания, обеспечивает, заданную точность сборки без подгонки и подбора деталей. Вывод общих зависимостей для расчета размерных цепей рассмотрим на примерах. При изготовлении детали (рис. 12.4, а) вначале обрабатывают базовую плоскость 1; затем по настройке от этой базы — плоскость 2 в размер  $A_2$  и плоскость 3 в размер  $A_1$ . Размерная цепь показана на рис. 12.4, б. Из этой трёхзвенной цепи имеем  $A_\Delta = A_1 - A_2$ , где  $A_1$  увеличивающее, а  $A_2$  уменьшающее звенья. В случае, если в размерной цепи  $n$  звеньев увеличивающих и  $p$  звеньев уменьшающих, получим:  $A_\Delta$  — номинальный размер замыкающего звена равен разности между суммой номинальных размеров увеличивающих звеньев  $A_{j_{ув}}$  и суммой номинальных размеров уменьшающих звеньев  $A_{j_{ум}}$

$$A_\Delta = \sum_{j=1}^n A_{j_{ув}} - \sum_{j=1}^p A_{j_{ум}}. \quad (12.1)$$

Предельные размеры замыкающего звена равны  $A_{\Delta \max} = A_{1 \max} - A_{2 \min}$ ;  $A_{\Delta \min} = A_{1 \min} - A_{2 \max}$  или в общем случае

$$A_{\Delta \max} = \sum_{j=1}^n A_{j_{ув \max}} - \sum_{j=1}^p A_{j_{ум \min}}. \quad (12.2)$$

$$A_{\Delta \min} = \sum_{j=1}^n A_{j_{ув \min}} - \sum_{j=1}^p A_{j_{ум \max}}. \quad (12.3)$$

Если вычесть почленно из уравнений (12.1) уравнения (12.2) получим предельные отклонения замыкающего звена

$$E_s A_\Delta = \sum_{j=1}^n E_s A_{j_{ув}} - \sum_{j=1}^p E_i A_{j_{ум}}. \quad (12.4)$$

$$E_i A_\Delta = \sum_{j=1}^n E_i A_{j_{ув}} - \sum_{j=1}^p E_s A_{j_{ум}} \quad (12.5)$$

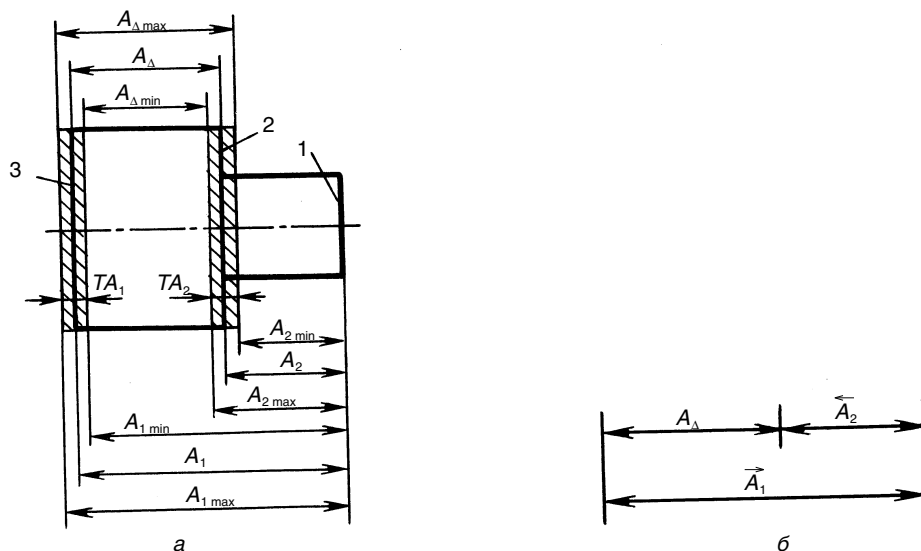


Рис. 12.4. К выводу зависимостей для расчёта размерных цепей

Вычитая из (12.2) уравнение (12.3) или из (12.4) уравнение (12.5), получим:  $TA_\Delta$  — допуск замыкающего звена равен сумме допусков всех составляющих звеньев  $TA_j$

$$TA_\Delta = \sum_{j=1}^m TA_j, \quad (12.6)$$

где  $m = n + p$  число составляющих звеньев.

Из уравнения (12.6) следует, что при конструировании или проектировании технологического процесса, необходимо стремиться к тому, чтобы: а) число звеньев в размерной цепи было наименьшим — «принцип кратчайшей размерной цепи», так как при этом обеспечивается наименьшая погрешность замыкающего звена; б) замыкающим был размер, к точности которого не предъявляется высоких требований, так как его погрешность будет наибольшей.

Получим уравнения, для определения предельных отклонений замыкающего размера другим, путём используя координату середины поля допуска  $E_c A_j$ . Координатой середины поля допуска удобно пользоваться в расчётах *max-min* и вероятностных; уравнения (12.2) — (12.6) для вероятностных расчётов не пригодны. На рис. 12.5 представлена схема для определения координаты середины поля допуска любого звена  $E_c A_j$ .

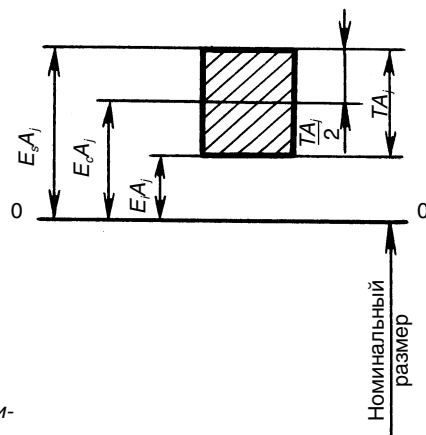


Рис. 12.5. Схема определения координаты середины поля допуска  $E_c A_j$

Для любого звена координата середины поля допуска определяется как полусумма верхнего и нижнего предельных отклонений, т.е.:  $E_c A_j = 0,5(E_s A_j + E A_j)$ ; аналогично для замыкающего  $E_c A_\Delta = 0,5(E_s A_\Delta + E A_\Delta)$ . Предельные отклонения любого звена равны

$$E_s A_j = E_c A_j + \frac{TA_j}{2}; E A_j = E_c A_j - \frac{TA_j}{2} \quad (12.7)$$

$E_c A_\Delta$  — координата середины поля допуска замыкающего звена равна разности между суммой координат середин полей допусков увеличивающих звеньев  $E_c A_{jув}$  и суммой координат середин полей допусков уменьшающих звеньев  $E_c A_{jум}$ , т.е.:

$$E_c A_\Delta = \sum_{j=1}^n E_c A_{jув} - \sum_{j=1}^p E_c A_{jум}. \quad (12.8)$$

**Пример.** Определить осевой зазор, если детали механизма (рис. 12.6, а) по увеличивающим размерам изготовлены по  $H10$ , а по уменьшающим — по  $h9$ .

Составляем схему размерной цепи (рис. 12.6, б) и выявляем по ней замыкающий размер  $A_\Delta$ , увеличивающие ( $A_1, A_2$ ) и уменьшающие ( $A_3, A_4, A_5$ ) размеры. Замыкающий размер  $A_\Delta$  получается последним в результате выполнения задачи — сборка узла механизма.

Номинальное значение замыкающего размера  $A_\Delta$  определяем по уравнению (12.1):

$$A_\Delta = (101 + 50) - (5 + 140 + 5) = 1 \text{ мм.}$$

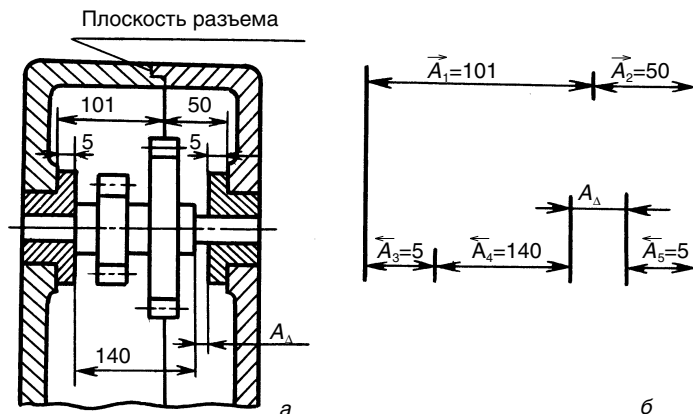


Рис. 12.6. Узел механизма

По ГОСТ 25347—82 отклонения составляющих размеров:  $A_1 = 101^{+0,14}$ ;  $A_2 = 50^{+0,1}$ ;  $A_3 = A_5 = 5_{-0,03}$ ;  $A_4 = 140_{-0,1}$ .

По уравнению (12.6) определяем допуск замыкающего размера:

$$TA_{\Delta} = 140 + 100 + 30 + 100 + 30 = 400 \text{ мкм.}$$

По уравнению (12.8) находим координату середины поля допуска замыкающего размера:

$$E_c A_{\Delta} = E_c A_1 + E_c A_2 - (E_c A_3 + E_c A_4 + E_c A_5) = (70 + 50) - ((-15) + (-50) + (-15)) = 200 \text{ мкм.}$$

По формулам (12.7) определяем верхнее и нижнее предельные отклонения замыкающего звена:

$$E_s A_{\Delta} = E_c A_{\Delta} + \frac{TA_{\Delta}}{2} = 200 + 400/2 = 400 \text{ мкм;}$$

$$E_i A_{\Delta} = E_c A_{\Delta} - \frac{TA_{\Delta}}{2} = 200 - 400/2 = 0.$$

Таким образом, осевой зазор равен  $A_{\Delta} = 1^{+0,40}$  мм.

Необходимый признак правильности решения задачи можно проверить, определив по уравнениям (12.2) и (12.3) предельные размеры замыкающего звена:

$$A_{\Delta \max} = (101,14 + 50,10) - (4,97 + 139,90 + 4,97) = 1,4 \text{ мм;}$$

$$A_{\Delta \min} = (101,0 + 50,0) - (5,0 + 140,0 + 5,0) - 1,0 \text{ мм, т. е. } A_0 = 1^{+0,40} \text{ мм.}$$

Проверка показала, что необходимый признак правильности решения задачи соблюдается.

**Проектная (прямая) задача.** Проектную задачу решают, как правило, при разработке новых изделий. Цель расчета — назначение допусков составляющих размеров при заданном допуске исходного размера, который обеспечивает выполнение изделием его служебного назначения с показателями качества функционирования, находящимися в заданных пределах. Точность составляющих размеров должна быть такой, чтобы гарантировалась заданная точность исходного (функционального) размера. Задача в общем случае не определима, так как число уравнений меньше числа неизвестных. Для получения определённого решения необходимо наложение дополнительных связей, т.е. принятия тех или иных допущений. В связи с этим различают следующие способы решения проектной задачи: способ равных допусков, способ равноточных допусков, способ прецедентов, комбинированный способ (см. также раздел 7.4.2).

*Способ равных допусков* применяют, если составляющие размеры являются величинами одного порядка (например, входят в один интервал диаметров) и могут быть выполнены с примерно одинаковой экономической точностью. В этом случае можно условно принять  $TA_1 = TA_2 = \dots = T_m = TA_{cp}$ .

Тогда из уравнения (12.6) получим  $TA_{\Delta} = m TA_{cp}$ , откуда  $TA_{cp} = TA_{\Delta} / m$ . Средний допуск  $TA_{cp}$  корректируют для некоторых составляющих размеров в зависимости от их величины, конструктивных требований и технологических условий изготовления, при этом  $TA_{\Delta} \geq \sum_{j=1}^m TA_j$ . При этом, как правило, надо использовать стандартные поля допусков, желательно предпочтительного применения.

*Способ равноточных допусков* предполагает, что все составляющие размеры выполнены по одному качеству точности. При решении задачи этим способом используется взаимосвязь допуска с размером и понятие единицы допуска (см. также раздел 7.3). В этом случае  $ITA_1 = ITA_2 = \dots = ITA_m$ , а следовательно  $a_1 = a_2 = \dots = a_m = a_{cp}$ , имея в виду, что  $TA_{\Delta} = \sum_{j=1}^m a_j i_j$ , общий для всех размеров средний коэффициент точности равен

$$a_{cp} = \frac{TA_{\Delta}}{\sum_{j=1}^m i_j} \quad (12.9)$$

Единица допуска  $i$  зависит от номинального размера (табл. 12.1).

Таблица 12.1

**Значения единицы допуска**

| Интервалы размеров, мм | 3–6  | 6–10 | 10–18 | 18–30 | 30–50 | 50–80 | 80–120 | 120–180 | 180–250 | 250–315 | 315–400 |
|------------------------|------|------|-------|-------|-------|-------|--------|---------|---------|---------|---------|
| Значение $i$ , мкм     | 0,73 | 0,90 | 1,08  | 1,31  | 1,56  | 1,86  | 2,17   | 2,52    | 2,90    | 3,23    | 3,54    |

По подсчитанной величине  $a_{\text{ср}}$  ориентировочно можно определить квалитет всех звеньев размерной цепи пользуясь табл. 12.2.

Таблица 12.2

**Коэффициент точности**

| Квалитет             | 5 | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11  | 12  | 13  | 14  |
|----------------------|---|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|
| Число единиц допуска | 7 | 10 | 16 | 25 | 40 | 64 | 100 | 160 | 250 | 400 |

В том случае, если  $a_{\text{ср}}$  незначительно отличается от принятого значения  $a$  для какого-либо квалитета, то величины допусков на размеры  $A_j$  можно взять из таблиц стандарта, а затем скорректировать их так, чтобы удовлетворялось условие  $TA_{\Delta} \geq \sum_{j=1}^m TA_j$ . Рассмотрим примеры.

**Пример 1.** Определить допуски составляющих размеров деталей узла, показанного на рис. 12.6. Если из условий функционирования заданы предельные значения осевого зазора  $A_{\Delta} = 1,0 \div 1,75$  мм и номинальные значения составляющих размеров деталей узла. Исходя из условия, предельные отклонения исходного размера:  $A_{\Delta \text{ max}} = 1,75$  мм;  $A_{\Delta \text{ min}} = 1$  мм. Находим номинальный размер исходного звена. На основании формулы (12.1) имеем:

$A_{\Delta} = (A_1 + A_2) - (A_3 + A_4 + A_5) = (101 + 50) - (5 + 140 + 5) = 1$  мм, тогда  $A_{\Delta} = 1^{+0,75}$ , а  $TA_{\Delta} = 0,75$  мм.

Определяем среднее число единиц допуска для размеров цепи по формуле (12.9), значения  $i$  берем по табл. 12.1 получим  $a_{\text{ср}} = \frac{750}{2,17+1,56+0,73+0,73+2,52}$ . Для

рассматриваемого примера найденное число единиц допуска больше принятого для 10-го квалитета, но немного меньше, чем для 11-го квалитета. Устанавливаем для всех размеров цепи, кроме размера  $A_4$ , допуск по 11-му квалитету. Допуск размера  $A_4$  можно назначить несколько меньшим, так как вал по этому размеру легко обработать с большей точностью.

По ГОСТ 25347—82 допуски для размеров  $A_1$ ,  $A_2$ ,  $A_3$  и  $A_5$  равны 0,22; 0,16; 0,075 и 0,075 мм соответственно. Исходя из равенства (12.6), на долю размера  $A_4$  остается допуск 0,22 мм, однако целесообразно принять его стандартным по 10-му качеству, т. е. равным 0,16 мм. Таким образом, назначаем следующие предельные отклонения составляющих размеров для охватываемых поверхностей как для основных отверстий, т. е. со знаком «плюс»; для охватываемых — как для основных валов, т. е. со знаком «минус»:  $A_1 = 101^{+0,22}$  мм;  $A_2 = 50^{+0,16}$  мм;  $A_3 = A_5 = 5_{-0,075}$  мм;  $A_4 = 140_{-0,16}$  мм.

Проверка показывает, что установленные предельные отклонения удовлетворяют (с некоторым запасом из-за принятого стандартного допуска  $TA_4$ ) уравнениям (12.2) и (12.3).

**Пример 2.** Определить размер для измерения глубины внутреннего уступа втулки (рис. 12.7, а) от технологической базы  $cd$ . Все размеры втулки заданы от конструктивной базы  $ab$ .

Вводим технологический размер  $A_1$  от технологической базы, определяем его отклонения и допуск. Последовательность обработки должна быть такой, чтобы замыкающим размером являлся конструктивный размер с наибольшим допуском, т. е. размер  $B_2$  (рис. 12.7, б).

По уравнениям (12.4) и (12.5) получим  $+0,1 = 0 - E_i A_1$ , откуда  $E_i A_1 = -0,1$  мм;  $-0,1 = -0,12 - E_s A_1$ , откуда  $E_s A_1 = -0,02$  мм;  $A_1 = 6_{-0,10}^{+0,02}$ ;  $TA_1 = 0,08$  мм. Проверяем решение первой размерной цепи по уравнению (12.6):  $TB_2 - TB_1 + TA_1 = 0,2$  мм. От технологической базы может быть проставлен и размер  $A_2$ , но замыкающим будет размер  $B_3$  (рис. 12.7, в). По уравнениям (12.4) и (12.5) для второй размерной цепи находим  $A_2 = 36_{-0,15}^{+0,03}$  мм;  $TA_2 = 0,18$  мм.

Следует отметить, что допуск технологического размера уменьшается по сравнению с конструктивным на сумму допусков остальных составляющих размеров, входящих в технологическую размерную цепь. Чтобы избе-

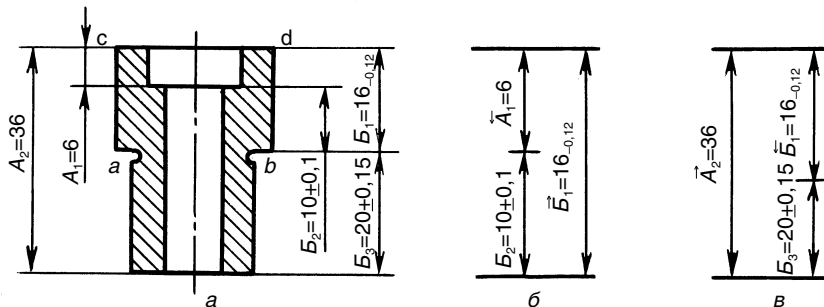


Рис. 12.7. Эскиз детали и варианты схем размерных цепей

жать пересчет размеров технологическая база по возможности должна совпадать с конструктивной, т.е. соблюдаться принцип единства баз.

Расчет размерных цепей методом максимума-минимума обеспечивает полную взаимозаменяемость деталей и узлов. Однако он может оказаться экономически целесообразным лишь для изделий сравнительно невысокой точности или для изделий, состоящих из малого числа деталей. В других случаях допуски могут оказаться чрезмерно жесткими и технологически трудно выполнимыми.

В таких случаях допуски рассчитывают вероятностным или другим методом, которые не обеспечивают полную взаимозаменяемость, но дают возможность получить значительно более высокую точность. К ним относятся, например, селективная сборка, основанная на групповом подборе деталей, применение компенсаторов или подгонке одной из деталей по заранее определенному размеру.

### Вероятностный метод расчёта

**Проверочная (обратная) задача.** Если принять, что погрешности составляющих и замыкающего размеров подчиняются закону нормального распределения, а границы их вероятного рассеяния ( $6\sigma$ ) совпадают с границами полей допусков, т. е. можно принять  $TA_j = 6\sigma A_j$ . (см. также разделы 5.3 и 5.4).

Уравнение для определения допуска замыкающего размера имеет вид

$$TA_{\Delta} = \sqrt{\sum_{j=1}^m TA_j^2}. \quad (12.10)$$

После определения  $TA_{\Delta}$  по формуле находят (12.8) значение  $E_c A_{\Delta}$ , а затем по уравнениям (12.7) — величины  $E_s A_{\Delta}$  и  $E_i A_{\Delta}$ .

Формула (12.10) получена из предположения, что распределение действительных размеров подчиняется закону Гаусса, центр группирования совпадает с серединой поля допуска, а поле рассеяния — с величиной допуска. При несимметричных законах распределения центр группирования не совпадает с серединой поля допуска (рис. 12.8).

Координата центра группирования для несимметричного закона распределения равна

$$E_M A_j = E_c A_j + \alpha_j TA_j / 2. \quad (12.11)$$

где  $\alpha_j$  — коэффициент относительной асимметрии несимметричной кривой распределения отклонений  $j$ -го размера. Коэффициент относительной асимметрии кривой распределения определяет величину смещения центра группирования отклонений относительно середины поля допуска  $TA_j$ ;

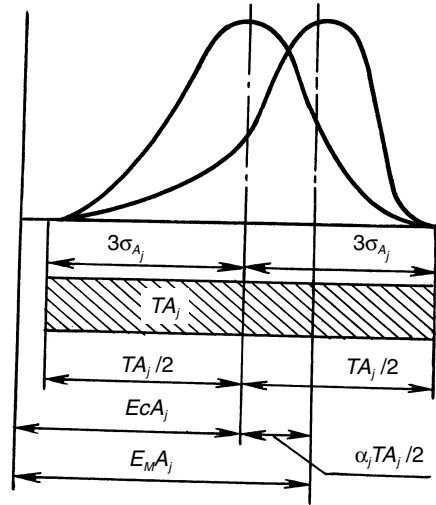


Рис. 12.8. Координата центра группирования для несимметричной кривой распределения

его выражают в долях половины допуска  $TA_j/2$ . Из формулы (12.11) следует, что

$$\alpha_j = \frac{E_M A_j - E_c A_j}{0,5TA_j}. \quad (12.12)$$

Если поле допуска симметрично относительно номинального размера и закон распределения является нормальным, то  $E_c A_j = 0$ ,  $E_M A_j = 0$  и  $\alpha_j = 0$ . При условии асимметрии кривой распределения размеров, которая характеризуется  $\alpha_j$  координата середины поля допуска равна

$$E_c A_j = E_M A_j - \alpha_j TA_j/2. \quad (12.13)$$

После подстановки значений  $E_c A_j$  в уравнение (12.8) получают значение координаты середины поля допуска замыкающего звена при асимметричных кривых распределения составляющих размеров. Величины предельных отклонений замыкающего размера определяют, используя формулы (12.7). В общем случае в производственных условиях случайные погрешности размеров деталей могут распределяться не по закону Гаусса. Для определения допуска замыкающего размера при любом законе распределения в формулу (12.10) вводят коэффициент относительного рассеяния  $k_j$ , т. е.

$$TA_\Delta = \frac{1}{k_\Delta} \cdot \sqrt{\sum_{j=1}^m TA_j^2 \cdot k_j^2}. \quad (12.14)$$

Коэффициенты  $k_j$  и  $k_\Delta$  в определенной степени характеризуют отличие распределения погрешностей  $j$ -го и замыкающего звеньев от распределения по закону Гаусса. Коэффициенты  $\alpha_\Delta$  и  $k_\Delta$  для замыкающих размеров вводят тогда, когда  $m < 6$ . Коэффициент  $k_j = 6\sigma / V_{\text{lim}}$ , где  $V_{\text{lim}}$  — предельное поле рассеяния случайной величины. Для закона нормального распределения  $V_{\text{lim}} = 6\sigma_j$  (см. также раздел 5.4). Тогда  $k_j = \frac{6\sigma_j}{6\sigma_j} = 1$ . Когда имеет место закон равной вероятности,  $k_j = \frac{6\sigma_j}{2\sqrt{3}\sigma_j} = 1,73$ .

При законе распределения, близком к закону Симпсона (закону треугольника),  $k_j = \frac{6\sigma_j}{2\sqrt{6}\sigma_j} = 1,22$ .

Эффективность применения принципов теории вероятностей при расчете допусков размерных цепей может быть показана на следующем примере. Предположим, что размерная цепь состоит из четырех составляющих размеров с допусками  $TA_1 = TA_2 = TA_3 = TA_4$ . Тогда по формуле (12.10) допуск замыкающего размера равен  $TA_\Delta = \sqrt{4TA_j^2} = 2TA_j$ , откуда  $TA_j = 1/2TA_\Delta$ . По формуле (12.6) допуск замыкающего размера при решении задачи по *max-min*  $TA_\Delta = TA_1 + TA_2 + TA_3 + TA_4 = 4TA_j$ , откуда  $TA_j = 1/4TA_\Delta$ . Применение теории вероятностей в приведенном примере позволяет при одном и том же допуске замыкающего звена расширить в 2 раза допуск составляющих размеров, при этом у 0,27% размерных цепей (т. е. у трех из тысячи) предельные значения замыкающего размера (при нормальном законе распределения) могут быть не выдержаны (т. е. имеется риск возникновения брака).

**Пример.** Определить номинальное значение замыкающего размера  $A_\Delta$  и его допуск для ступенчатого вала (рис. 12.9).

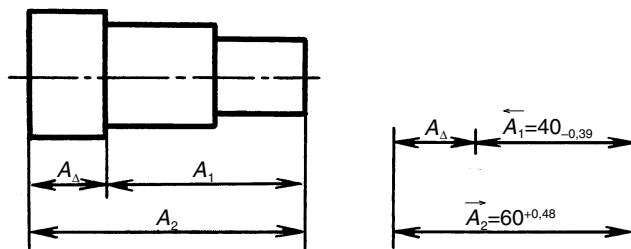


Рис. 12.9. Размерная цепь ступенчатой детали

Примем, что рассеяния отклонений размеров подчиняются закону нормального распределения, величины размахов вписываются в поля допусков, а кривые распределения симметричны относительно середины полей допусков. Тогда  $\alpha_j = 0$  и  $k_j = 1$ . По формуле (12.1) номинальный размер  $A_\Delta = 20$  мм. Допуск замыкающего размера по формуле (12.14)  $TA_\Delta = \sqrt{(46 \cdot 1)^2 + (39 \cdot 1)^2} \approx 60$  мкм.

При решении по методу максимума-минимума  $TA_\Delta = 46 + 39 = 85$  мкм, т. е. на 25 мкм, или на 41% больше, чем при вероятностных расчетах. Если же допуск замыкающего размера оставить равным 85 мкм, то допуски составляющих размеров можно значительно расширить.

**Проектная (прямая) задача.** При способе равных допусков принимают, что величины  $TA_j$ ,  $E_c A_j$ ,  $\alpha_j$ , и  $k_j$  для всех составляющих размеров одинаковы. По заданной величине  $TA_\Delta$  определяют средние допуски  $T_m A_j$ , удовлетворяющие равенству (12.10) или (12.14). Уравнение для определения  $T_m A_j$  получим из равенства (12.14) по аналогии с методом максимума-минимума  $TA_\Delta = \sqrt{m TA_{cp}^2 k_j^2}$ , откуда  $TA_{cp} = \frac{TA_\Delta}{k_j \sqrt{m}}$ . Найденные значения  $TA_{cp}$  и  $E_c A_j$  корректируют, учитывая требования конструкции и возможность применения таких процессов изготовления деталей, экономическая точность которых близка к требуемой точности размеров.

При способе назначения допусков одного качества принцип расчета аналогичен методу максимума-минимума. С учётом формулы для единицы допуска  $TA_j = 0,45 a \sqrt[3]{D} + 0,001 D$  имеем

$$a_{cp} = \frac{TA_\Delta k_\Delta}{\sqrt{\sum_{j=1}^m (0,45 \sqrt[3]{D} + 0,001 D)^2 k_j^2}}.$$

Существует способ пробных расчётов, который заключается в том, что допуски на составляющие размеры назначают экономически целесообразными для условий предстоящего вида производства с учетом конструктивных требований, опыта эксплуатации имеющихся подобных механизмов и проверенных для данного производства значений коэффициентов  $\alpha_j$  и  $k_j$ . Для повышения точности, надёжности, долговечности и обеспечения функциональной взаимозаменяемости машин допуски и предельные отклонения исходного и составляющих размеров ответственных частей выпускаемых машин следует корректировать в сторону ужесточения с целью создания запаса на износ. После такого расчёта размерной цепи проверяют выполнимость равенства (12.14). Если ра-

венство невыполнимо, то допуски, а иногда и номинальные значения составляющих размеров вновь корректируют.

*Способ равного влияния* применяют при решении плоскостных и пространственных размерных цепей. Он основан на том, что допустимое отклонение каждого составляющего размера должно вызывать одинаковое изменение исходного размера.

### Метод групповой взаимозаменяемости

*Метод групповой взаимозаменяемости* состоит в том, что все изготовленные детали предварительно измеряются и сортируются на группы размеров с малыми допусками. После комплектования деталей в группы производится сборка, называемая *селективной сборкой*. Метод групповой взаимозаменяемости позволяет обеспечить высокую точность соединения при изготовлении деталей со сравнительно широкими и экономически приемлемыми допусками. Метод групповой взаимозаменяемости при расчёте размерной цепи приводит к увеличению точности замыкающего звена, без существенного увеличивая точности обработки составляющих звеньев.

При селективной сборке появляется возможность уменьшать наибольшие зазоры и натяги и увеличивать наименьшие, приближаясь с ростом числа групп к среднему значению зазора или натяга для данной посадки. В переходных посадках наибольшие натяги и зазоры уменьшаются, приближаясь с ростом числа групп сортировки к тому натягу или зазору, который соответствует серединам полей допусков деталей (рис. 12.10).

Установление числа групп и сортировки деталей производится либо по требуемым предельным значениям групповых зазоров или натягов, которые находят из условия функционирования соединения, либо по допустимой величине группового допуска  $TD^{Gr}$  или  $Td^{Gr}$ , определяемую экономической точностью сборки и сортировки деталей, а также величиной возможного отклонения их формы. Отклонения формы не должны превышать группового допуска, иначе одна и та же деталь может попасть в одну или в другую ближайшую группу в зависимости от того, в каком сечении будет измерена деталь при сортировке.

Рассмотрим случай определения числа  $n$  групп, когда в исходной посадке  $TD = Td$ . Для этого случая характерно, что групповой зазор или натяг остаются постоянными при переходе от одной группы к другой (рис. 12.10, а). При сборке деталей для повышения показателей качества функционирования подвижных соединений необходимо создавать наименьший допустимый зазор, а для повышения надежности соединений с натягом — наибольший допустимый натяг. Число групп  $n$  определяется по уравнениям: при заданном  $S_{\min}^{Gr}$  (для посадки с зазором)  $S_{\min}^{Gr} = S_{\min} + Td - Td/n$ ; при

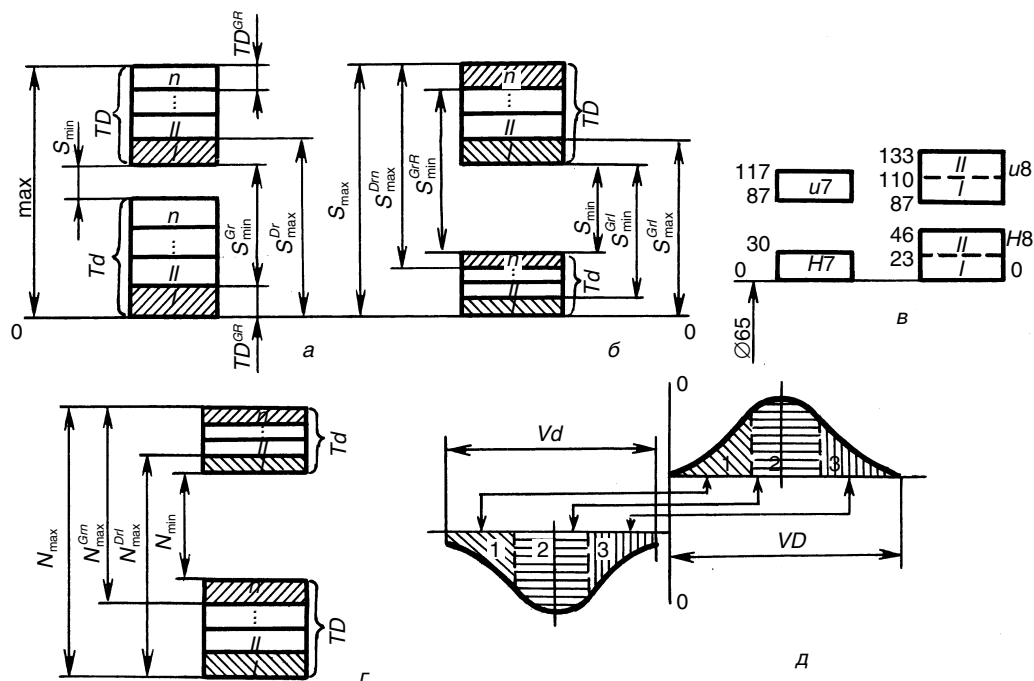


Рис. 12.10. Схемы сортировки деталей на группы:

а — посадка с зазором,  $TD = Td$ ; б — посадка с зазором,  $TD > Td$ ; в — посадка с натягом,  $TD > Td$ ; г — посадка с натягом,  $TD = Td$ ; д — с учётом кривых распределения

заданном  $N_{\max}^{Gr}$  (для посадки с натягом)  $N_{\max}^{Gr} = N_{\max} - TD + TD/n$ . При заданной величине группового допуска  $TD^{Gr}$  или  $Td^{Gr}$   $TD/n = TD^{Gr}$ ;  $n = TD/TD^{Gr}$ ;  $Td/n = Td^{Gr}$ ;  $n = Td/Td^{Gr}$ . При  $TD = Td$   $n = TD/TD^{Gr} = Td/Td^{Gr}$ .

При  $TD > Td$  групповой зазор (или натяг) при переходе от одной группы к другой не останется постоянным (рис. 12.10, б, в); следовательно, однородность соединений не обеспечивается, поэтому селективную сборку целесообразно применять при  $TD = Td$ . Следует также иметь в виду, что при большом числе групп сортировки групповой допуск будет незначительно отличаться от допуска при меньшем числе групп, а организация контроля и сложность сборки значительно возрастут. Практически  $n_{\max} = 4 \div 5$ , и лишь в подшипниковой промышленности при сортировке тел качения  $n$  достигает 10 и более.

**Пример.** Из условий функционирования выбрана посадка  $\varnothing 65H7/u7$  (рис. 12/10, *з*), обеспечивающая предельные натяги  $N_{\max} = 117$  мкм,  $N_{\min} = 57$  мкм. По экономическим соображениям из-за существующих условий производства необходимо выбрать посадку 8-го квалитета точности. Наиболее подходит посадка  $\varnothing 65H8/u8$ , которая при разбивке допуска на две группы и сборке деталей одноименных групп обеспечивает натяг в приемлемых пределах  $64 \div 110$  мкм в каждой группе при расширении допусков на изготовление примерно на 50%.

Селективную сборку применяют в сопряжениях не только гладких деталей цилиндрической формы, но и более сложных по форме (например, резьбовых). Принцип исполнения остаётся тем же. Селективная сборка позволяет в  $n$  раз повысить точность сборки без уменьшения допусков на изготовление деталей или обеспечить заданную точность сборки при расширении допусков до экономически целесообразных величин. Вместе с тем селективная сборка имеет недостатки, связанные с необходимостью дополнительных операций контроля, увеличением штата контролеров, требованием применения более точных измерительных средств, использования контрольно-сортировочных автоматов; в результате растёт трудоёмкость процесса сборки; не достатком является также увеличение незавершенного производства вследствие разного числа деталей в парных группах.

Применение селективной сборки целесообразно в массовом и крупносерийном производствах для соединений высокой точности, когда дополнительные затраты на сортировку, маркировку, сборку и хранение деталей по группам окупаются высоким качеством изделий. При производстве подшипников качения и сборке ответственных резьбовых соединений с натягом селективная сборка является единственным экономически целесообразным методом обеспечения требуемой точности.

Для сокращения объемов незавершенного производства, образующегося при селективной сборке, строят эмпирические кривые распределения размеров соединяемых деталей. Если смещения центров группирования и кривые распределения размеров соединяемых деталей одинаковы и соответствуют, например, закону Гаусса, то число собираемых деталей в одноименных группах будет одинаковым. Следовательно, только при идентичности кривых распределения сборки деталей одноименных групп (рис. 12.10, *д*) устраняет образование незавершённого производства. В ряде случаев деление допуска, выраженного в линейных величинах, на равные части заменяют делением на части, границы которых выражаются в  $\sigma$ . Если вторая группа имеет сортировочные границы  $\pm\sigma$ , то относительное число деталей первой группы  $\Phi(3) - \Phi(1) = 0,5 - 0,341 = 0,1587 = 15,87\%$ . От-

носительное число деталей второй группы  $2\Phi(1) = 2,0,3413 = 68,26\%$ . Относительное число деталей третьей группы, как и первой,  $\Phi(3) - \Phi(1) = 15,87\%$ . Число соединений, собранных из деталей второй группы, примерно в 4 раза больше, чем число деталей, собранных из первой или третьей группы.

### Методы регулирования и пригонки

Расчет размерных цепей позволяет рассчитать *компенсатор*, роль которого обычно выполняет специальный конструктивный элемент в виде прокладки, регулируемого упора, клина и др. Размеры деталей изделия обрабатывают по расширенным допускам, экономически целесообразным в существующих производственных условиях, а точность замыкающего (функционального звена) обеспечивают установкой требуемого в данной ситуации размера компенсатора. При получении зависимостей для расчёта звена-компенсатора  $A_k$  имеем в виду следующее: 1) звено-компенсатор, как и все остальные составляющие звенья размерной цепи, может быть увеличивающим и уменьшающим; 2) в отличие от других составляющих звеньев размер звена-компенсатора не является случайной величиной, а устанавливается по результатам измерения замыкающего звена; 3) погрешностью размера компенсатора пренебрегают ввиду малости.

Номинальный размер компенсирующего звена определяется в соответствии с выражением (12.1)

$$A_{\Delta} = \sum_{j=1}^n A_{j \text{ yв}} - \sum_{j=1}^p A_{j \text{ yм}} \pm A_k. \quad (12.14)$$

Значение  $A_k$  берут со знаком «плюс», если  $A_k$  — увеличивающий размер, и со знаком «минус», если — уменьшающий. В случае, если  $A_k$  — увеличивающий размер, в соответствии с уравнениями (12.2)—(12.5) можно записать

$$A_{\Delta \max} = \sum_{j=1}^n A_{j \text{ yв} \max} - \sum_{j=1}^p A_{j \text{ yм} \min} + A_{k \min}. \quad (12.15)$$

$$A_{\Delta \min} = \sum_{j=1}^n A_{j \text{ yв} \min} - \sum_{j=1}^p A_{j \text{ yм} \max} + A_{k \max}. \quad (12.16)$$

$$E_s A_{\Delta} = \sum_{j=1}^n E_s A_{j \text{ yв}} - \sum_{j=1}^p E_t A_{j \text{ yм}} + E_s A_k. \quad (12.17)$$

$$E_t A_{\Delta} = \sum_{j=1}^n E_t A_{j \text{ yв}} - \sum_{j=1}^p E_s A_{j \text{ yм}} + E_s A_k. \quad (12.18)$$

Если  $A_k$  — уменьшающий размер получаем уравнения

$$A_{\Delta \max} = \sum_{j=1}^n A_{j \text{ ув } \max} - \sum_{j=1}^p A_{j \text{ ум } \min} - A_{k \max}. \quad (12.19)$$

$$A_{\Delta \min} = \sum_{j=1}^n A_{j \text{ ув } \min} - \sum_{j=1}^p A_{j \text{ ум } \max} - A_{k \min}. \quad (12.20)$$

$$E_s A_{\Delta} = \sum_{j=1}^n E_s A_{j \text{ ув}} - \sum_{j=1}^p E_s A_{j \text{ ум}} - E_s A_k. \quad (12.21)$$

$$E_t A_{\Delta} = \sum_{j=1}^n E_t A_{j \text{ ув}} - \sum_{j=1}^p E_t A_{j \text{ ум}} - E_t A_k. \quad (12.22)$$

Вычитая почленно уравнение (12.16) из уравнения (12.15) и учитывая, что  $n + p = m$ , получим

$$TA_{\Delta} = \sum_{j=1}^m TA_j - VA_k, \quad (12.23)$$

где  $TA_{\Delta}$  — заданный допуск исходного размера, определенный исходя из эксплуатационных требований;  $TA_j$  — принятые расширенные технологически выполнимые допуски составляющих размеров;  $VA_k$  — диапазон компенсации. В этом случае должно быть соблюдено условие  $VA_k \geq \sum_{j=1}^m TA_j - TA_{\Delta}$ .

В динамической размерной цепи, т.е. при наличии в цепи размеров, изменяющихся по величине во время эксплуатации машин (под влиянием износа, температурных и силовых деформаций деталей), к величине компенсации  $A_k$  следует добавлять величину ожидаемого изменения составляющих размеров.

Для компенсации погрешностей линейных, диаметральных и угловых размеров, а также отклонений от соосности и других погрешностей применяют неподвижные и подвижные компенсаторы разных видов. Неподвижные компенсаторы чаще всего выполняют в виде промежуточных колец, набора прокладок и других подобных сменных деталей (рис. 12.11).

Толщина  $s$  каждой сменной прокладки должна быть меньше допуска исходного размера, т. е.  $s < TA_{\Delta}$ . В противном случае после установки прокладки может быть получен исходный размер, превышающий по величине его наибольшее допустимое значение. Суммарная толщина всех прокладок  $sN = VA_k$ , где  $N$  — число, а  $s$  — толщина прокладок.

$$s = VA_k / N < TA_{\Delta} \text{ или } N \geq VA_k / TA_{\Delta}.$$

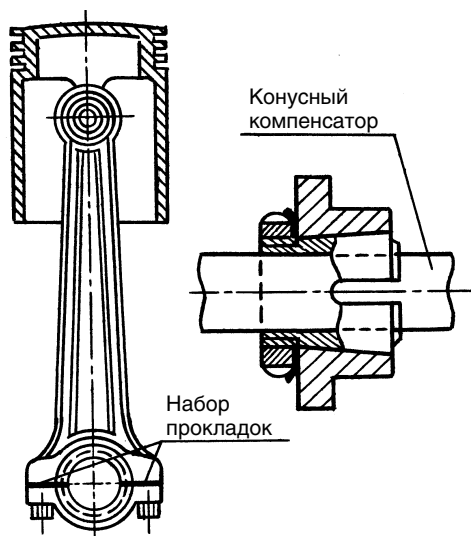


Рис.12.11. Узлы с компенсаторами:

а — неподвижным;

б — подвижным

Количество прокладок рассчитывают по формуле  $N' = VA_k / TA_{\Delta} + 1$ , а затем округляют до целого в большую сторону, таким образом —  $N$  принятое количество прокладок. Тогда расчётная толщина прокладки равна  $s' = VA_k / N$ . Округляя до ближайшего меньшего стандартного размера, получают толщину наименьшей прокладки  $s$ . Принятые значения толщины и количества прокладок должны удовлетворять условию  $A_{k \min} + sN \geq A_{k \max}$ . Набор сменных прокладок может содержать прокладки, толщина которых кратна наименьшей толщине, для удобства пользования набором прокладок в производственных условиях. Одна из прокладок может быть постоянной — размер её равен  $A_{k \min}$ .

В зависимости от действительного размера исходного размера, полученного при первой сборке, устанавливают необходимое число прокладок и окончательно собирают изделие.

*Метод пригонки* состоит в том, что предписанная точность исходного размера достигается дополнительной обработкой при сборке детали по одному из заранее намеченных составляющих размеров. Детали по всем размерам, входящим в размерную цепь, изготавливают с допусками, экономически приемлемыми для данных условий производства. Для того, чтобы пригонка всегда осуществлялась за счет предварительно выбранного размера, называемого технологическим компенсатором, необходимо по этому размеру оставлять припуск на пригонку, достаточный для компенсации величины превышения исходного размера и вместе с тем наименьший для сокращения объема пригоночных работ.

Способ пригонки можно применяют в единичном и мелкосерийном производствах. На производстве применяют также другие методы достижения точности, например, *сборка по паспорту-формуляру*, когда детали измеряются и пары подбираются по фактическим размерам, и др.

## 12.4. РАСЧЁТ ПЛОСКИХ И ПРОСТРАНСТВЕННЫХ РАЗМЕРНЫХ ЦЕПЕЙ

Плоские и пространственные размерные цепи приводят к виду линейных размерных цепей путём проектирования на одну плоскость и одно направление, а затем рассчитывают по тем же уравнениям, что и линейные. Проектирование размеров плоской цепи на одно направление осуществляют на направление исходного (замыкающего) размера, а пространственной цепи — на две или три взаимно-перпендикулярные оси (или оси координат).

Рассмотрим пример плоской размерной цепи с замыкающим размером  $A_\Delta$ , определяющим максимальное продольное перемещение толкателя (рис. 12.12, а, б). Приведем плоскую размерную цепь к линейной (рис. 12.12, в), у которой  $A'_3 = A_3 \cos \alpha$ .

Допуск замыкающего размера определим, используя зависимости (12.6), (12.10) и (12.14).

$$\text{Метод } \max\text{-}\min \quad TA_\Delta = \sum_{j=1}^m \frac{\partial A_\Delta}{\partial A_j} TA_j;$$

$$\text{вероятностный метод } TA_\Delta = \sqrt{\sum_{j=1}^m \left( \frac{\partial A_\Delta}{\partial A_j} \right)^2 TA_j^2 k_j^2},$$

где  $\frac{\partial A_\Delta}{\partial A_j}$  — частная производная функция замыкающего размера по  $j$ -му составляющему размеру, называемую *передаточным отношением*  $u_j$ .

Передаточные отношения характеризуют степень и характер влияния погрешностей размеров составляющих звеньев на замыкающее. Для цепей с параллельными звеньями все передаточные отношения равны  $u_j = \pm 1$ .

Определим допуск замыкающего размера  $X$  плоской размерной цепи (рис. 12.12, в). Номинальные размеры и отклонения составляющих размеров, а также углы их наклона заданы. Углы  $\beta$  и  $\gamma$  допусками не ограничены. Номинальный размер  $X = f(A_1, A_2) = A_1 \cos \beta + A_2 \cos \gamma$ . Допуск замыкающего звена  $TX = \frac{\partial f}{\partial A_1} TA_1 + \frac{\partial f}{\partial A_2} TA_2$ , где  $TA_1$  и  $TA_2$  — допуски составляющих

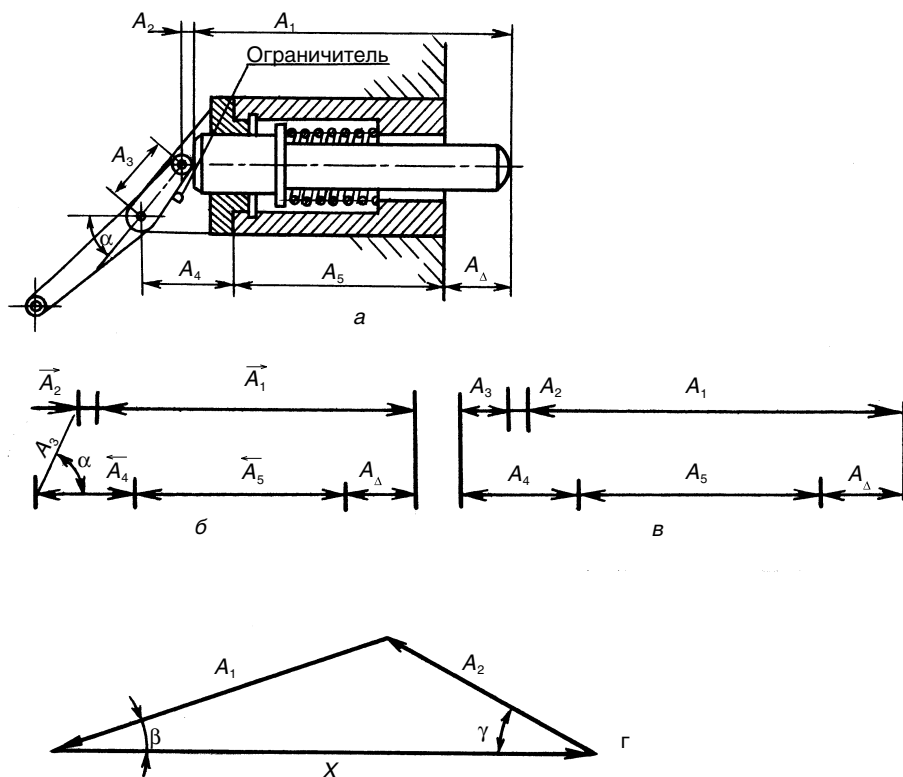


Рис. 12.12. Узел и размерная цепь узла:

а — эскиз узла; б — плоская размерная цепь; в — линейная размерная цепь; г — размерная цепь узла

размеров. Передаточные отношения  $u_1 = \cos \beta$ ;  $u_2 = \cos \gamma$ . Тригонометрические функции углов условно считаем постоянными, так как погрешности сторон треугольника незначительны. Получаем допуск замыкающего размера  $TX = TA_1 \cos \beta + TA_2 \cos \gamma$ . При расчёте вероятностным методом допуск замыкающего звена

$TX = \sqrt{k_1^2 TA_1^2 \cos^2 \beta + k_2^2 TA_2^2 \cos^2 \gamma}$ , где  $k_1$  и  $k_2$  — коэффициенты относительного рассеяния отклонений составляющих размеров.

# ПРИЛОЖЕНИЯ

## ПРИЛОЖЕНИЕ 1

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

| Z   | 0     | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7      | 8     | 9     |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|
| 0,0 | 0000  | 0040  | 0080  | 0120  | 0160  | 0199  | 0239  | 0279   | 0319  | 0359  |
| 0,1 | 0398  | 0438  | 0478  | 0517  | 0557  | 0596  | 0635  | 0675   | 0714  | 0753  |
| 0,2 | 0793  | 0832  | 0871  | 0909  | 0948  | 0987  | 1026  | 1064   | 1103  | 1141  |
| 0,3 | 1179  | 1217  | 1255  | 1293  | 1331  | 1368  | 1406  | 1443   | 1480  | 1517  |
| 0,4 | 1555  | 1591  | 1628  | 1664  | 1700  | 1736  | 1772  | 1808   | 1844  | 1879  |
| 0,5 | 1915  | 1950  | 1985  | 2019  | 2045  | 2088  | 2123  | 2157   | 2190  | 2224  |
| 0,6 | 2257  | 2291  | 2324  | 2357  | 2389  | 2422  | 2454  | 2486   | 2517  | 2549  |
| 0,7 | 2580  | 2611  | 2642  | 2673  | 2703  | 2734  | 2764  | 2794   | 2823  | 2852  |
| 0,8 | 2881  | 2910  | 2939  | 2967  | 2995  | 3023  | 3051  | 3078   | 3106  | 3133  |
| 0,9 | 3159  | 3186  | 3212  | 3238  | 3264  | 3289  | 3315  | 3340   | 3365  | 3389  |
| 1,0 | 3413  | 3438  | 3461  | 3185  | 3508  | 3531  | 3554  | 3577   | 3599  | 3621  |
| 1,1 | 3613  | 3665  | 3585  | 3708  | 3729  | 3749  | 3770  | 3790   | 3810  | 3830  |
| 1,2 | 3849  | 3869  | 3888  | 3907  | 3925  | 3944  | 3962  | 3980   | 3997  | 4015  |
| 1,3 | 4032  | 4049  | 4066  | 4082  | 4099  | 4115  | 4131  | 4147   | 4162  | 4177  |
| 1,4 | 4192  | 4207  | 4222  | 4236  | 4251  | 4265  | 4279  | 4292   | 4306  | 4219  |
| 1,5 | 4332  | 4345  | 1357  | 4370  | 4382  | 4394  | 4406  | 4418   | 4429  | 4441  |
| 1,6 | 4452  | 4463  | 4474  | 4484  | 4495  | 4505  | 4515  | 4525   | 4535  | 4545  |
| 1,7 | 4554  | 4564  | 4573  | 4582  | 4591  | 4599  | 4608  | 4616   | 4625  | 4633  |
| 1,8 | 4641  | 4649  | 4656  | 4664  | 4671  | 4678  | 4686  | 4693   | 4699  | 4706  |
| 1,9 | 4713  | 4719  | 4725  | 4732  | 4738  | 4744  | 4750  | 4756   | 4761  | 4767  |
| 2,0 | 4772  | 4778  | 4783  | 4788  | 4793  | 4798  | 4803  | 4808   | 4812  | 4817  |
| 2,1 | 4821  | 4826  | 4830  | 4834  | 4838  | 4842  | 4846  | 4850   | 4854  | 4857  |
| 2,2 | 4861  | 4865  | 4868  | 4871  | 4875  | 4878  | 4881  | 4884   | 4887  | 4890  |
| 2,3 | 4893  | 4896  | 4898  | 4901  | 4904  | 4906  | 4909  | 4911   | 4913  | 4915  |
| 2,4 | 4918  | 4920  | 4922  | 4925  | 4927  | 4929  | 4931  | 4932   | 4934  | 4936  |
| 2,5 | 4938  | 4940  | 4941  | 4943  | 4945  | 4946  | 4948  | 4949   | 4951  | 4952  |
| 2,6 | 4953  | 4955  | 4955  | 4957  | 4959  | 4960  | 4961  | 4962   | 4963  | 4904  |
| 2,7 | 4955  | 4966  | 4967  | 4968  | 4969  | 4970  | 4971  | 4972   | 4973  | 4974  |
| 2,8 | 4974  | 4975  | 4976  | 4977  | 4977  | 4978  | 4979  | 4979   | 4980  | 4981  |
| 2,9 | 4981  | 4982  | 4982  | 4983  | 4984  | 4985  | 4985  | 4985   | 4986  | 4986  |
| 3,0 | 49865 | 49869 | 49874 | 49878 | 49882 | 49885 | 49889 | 49893  | 49896 | 49900 |
| 3,1 | 49903 | 49905 | 49909 | 49912 | 49916 | 49918 | 49921 | 49924  | 49926 | 49929 |
| 3,2 | 49931 | 49934 | 49933 | 49938 | 49940 | 49942 | 49944 | 49946  | 49948 | 49950 |
| 3,3 | 49952 | 49954 | 49955 | 49957 | 49958 | 49960 | 49961 | 49962  | 49964 | 49965 |
| 3,4 | 49966 | 49958 | 49959 | 49970 | 49971 | 49972 | 49973 | 449974 | 49975 | 49976 |

### Пример обработки результатов измерения на компьютере с использованием MatchCad

Измеряем 30 валов, обработку проводим с помощью программы *MathCad*, последовательность действий в этом случае выглядит следующим образом.

После отбрасывания грубых промахов составляем вектор результатов измерения, затем, с помощью функции *Sort*, сортируем полученные данные в порядке возрастания — формируем вариационный ряд. Результаты представляются в виде двух колонок, слева — результаты наблюдения *Data*, справа — вариационный ряд *SortData*,  $Data = SortData$ .

Далее находим поле рассеяния случайной величины, т.е. интервал, в котором находятся все данные, полученные в результате измерений

$$\omega = \max(SortData) - \min(SortData) \quad \omega = 0,413.$$

Следуя рекомендациям, приведенным ранее, разбиваем поле рассеяния на семь интервалов и находим длину каждого интервала

$$int = \frac{\omega}{7} \quad int = 0,059$$

Находим середины интервалов и формируем интервальный ряд, при этом определяем значения пределов интервалов и срединных точек интервалов

$$int: = 0...7 \quad PredInt_1 := \min(SortData) + i.int \quad j: = 0...6$$

**Результаты наблюдений и вариационный ряд**

|        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|--------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Data = | 29,706<br>29,8315<br>29,999<br>29,853<br>29,8205<br>29,753<br>29,991<br>29,913<br>29,8115<br>29,906<br>29,980<br>29,772<br>29,642<br>29,7385<br>29,9255<br>29,835<br>30,055<br>29,867<br>29,871<br>29,832<br>29,794<br>29,827<br>29,649<br>29,880<br>29,994<br>29,885<br>29,8<br>29,873<br>29,978<br>29,858 | SortData = | 29,642<br>29,649<br>29,706<br>29,738<br>29,753<br>29,772<br>29,794<br>29,8<br>29,811<br>29,82<br>29,827<br>29,831<br>29,832<br>29,835<br>29,853<br>29,858<br>29,867<br>29,871<br>29,873<br>29,88<br>29,885<br>29,906<br>29,913<br>29,925<br>29,978<br>29,98<br>29,991<br>29,994<br>29,999<br>30,055 |
|        | SortData := sort(Data)                                                                                                                                                                                                                                                                                      |            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |

### Границы интервалов и интервальный ряд

$$\begin{array}{ccc}
 \text{PredInt} = \left( \begin{array}{c} 29,642 \\ 29,701 \\ 29,76 \\ 29,819 \\ 29,878 \\ 29,937 \\ 29,996 \\ 30,055 \end{array} \right) & \text{Sred}_j := \frac{\text{PredInt}_j + \text{PredInt}_{j+1}}{2} & \text{Sred} = \left( \begin{array}{c} 29,672 \\ 29,73 \\ 29,789 \\ 29,849 \\ 29,907 \\ 29,966 \\ 30,026 \end{array} \right)
 \end{array}$$

Создаем вектор частоты попадания результатов наблюдений в каждый из интервалов

$$\text{Popadan} := \left( \begin{array}{c} 2 \\ 3 \\ 4 \\ 10 \\ 5 \\ 4 \\ 2 \end{array} \right)$$

Находим среднее арифметическое значение результатов наблюдений

$$\begin{array}{ccc}
 \text{Xsred} := \sum_{i=0}^6 \text{Sred}_i \frac{\text{Popadan}_i}{N} & & \text{Xsred} = 29,854
 \end{array}$$

$N = 30$

Находим отклонение средней величины интервала от общего среднего

$$\begin{array}{ccc}
 \text{Otklon}_j := \text{Sred}_j - \text{Xsred} & & \text{Otklon} = \left( \begin{array}{c} -0,183 \\ -0,124 \\ -0,065 \\ -5,9 \times 10^{-3} \\ 0,053 \\ 0,112 \\ 0,171 \end{array} \right)
 \end{array}$$

Находим частоту — отношение частоты к общему числу значений

$$\text{Chas}_j = \frac{\text{Popadan}_j}{N}$$

$$\text{Chas} = \begin{pmatrix} 0,067 \\ 0,1 \\ 0,133 \\ 0,333 \\ 0,167 \\ 0,133 \\ 0,067 \end{pmatrix}$$

Формируем таблицу результатов, в которой: нулевая колонка — левый предел интервала; первая колонка — правый предел интервала; вторая колонка — середина интервала; третья колонка — частота попадания в интервал; четвертая колонка — отклонение от среднего значения; пятая колонка — частота.

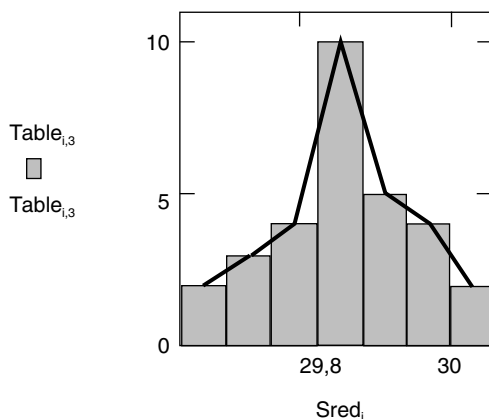
$\text{Table}_{j,0} = \text{PredInt}_j$ ;  $\text{Table}_{j,1} = \text{PredInt}_{j+1}$ ;  $\text{Table}_{j,2} = \text{Sred}_j$ ;  $\text{Table}_{j,3} = \text{Popadan}_j$ ;  $\text{Table}_{j,4} = \text{Otklon}_j$ ;  $\text{Table}_{j,5} = \text{Chas}_j$

$$\text{Table} = \begin{pmatrix} 29,642 & 29,701 & 29,672 & 2 & -0,183 & 0,067 \\ 29,701 & 29,76 & 29,73 & 3 & -0,124 & 0,1 \\ 29,76 & 29,819 & 29,789 & 4 & -0,065 & 0,133 \\ 29,819 & 29,878 & 29,849 & 10 & -5,9 \times 10^{-3} & 0,333 \\ 29,878 & 29,937 & 29,907 & 5 & 0,053 & 0,167 \\ 29,937 & 29,996 & 29,966 & 4 & 0,112 & 0,133 \\ 29,996 & 30,055 & 30,026 & 2 & 0,171 & 0,067 \end{pmatrix}$$

Находим среднее квадратичное отклонение

$$S = \sqrt{\sum_{i=0}^6 (\text{Table}_{i,2} - X_{\text{sred}})^2 \frac{\text{Table}_{i,3}}{N}} \quad S = 0,092$$

Строим гистограмму и эмпирическую кривую распределения — полигон



Находим среднее квадратичное отклонение случайной величины для дискретной величины

$$\sigma x = \frac{3S}{\sqrt{N-1}} \quad \sigma x = 0,051$$

Задаемся надёжностью 0,9 и находим коэффициент Стьюдента, пользуясь функцией Лапласа и таблицей к этой функции, имея в виду, что количество измерений равно 30.

При принятой вероятности 0,9  $t = 1,65$ .

$$g_1 = \frac{1}{4}(t^3 + t)$$

$$g_2 = \frac{1}{96}(5t^5 + 16t^3 + 3t)$$

$$g_3 = \frac{1}{384}(3t^7 + 19t^5 + 17t^3 - 15t)$$

$$g_4 = \frac{1}{92160}(79t^9 + 776t^7 + 1482t^5 - 1920t^3 - 945t)$$

$$Coeff = t + \frac{g_1}{N} + \frac{g_2}{N^2} + \frac{g_3}{N^3} + \frac{g_4}{N^4} \quad Coeff = 1,703$$

Доверительные интервалы равны

$$-3\sigma x + X_{\text{sred}} < x < 3\sigma x + X_{\text{sred}}$$

$$-3\sigma x + X_{\text{sred}} = 29,701$$

$$3\sigma x + X_{\text{sred}} = 30,008$$

$$29,701 < x < 30,008$$

$$X_{\text{sred}} - \text{Coeff} \cdot \sigma x = 29,767$$

$$X_{\text{sred}} + \text{Coeff} \cdot \sigma x = 29,942$$

$$29,767 < M(X) < 29,942$$

$$S - \text{Coeff} \cdot \sigma x = 4,719 \times 10^{-3}$$

$$S + \text{Coeff} \sigma x = 0,179$$

$$0,004719 < \sigma x < 0,179$$

$$S^2 - \text{Coeff} \cdot \sigma x = -0,079$$

$$S^2 + \text{Coeff} \cdot \sigma x = 0,096$$

$$-0,079 < D(X) < 0,096.$$

Номинальный диаметр равен 30 мм, поэтому вероятные верхнее и нижнее отклонения равны

$$\text{eid} = 29,701 - 30,000$$

$$\text{eid} = -0,299$$

$$\text{esd} = 30,008 - 30,000$$

$$\text{esd} = 0,008.$$

Находим технологический допуск

$$TD = \text{esd} - \text{eid} = 0,008 - (-0,299) = 0,307.$$

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

*Димов Ю.В.* Метрология, стандартизация и сертификация: Учебник. — М., 2004.

*Козлов М.Г.* Метрология и стандартизация: Учебник. — М., СПб.: Изд-во «Петербургский институт печати», 2001.

Справочник контролёра машиностроительного завода: Допуски и посадки, линейные измерения/ Под ред. А.И. Якушева, — М., 1980. — 528 с.

*Якушев А.И.* Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения: Учебник. — М.: Машиностроение, 1979.

# СОДЕРЖАНИЕ

|                                                                                      |           |
|--------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| Предисловие .....                                                                    | 3         |
| <b>Глава 1. Техническое регулирование .....</b>                                      | <b>6</b>  |
| 1.1. Основные понятия и принципы технического регулирования .....                    | 6         |
| 1.2. Технические регламенты .....                                                    | 8         |
| 1.3. Подтверждение соответствия .....                                                | 10        |
| 1.4. Аккредитация и контроль за соблюдением требований технических регламентов ..... | 13        |
| <b>Глава 2. Стандартизация .....</b>                                                 | <b>15</b> |
| 2.1. Цели и принципы стандартизации .....                                            | 15        |
| 2.2. Основные положения системы стандартизации в Российской Федерации .....          | 17        |
| 2.3. Методические основы стандартизации .....                                        | 22        |
| Положения научной организации работ по стандартизации .....                          | 22        |
| Система предпочтительных чисел .....                                                 | 24        |
| Параметрические ряды .....                                                           | 26        |
| Формы стандартизации .....                                                           | 32        |
| Типизация технологических процессов и конструкций изделий .....                      | 34        |
| Унификация и агрегатирование изделий .....                                           | 39        |
| 2.4. Комплексные системы стандартов .....                                            | 46        |
| Единая система конструкторской документации (ЕСКД) .....                             | 46        |
| Единая система технологической документации (ЕСТД) .....                             | 47        |
| Стандарты по безопасности жизнедеятельности .....                                    | 48        |
| Единая система программных документов (ЕСПД) .....                                   | 50        |
| Межгосударственная система стандартизации (МГСС) .....                               | 52        |
| 2.5. Международная, региональная и национальная стандартизация .....                 | 53        |
| Цели международной стандартизации .....                                              | 53        |
| Международные организации по стандартизации .....                                    | 54        |
| Стандартизация в рамках Европейского союза (ЕС) .....                                | 59        |
| Национальная стандартизация .....                                                    | 61        |

|                                                                     |            |
|---------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>Глава 3. Метрология и технические измерения.</b>                 | <b>64</b>  |
| 3.1. Общие сведения                                                 | 64         |
| 3.2. Виды и методы измерений.                                       | 66         |
| 3.3. Международная система единиц физических величин.               | 70         |
| Основные единицы СИ                                                 | 71         |
| Дополнительные единицы СИ                                           | 71         |
| Кратные и дольные единицы.                                          | 72         |
| Производные единицы СИ                                              | 73         |
| 3.4. Объекты измерений                                              | 74         |
| 3.5. Средства измерений                                             | 75         |
| Эталоны.                                                            | 75         |
| Меры и образцовые измерительные приборы.                            | 77         |
| Передача размера физических величин                                 | 80         |
| Измерительные приборы и установки                                   | 82         |
| Метрологические показатели и характеристики измерительных приборов. | 84         |
| 3.6. Качество измерений и причины возникновения погрешностей        | 85         |
| 3.7. Метрологическое обеспечение измерений                          | 89         |
| Поверка, ревизия и экспертиза средств измерений                     | 90         |
| Государственные испытания средств измерений                         | 91         |
| <b>Глава 4. Контроль качества продукции</b>                         | <b>94</b>  |
| 4.1. Виды контроля.                                                 | 94         |
| 4.2. Оценка качества продукции                                      | 97         |
| 4.3. Показатели качества продукции                                  | 100        |
| 4.4. Управление качеством.                                          | 104        |
| 4.5. Статистический контроль качества                               | 109        |
| Основные понятия                                                    | 109        |
| Методы статистического контроля                                     | 111        |
| Области применения статистических методов контроля                  | 112        |
| Карты контроля качества                                             | 117        |
| <b>Глава 5. Измерение и контроль параметров изделий</b>             | <b>120</b> |
| 5.1. Выполнение измерений и контроля                                | 120        |
| 5.2. Выбор средств измерений и контроля                             | 121        |
| Точность средств измерения и контроля.                              | 122        |
| Принцип инверсии                                                    | 126        |
| Конструктивные признаки средств измерения и контроля.               | 129        |
| Средства управляющего контроля                                      | 135        |

|                                                                                                                                     |            |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 5.3. Обработка результатов измерений .....                                                                                          | 137        |
| 5.4. Методы суммирования погрешностей .....                                                                                         | 151        |
| 5.5. Установление технологических допусков .....                                                                                    | 153        |
| <b>Глава 6. Универсальные средства измерения .....</b>                                                                              | <b>156</b> |
| 6.1. Измерительные инструменты .....                                                                                                | 156        |
| 6.2. Механические измерительные устройства .....                                                                                    | 161        |
| 6.3. Устройства с пружинной и пружинно-оптической<br>передачей .....                                                                | 165        |
| 6.4. Оптико-механические приборы .....                                                                                              | 167        |
| 6.5. Пневматические приборы .....                                                                                                   | 181        |
| 6.6. Средства автоматизации контроля .....                                                                                          | 183        |
| 6.7. Трёхмерные оптические измерительные системы .....                                                                              | 189        |
| <b>Глава 7. Взаимозаменяемость изделий .....</b>                                                                                    | <b>191</b> |
| 7.1. Понятие о взаимозаменяемости и её видах .....                                                                                  | 191        |
| 7.2. Основные положения взаимозаменяемости<br>по геометрическим параметрам .....                                                    | 194        |
| Размеры и предельные отклонения .....                                                                                               | 194        |
| Допуски и посадки .....                                                                                                             | 197        |
| 7.3. Единые принципы стандартизации систем допусков<br>и посадок .....                                                              | 202        |
| 7.4. Обеспечение функциональной взаимозаменяемости<br>изделий .....                                                                 | 206        |
| Основные стадии обеспечения функциональной<br>взаимозаменяемости .....                                                              | 206        |
| Методы расчёта и выбора допусков и посадок .....                                                                                    | 209        |
| Информационные технологии обеспечения<br>функциональной взаимозаменяемости .....                                                    | 213        |
| <b>Глава 8. Стандартизация параметров шероховатости,<br/>волнистости, норм точности формы и расположения<br/>поверхностей .....</b> | <b>219</b> |
| 8.1. Отклонения геометрических параметров поверхностей<br>деталей .....                                                             | 219        |
| 8.2. Стандартизация и контроль параметров шероховатости<br>поверхности .....                                                        | 221        |
| Параметры шероховатости .....                                                                                                       | 221        |
| Выбор параметров шероховатости .....                                                                                                | 224        |
| Обозначение шероховатости поверхностей .....                                                                                        | 226        |
| Измерение и контроль параметров шероховатости<br>поверхности .....                                                                  | 231        |
| 8.3. Волнистость поверхности деталей .....                                                                                          | 233        |

|                                                                                       |            |
|---------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 8.4. Стандартизация и контроль допусков формы и расположения поверхностей .....       | 235        |
| Отклонения формы цилиндрических, плоских и поверхностей заданного профиля .....       | 236        |
| Отклонения расположения поверхностей .....                                            | 240        |
| Суммарные отклонения формы и расположения поверхностей .....                          | 243        |
| Зависимый и независимый допуски расположения и формы .....                            | 244        |
| Степени точности допусков формы и расположения поверхностей .....                     | 246        |
| Обозначение допусков формы и расположения поверхностей .....                          | 246        |
| Измерение и контроль отклонений формы и расположения поверхностей .....               | 250        |
| <b>Глава 9. Стандартизация и контроль точности гладких деталей и соединений .....</b> | <b>254</b> |
| 9.1. Система допусков и посадок гладких цилиндрических деталей и соединений .....     | 254        |
| 9.2. Система допусков и посадок для подшипников качения .....                         | 260        |
| Классы точности и категории подшипников .....                                         | 260        |
| Условное обозначение подшипников .....                                                | 262        |
| Посадки подшипников качения на вал и в корпус. Выбор посадок .....                    | 266        |
| 9.3. Допуски углов, система допусков и посадок конических соединений .....            | 273        |
| Система допусков угловых размеров .....                                               | 273        |
| Система допусков и посадок конических соединений .....                                | 275        |
| 9.4. Система допусков шпоночных соединений .....                                      | 277        |
| 9.5. Контроль деталей по предельным размерам .....                                    | 277        |
| 9.6. Обозначение предельных отклонений и посадок на чертежах .....                    | 284        |
| 9.7. Расчёт и выбор посадок в типовых соединениях .....                               | 290        |
| Общие указания .....                                                                  | 290        |
| Расчёт функциональных параметров посадок и выбор стандартных посадок .....            | 290        |
| Посадки подшипников качения на вал и в корпус .....                                   | 291        |
| Примеры расчёта посадок .....                                                         | 292        |

|                                                                                                                          |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Глава 10. Стандартизация и контроль норм точности резьбовых деталей и соединений</b> . . . . .                        | 299 |
| 10.1. Основные эксплуатационные требования к резьбовым соединениям . . . . .                                             | 299 |
| 10.2. Геометрические параметры метрических резьб . . . . .                                                               | 300 |
| 10.3. Принципы обеспечения взаимозаменяемости резьб . . . . .                                                            | 302 |
| 10.4. Система допусков и посадок метрических резьбовых соединений с зазором . . . . .                                    | 307 |
| Структура системы допусков . . . . .                                                                                     | 307 |
| Условные обозначения резьбы . . . . .                                                                                    | 309 |
| Рекомендуемые поля допусков . . . . .                                                                                    | 310 |
| 10.5. Контроль точности резьб . . . . .                                                                                  | 312 |
| <b>Глава 11. Стандартизация и контроль норм точности зубчатых колёс и передач, допуски шлицевых соединений</b> . . . . . | 315 |
| 11.1. Эксплуатационные требования к зубчатым передачам . . . . .                                                         | 315 |
| 11.2. Системы допусков зубчатых передач . . . . .                                                                        | 316 |
| Кинематическая точность . . . . .                                                                                        | 317 |
| Плавность работы . . . . .                                                                                               | 323 |
| Контакт зубьев . . . . .                                                                                                 | 328 |
| Боковой зазор . . . . .                                                                                                  | 332 |
| Условное обозначение точности зубчатых передач . . . . .                                                                 | 335 |
| Выбор степени точности передач . . . . .                                                                                 | 336 |
| 11.3. Контроль точности зубчатых передач . . . . .                                                                       | 338 |
| Общие сведения . . . . .                                                                                                 | 338 |
| Контроль кинематической точности цилиндрических зубчатых колёс и передач . . . . .                                       | 340 |
| Контроль плавности работы цилиндрических зубчатых колёс и передач . . . . .                                              | 345 |
| Контроль показателей полноты контакта зубьев цилиндрических зубчатых колёс . . . . .                                     | 348 |
| Контроль показателей бокового зазора в цилиндрических зубчатых передачах . . . . .                                       | 349 |
| Контроль червячных колёс, червяков и червячных передач . . . . .                                                         | 351 |
| 11.4. Допуски и посадки шлицевых соединений . . . . .                                                                    | 354 |
| Условное обозначение шлицевых соединений . . . . .                                                                       | 356 |
| Контроль точности шлицевых соединений . . . . .                                                                          | 357 |
| <b>Глава 12. Расчёт точности размеров, входящих в размерные цепи</b> . . . . .                                           | 359 |
| 12.1. Основные положения. Термины и определения . . . . .                                                                | 359 |
| 12.2. Решение и порядок построения размерных цепей . . . . .                                                             | 362 |

|                                                                                         |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Методы достижения точности замыкающего звена .....                                      | 362 |
| Решаемые задачи и способы расчёта размерных цепей .....                                 | 363 |
| Порядок построения размерных цепей .....                                                | 364 |
| 12.3. Зависимости для расчёта размерных цепей .....                                     | 366 |
| Метод обеспечения полной взаимозаменяемости. ....                                       | 366 |
| Вероятностный метод расчёта .....                                                       | 373 |
| Метод групповой взаимозаменяемости .....                                                | 377 |
| Методы регулирования и пригонки .....                                                   | 380 |
| 12.4. Расчёт плоских и пространственных размерных цепей ..                              | 383 |
| <b>Приложения</b> .....                                                                 | 385 |
| 1. Значения интеграла .....                                                             | 385 |
| 2. Пример обработки результатов измерения на компьютере с использованием MatchCad ..... | 386 |
| <b>Литература.</b> .....                                                                | 392 |

*Учебное издание*

**Колчков Вячеслав Иванович**

## **МЕТРОЛОГИЯ, СТАНДАРТИЗАЦИЯ И СЕРТИФИКАЦИЯ**

*Учебник для студентов образовательных учреждений  
среднего профессионального образования, обучающихся по группе  
специальностей «Метрология, стандартизация и контроль качества»*

Зав. редакцией *В.А. Салахетдинова*

Редактор *Н.Ф. Гребнева*

Зав. художественной редакцией *И.А. Пшеничников*

Художник *В.Е. Филиппов*

Художник обложки *Е.В. Гусейнов*

Верстка *О.Н. Емельяновой*

Корректор *Т.Я. Кокорева*

Отпечатано с диапозитивов, изготовленных  
ООО «Гуманитарный издательский центр ВЛАДОС».

Лицензия ИД № 03185 от 10.11.2000.

Санитарно-эпидемиологическое заключение

№ 77.99.60.953.Д.010192.08.09 от 28.08.2009 г.

Сдано в набор 15.05.08. Подписано в печать 14.08.08.

Формат 70×90/16. Печать офсетная. Бумага офсетная. Усл. печ. л. 29,25.

Тираж 15 000 экз. (1-й завод 1–1 000 экз.).

Заказ №

Гуманитарный издательский центр ВЛАДОС.

119571, Москва, просп. Вернадского, 88,

Московский педагогический государственный университет.

Тел. 430-04-92, 437-25-52, 437-99-98; тел./факс 735-66-25.

E-mail: [vlados@dol.ru](mailto:vlados@dol.ru)

<http://www.vlados.ru>

---

ОАО ПИК «Идел-Пресс».

420066, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Декабристов, 2.

# приглашаем к сотрудничеству

учреждения  
образования

авторов

учебные  
заведения

книготорговые  
организации

оптовых  
покупателей



Широкий выбор  
учебников,  
учебных  
и методических  
пособий,  
справочной  
литературы  
для вузов, школ,  
лицеев, гимназий,  
колледжей,  
детских садов  
и учреждений  
дополнительного  
образования.

У НАС ВСЕГДА можно подобрать ас-  
сортимент новейшей учебной литературы на-  
шего и других издательств.

НАШИ МЕНЕДЖЕРЫ оперативно об-  
работают ваш заказ, помогут подобрать ассор-  
тимент учебной литературы, необходимой для  
вашего региона, ознакомят с перспективами  
издательства на ближайший квартал.

ХОРОШЕЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ,  
гибкая система скидок, советы профессио-  
налов по подбору литературы – все это в нашем  
издательстве!

ПОЗНАКОМИТЬСЯ с новинками  
издательства вы сможете на web-сайте:  
**[www.vlados.ru](http://www.vlados.ru)**

**Телефоны:** 437-99-98, 437-11-11, 437-25-52.

**Телефон/факс:** 735-66-25.

**E-mail:** [vlados@dol.ru](mailto:vlados@dol.ru)

**Все книги вы сможете заказать и приобрести по адресу:**

119571, Москва, просп. Вернадского, 88,  
Московский педагогический  
государственный университет, а/я 19.