

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА  
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Учреждение образования  
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра стандартизации и метрологии

**Б. В. Цитович, Н. А. Воробьев, М. С. Капица**

УДК 006.91(07)  
ББК 30.10я7  
Ц74

*Рецензенты:*  
кафедра физико-химических методов  
сертификации продукции БГТУ;  
доцент кафедры «Стандартизация, метрология  
и информационные системы» БНТУ,  
кандидат технических наук *С. С. Соколовский*

## МЕТРОЛОГИЧЕСКАЯ ЭКСПЕРТИЗА И НОРМОКОНТРОЛЬ

*Рекомендовано Учебно-методическим объединением  
по образованию в области обеспечения качества  
в качестве учебно-методического пособия  
для студентов учреждений высшего образования  
по специальности 1-54 01 01–06 Метрология, стандартизация  
и сертификация по направлению (аграрно-промышленный комплекс)*

Ц74

**Цитович, Б. В.**

Метрологическая экспертиза и нормоконтроль : учеб.-методич.  
пособие / Б. В. Цитович, Н. А. Воробьев, М. С. Капица. – Минск :  
БГАТУ, 2015. – 340 с.  
ISBN 978-985-519-709-7.

Содержит теоретический материал по проведению научно-технической экспертизы.  
В пособии рассмотрены вопросы проведения метрологической экспертизы  
и нормоконтроля (стандартизационной экспертизы) объектов, представленных  
конструкторской, технологической и нормативной документацией, а также материалами  
научных исследований.

Для студентов при проведении экспертизы в ходе выполнения курсовых проектов  
(работ) и дипломных проектов, инженерно-технических работников, выполняющих  
метрологическую экспертизу и нормоконтроль.

УДК 006.91(07)  
ББК 30.10я7

Минск  
БГАТУ  
2015

ISBN 978-985-519-709-7

© БГАТУ, 2015

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ.....	5
1. МЕТРОЛОГИЧЕСКАЯ И СТАНДАРТИЗАЦИОННАЯ ЭКСПЕРТИЗЫ .....	6
2. ОБЩИЕ ЦЕЛИ, ЗАДАЧИ И СОСТАВ МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ И СТАНДАРТИЗАЦИОННОЙ ЭКСПЕРТИЗ.....	29
2.1. Общие цели и задачи метрологической и стандартизационной экспертиз.....	29
2.2. Состав метрологической и стандартизационной экспертиз .....	41
3. ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ И СТАНДАРТИЗАЦИОННОЙ ЭКСПЕРТИЗ.....	51
4. СТАНДАРТИЗАЦИОННАЯ ЭКСПЕРТИЗА (НОРМОКОНТРОЛЬ).....	64
4.1. Структура и состав нормоконтроля .....	64
4.2. Права и обязанности нормоконтролера.....	71
4.3. Организация нормоконтроля .....	72
4.4. Особенности нормоконтроля проектов нормативных документов.....	76
4.5. Оформление результатов нормоконтроля.....	78
5. НЕКОНТРОЛЕПРИГОДНОСТЬ ТРЕБОВАНИЙ. ВОЗМОЖНЫЕ ПРИЧИНЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИХ УСТРАНЕНИЮ .....	82
5.1. Причины неконтролепригодности параметров и пути их устранения .....	84
5.2. Соотношения между допусками размеров, формы и расположения поверхностей.....	86
5.3. Соотношения между допусками макрогеометрии и высотными параметрами шероховатости поверхностей .....	98
6. МОДЕЛИРОВАНИЕ В МЕТРОЛОГИИ, ВИДЫ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ .....	103
6.1. Метрологические модели .....	103
6.2. Модели объектов измерений .....	106
6.3. Модели средств измерений и измерительных процедур.....	116
7. МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ СХЕМЫ.....	137
7.1. Порядок построения метрологических схем .....	137
7.2. Назначение и виды метрологических схем.....	138
7.3. Условные обозначения элементов метрологических схем.....	144
8. МЕТРОЛОГИЧЕСКАЯ ЭКСПЕРТИЗА ОБЪЕКТОВ НА БАЗЕ КОНСТРУКТОРСКОЙ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ.....	149
8.1. Постановка и решение задач метрологической экспертизы изделий на базе конструкторской документации.....	149
8.2. Постановка и решение задач метрологической экспертизы объекта на базе технологической документации.....	159

9. МЕТРОЛОГИЧЕСКАЯ И СТАНДАРТИЗАЦИОННАЯ ЭКСПЕРТИЗЫ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ И МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕДУР .....	162
9.1. Экспертиза средств измерений .....	162
9.2. Требования к методикам выполнения измерений и измерительного контроля .....	167
9.3. Экспертиза метрологических процедур.....	181
10. ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЕРТИЗЫ НОРМАТИВНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ .....	195
10.1. Структура экспертизы нормативных документов.....	196
10.2. Объекты метрологической экспертизы в нормативных документах .....	198
11. ТИПОВЫЕ ОШИБКИ, ВЫЯВЛЯЕМЫЕ ПРИ ЭКСПЕРТИЗЕ.....	201
11.1. Ошибки, выявляемые при совместной экспертизе.....	201
11.2. Ошибки, выявляемые при стандартизационной экспертизе.....	203
11.3. Ошибки, выявляемые при метрологической экспертизе.....	211
12. СОВМЕСТНЫЙ МЕТРОЛОГИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ И НОРМОКОНТРОЛЬ.....	213
13. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ПРОВЕДЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ.....	218
ПРИЛОЖЕНИЯ .....	234
1. Пример нормоконтроля по конструкторской документации («чертеж детали») .....	234
2. Примеры нормоконтроля по комплектам конструкторской документации .....	239
3. Пример стандартизационной экспертизы оригинальных объектов .....	244
4. Примеры стандартизационной экспертизы нормативной документации .....	252
5. Пример использования метрологических моделей при экспертизе измерений геометрических параметров .....	257
6. Пример метрологической экспертизы детали .....	273
7. Примеры результатов метрологической экспертизы деталей по конструкторской документации .....	276
8. Пример метрологической экспертизы средств измерений.....	283
9. Пример метрологической экспертизы методики выполнения измерений.....	288
10. Пример совместной экспертизы объекта по технологической документации .....	296
11. Пример совместной экспертизы объекта, представленного нормативным документом .....	301
12. Проект стандарта организации на метрологическую экспертизу .....	326
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	336

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Необходимость написания настоящего пособия вызвана отсутствием учебной литературы по дисциплине «Метрологическая экспертиза и нормоконтроль», что связано со значительными недоработками нормативной документации по стандартизации, регламентирующей выполнение метрологической и стандартизационной экспертиз и оформление ее результатов.

Главы с 1 по 12 написаны Б. В. Цитовичем, главу 13 написали и Приложения подготовили совместно Б. В. Цитович, Н. А. Воробьев и М. С. Капица.

В ходе метрологической и стандартизационной экспертиз первичными задачами является оценка нормосоответствия объекта и контролепригодности его параметров.

Для обеспечения контролепригодности некоторого положения нормативного документа или параметра объекта может потребоваться его корректное представление. Корректное представление требований, прежде всего, подразумевает соблюдение требований нормативных документов. При неконтролепригодности возможными решениями являются трансформация требования или разработка специальных методов его оценки, включая методики выполнения измерений (МВИ), средства измерений (СИ) или модернизацию существующих СИ.

## 1. МЕТРОЛОГИЧЕСКАЯ И СТАНДАРТИЗАЦИОННАЯ ЭКСПЕРТИЗЫ

Современную разработку и серийное или массовое производство изделий и услуг невозможно рационально организовать без системных связей, осуществляемых с использованием стандартизации, метрологии, квалиметрии и сертификации (рис. 1.1).



a



b

Рис. 1.1. Нормирование, оценивание и контроль в современном производстве:  
a – стандартизация, метрология, квалиметрия и контроль соответствия;  
б – законы Республики Беларусь в области стандартизации, измерений и контроля соответствия

Стандартизация предназначена для установления рациональных требований к объектам производства (нормирования свойств объектов), которые обеспечивают экономичное производство изделий удовлетворительного уровня качества. В процессе производства требования должны выполняться, а их выполнение необходимо контролировать. Контроль соответствия свойств объектов установленным

нормам могут осуществлять исполнитель (оператор), представитель контролирующего органа (работник службы технического контроля, инспекции качества и др.). Научно-технические средства, которыми пользуются для контроля соответствия свойств заданным нормам, заимствуют у метрологии, если свойство представляет собой физическую величину, или у квалиметрии, если свойство не является физической величиной и оценивается только экспертными методами.

Что касается сертификации или оценивания соответствия объектов требованиям нормативных документов (ТНПА, стандартов и др.), то сами требования заимствуют у стандартизации, а контроль их соблюдения осуществляют методами и средствами метрологии и (или) квалиметрии.

Из схемы (см. рис. 1.1) следует, что в Республике Беларусь рассматриваемые виды деятельности поддерживаются законодательством, что подчеркивает важность деятельности, направленной на обеспечение заданного уровня качества объектов, а также их безопасность для человека.

Рассмотрим взаимодействие выбранных научно-технических областей деятельности и качества объектов производства (изделий и технологических процессов).

Стандартизация в широком смысле слова – это деятельность по созданию и применению специально разрабатываемых документов (нормативных документов в области стандартизации). Нормативные документы (НД) в области стандартизации могут разрабатываться как стандарты международные, региональные, национальные, отраслевые, стандарты субъектов хозяйствования, а также как руководящие документы (РД), методические указания (МУ), технические нормативные правовые акты (ТНПА) и пр. Далее все НД в области стандартизации будут называться стандартами, если не возникнет необходимость в дополнительных уточнениях.

Стандарт рассчитан на многократную повторяемость объектов, значит, на серийное или массовое производство, поэтому он может зафиксировать не наивысший, а только удовлетворительный уровень качества, который доступен такому производству и представляет компромисс между желаниями потребителя и возможностями производителя. Достоинство стандартизации и технического нормирования – ограничение уровня качества снизу, что позволяет

реализовать производство с приемлемыми затратами и не препятствует повышению качества объекта по мере совершенствования технологии и появления новых научно-технических возможностей.

Связи между качеством и стандартизацией, качеством и сертификацией значительно сложнее: соответствует стандарту, сертифицировано – значит, высококачественное. В действительности стандартизация направлена на экономичное создание объекта путем принятия компромиссных решений, а сертификация призвана только зафиксировать соответствие объекта установленным требованиям или обнаружить несоответствия, а не «подтвердить высокий уровень качества». Стандартизация и сертификация предназначены, прежде всего, для защиты потребителя от объектов, качество которых ниже установленного уровня и которые являются браком или представляют опасность. Годная продукция – не синоним высококачественной, морально устаревшие годные изделия неконкурентоспособны, поскольку уровень их качества не устраивает взыскательного потребителя.

Ужесточение контроля не может поднять уровень качества (например, приемочный контроль изделий направлен только на предотвращение выпуска брака). При этом следует отметить, что даже строгое соблюдение технологической дисциплины не гарантирует выпуск годной продукции без высококачественного оборудования, сырья, материалов, комплектующих, а также квалифицированных кадров, экономически заинтересованных в успешных результатах работы. Только отсутствие монополизма и насыщение рынка продукцией удовлетворительного уровня качества от разных поставщиков может обеспечить реальную конкуренцию и эффективное рыночное регулирование. В условиях конкуренции решающими будут требования потребителя, а производитель будет экономически заинтересован в оптимальном уровне качества и станет бороться за потребителя повышением уровня качества на всех стадиях жизненного цикла изделия или процесса.

Стандартизация, метрология, квалиметрия и контроль соответствия могут способствовать поддержанию уровня качества не ниже установленного. В производстве методами метрологии осуществляют измерительный контроль параметров, заданных физическими величинами. Квалиметрия особое внимание уделяет контролю качества, а сертификация была создана для контроля соответствия

установленным требованиям. В сфере стандартизации осуществляют специфический контроль, связанный с проверкой соответствия объектов требованиям стандартов, который обобщенно называют «нормоконтроль». Грамотное применение стандартизации, метрологии и квалиметрии могут способствовать повышению уровня качества объектов при их модернизации или разработке новых вариантов.

Наряду с контролем в рассматриваемых областях достаточно часто осуществляют экспертизу, например, нормоконтроль фактически проводят как стандартизационную экспертизу. Анализ сложившейся ситуации требует разбора широко применяемых понятий «контроль», «измерение», «испытание» и «экспертиза» (рис. 1.2).



Рис. 1.2. Взаимосвязь испытаний, измерений и контроля и экспертизы

Определения видов контроля взяты из ГОСТ 16504 «Система государственных испытаний продукции. Испытания и контроль качества продукции. Основные термины и определения».

*Технический контроль* – проверка соответствия объекта установленным техническим требованиям.

*Контроль качества продукции* – контроль количественных и (или) качественных характеристик свойств продукции.

*Приемочный контроль* – контроль продукции, по результатам которого принимается решение о ее пригодности к поставкам и (или) использованию.

*Измерительный контроль* – контроль, осуществляемый с применением средств измерений.

*Органолептический контроль* – контроль, при котором первичная информация воспринимается органами чувств.

Сущность контроля:

1. Получение информации о фактическом состоянии некоторого объекта, о признаках и показателях его свойств.

2. Сопоставление полученной информации с установленными требованиями, нормами, критериями, т. е. обнаружение соответствия или несоответствия фактических данных требуемым.

По РМГ 29–99, измерение физической величины – совокупность операций по применению технического средства, хранящего единицу физической величины, обеспечивающих нахождение соотношения измеряемой величины с ее единицей и получение значения этой величины. В примечаниях к определению сказано, что в случаях, когда невозможно выполнить измерение (не выделена величина как физическая и не определена единица измерения этой величины), практикуется оценивание таких величин по условным шкалам.

Графические модели контроля и измерения параметра представлены на рис. 1.3.

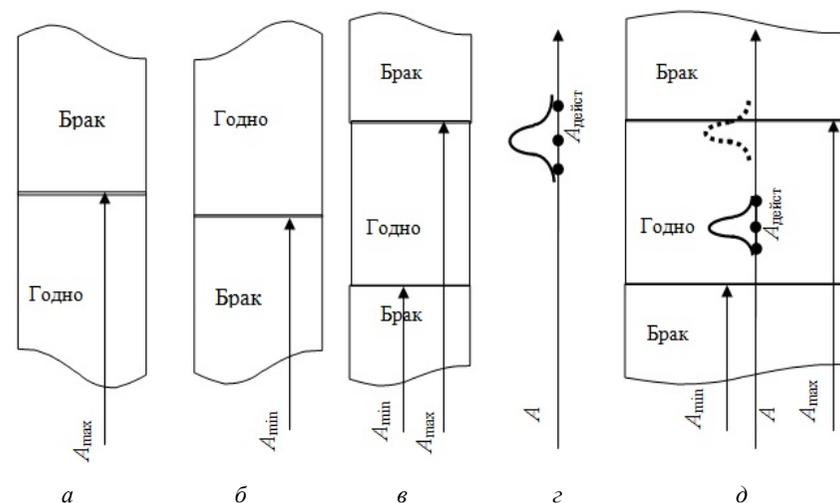


Рис. 1.3. Контроль и измерения параметра A:

a – нормирование с ограничением сверху; б – нормирование с ограничением снизу; в – двухпредельное ограничение; г – измерение параметра; д – измерительный контроль параметра при двухпредельном ограничении

Определения испытаний взяты из ГОСТ 16504.

*Испытания* – экспериментальное определение количественных и (или) качественных характеристик свойств объекта испытаний как результата воздействия на него при его функционировании, при моделировании объекта и (или) воздействии.

*Примечание.* Определение включает оценивание и (или) контроль.

*Приемо-сдаточные испытания* – контрольные испытания продукции при приемочном контроле.

*Точность результатов испытаний* – свойство испытаний, характеризующее близостью результатов испытаний к действительным значениям характеристик объекта, в определенных условиях испытаний.

*Воспроизводимость результатов испытаний* – характеристика результатов испытаний, определяемая близостью результатов повторных испытаний объекта.

Модели измерения параметра и испытаний объекта представлены на рис. 1.4 и 1.5.

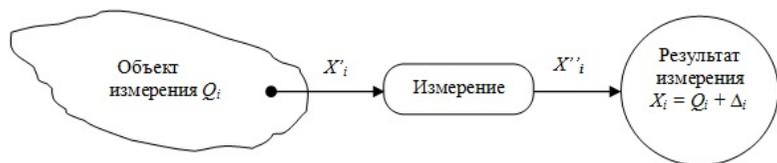


Рис. 1.4. Модель измерения физической величины

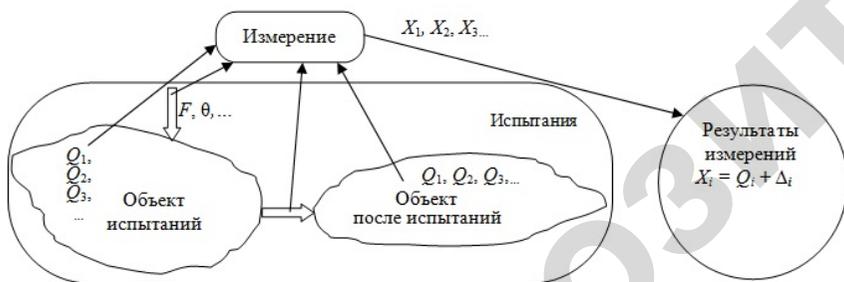


Рис. 1.5. Модель испытаний объекта

Принципиальное отличие испытаний от измерений заключается в том, что на испытуемый объект оказывают нормируемое или контролируемое воздействие, из-за чего изменяются его свойства, а результаты изменений объекта фиксируют как результаты испы-

таний. Для фиксации исходных и изменившихся свойств объекта, а также управляемых или контролируемых воздействий на него часто используют измерения.

При измерении физической величины воздействие средств измерений на измеряемый объект для получения измерительной информации не должно изменять его свойства. В противном случае измерения теряют ценность, поскольку полученная информация будет недостоверной.

Экспертиза (лат. *expertus* – опытный) представляет собой процесс исследования объекта, проводимый специалистом с определенной целью. Хорошо организованная экспертиза представляет собой научное исследование объектов и имеет типичную для исследования структуру (рис. 1.6).

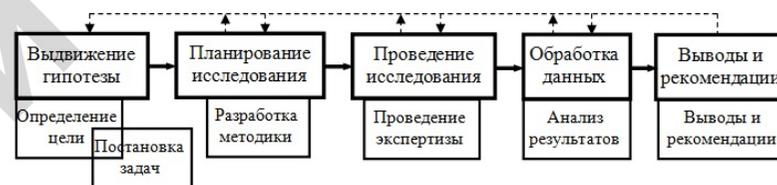


Рис. 1.6. Структура экспертизы как научного исследования

Как и у любого научного исследования, можно выделить оценочную, объяснительную и прогностическую функции экспертизы. Экспертиза может исследовать недостатки объекта (объяснительная функция), чтобы затем можно было искать пути повышения его качества. Так, экспертиза аварий обычно направлена на выяснение их причин и предотвращение аналогичных нежелательных событий. Если экспертизу проводят на стадии проектирования, то оценивают еще не созданный объект и анализируют его достоинства и недостатки, следовательно, ведущей функцией такой экспертизы будет прогностическая.

Результаты экспертизы могут использоваться для совершенствования объекта производства (изделия) и (или) технологического процесса его производства (эксплуатации, потребления). Реакция на результаты экспертизы может существенно различаться: от «мгновенной» до замедленной или отложенной. Если проводят экспертизу объекта собственного производства (внутренняя экспертиза), то зафиксированные недостатки могут быть оперативно устранены,

достоинства – усугублены, в результате чего объект совершенствуется. При экспертизе таких объектов, как покупные изделия, реакция изготовителя может вообще отсутствовать. Экспертиза объекта стороннего производства часто служит основанием для принятия решений о его приобретении, использовании, предъявлении претензий, отказе от приобретения в пользу конкурирующего варианта и т. д.

Экспертиза является обязательной частью любой научной работы. Ее проводят сами авторы исследований, коллеги по работе, специально назначаемые рецензенты и оппоненты. Основными целями научных совещаний, конференций, симпозиумов являются экспертиза или публичная апробация результатов исследований.

Любая техническая экспертиза носит научно-исследовательский характер, поэтому ее часто называют научно-технической. Экспертизу могут проводить отдельные специалисты либо группы экспертов (индивидуальная и групповая экспертиза). Эксперт должен иметь высокую квалификацию, что подразумевает наличие глубоких знаний соответствующей «предметной области», например, технологии, метрологии, стандартизации и т. д. Обязательны достаточные знания экспертируемого объекта. Весьма полезны также знания и опыт в области организации и проведения экспертизы.

Квалификацию эксперта может подтверждать официальный документ (сертификат, свидетельство, диплом и др.). Если подготовка экспертов в некоторой конкретной области официально не оформлена, претендент на звание эксперта может предъявить документы, подтверждающие квалификацию в определенной «предметной области» и результаты выполненных работ. Квалификацию эксперта могут также подтвердить заказчики, с которыми он работал ранее. Официальный статус эксперта может быть оформлен административным документом (приказ, распоряжение и т. д.) или зафиксирован документом о заказе на выполнение экспертной работы (договор, соглашение и пр.), если эксперта приглашают из сторонней организации.

Составными частями комплексной научно-технической экспертизы объекта могут быть конструкторская, технологическая, метрологическая и стандартизационная экспертизы.

Понятие стандартизационной экспертизы было фактически введено в 1968 г. нормативным документом ГОСТ 2.111. В разделе «Цели и задачи нормоконтроля» первой версии этого стандарта было

в явной форме сказано об «экспертизе проектной документации» и «экспертном заключении». Однако в настоящее время термин «стандартизационная экспертиза» практически отсутствует в нормативной документации и литературных источниках, хотя фактически проведение такой экспертизы является обязательным в соответствии с требованиями действующих стандартов, регламентирующих нормоконтроль.

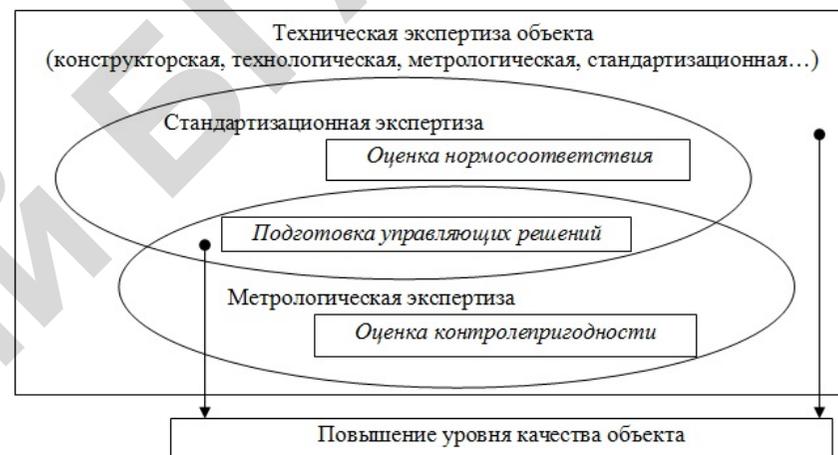


Рис. 1.7. Структура частных и общих целей стандартизационной и метрологической экспертиз

Структура (рис. 1.7) показывает, что метрологическая и стандартизационная экспертизы могут способствовать повышению уровня качества объекта. В управлении качеством на основе результатов метрологической и стандартизационной экспертиз следует различать два уровня.

Первый уровень – контроль качества объекта, в частности, свойств объекта для обеспечения его соответствия требованиям НД по стандартизации (контроль нормосоответствия, нормоконтроль), и контроль возможности оценить свойства объекта для поддержания их на уровне не ниже допустимого (проверка контролепригодности, метрологический контроль). На стадии разработки изделий или технологических процессов это означает проверку отсутствия нарушений требований стандартов и проверку возможности обеспечения контроля всех функционально значимых параметров. Такой результат достигается при положительных результатах фор-

мальной экспертизы: все обнаруженные в ходе экспертизы дефекты следует устранить, что будет вкладом экспертизы в качество разработки. Успешное прохождение формальной экспертизы гарантирует отсутствие «брака разработки» (недопустимых дефектов) объекта.

Второй уровень – функциональные стандартизационная и метрологическая экспертизы, которые направлены на усовершенствование объекта. Они должны не просто констатировать положительные или отрицательные результаты проверки нормосоответствия объекта и контролепригодности его параметров, а обеспечить выявление не самых удачных решений, заложенных разработчиками. Если какое-либо оригинальное решение можно заменить стандартным или унифицированным без снижения технического уровня объекта, такая замена обеспечит повышение уровня его качества за счет снижения издержек производства. Если какой-либо параметр неконтролепригоден или не оптимален, возможны либо его изменение, либо модернизация объекта или его части, после чего задача метрологического обеспечения объекта становится решаемой (объект приобретает более высокий уровень качества). Оптимизация параметров объекта всегда дает более высокий технический уровень.

Для повышения уровня качества объекта желательно, чтобы изменения, внесенные на основании результатов стандартизационной и метрологической экспертизы, повысили или сохранили технический уровень объекта и (или) способствовали снижению себестоимости его реализации (изготовления изделия, осуществление техпроцесса или процесса предоставления услуги). Например, возможно использование стандартных решений вместо оригинальных, удешевление метрологического обеспечения (измерительного контроля параметров и метрологического обслуживания средств измерений). Такие изменения приводят к повышению уровня качества объекта за счет снижения издержек производства.

Замена неконтролепригодного параметра контролепригодным и оригинального решения стандартным путем модернизации всего объекта или его части без снижения технического уровня есть главный инструментальный использования результатов функциональной метрологической и стандартизационной экспертиз, пригодный для повышения уровня качества объекта. Для обоснован-

ного принятия решений о переработке объекта экспертизы необходима очень высокая квалификация в области разработки экспертируемых объектов. Требовать этого от эксперта можно не всегда – он критик, а не «творец». Оптимизация работы по выявлению и устранению недостатков объекта возможна только при согласованной работе эксперта и разработчика.

Одним из возможных результатов функциональной метрологической экспертизы может быть повышение уровня качества объекта за счет оптимизации норм точности. При этом основаниями для анализа параметров проектируемого объекта может быть их неконтролепригодность или сомнения в контролепригодности. Оптимизация норм точности не обязательно связана с ужесточением требований. Точность повышают только в том случае, если назначенные нормы точности не обеспечивают удовлетворительного функционирования изделия или реализации технологического процесса. Но если обнаружены избыточно жесткие требования к точности параметров и можно их расширить, не снижая технического уровня объекта, то снижение точности приведет к повышению уровня качества экспертируемого объекта за счет снижения себестоимости контроля и возможного повышения его объективности.

Обеспечение уровня качества средствами метрологии достигается за счет высокой достоверности измерительного контроля параметров объекта в процессе производства, реализации, эксплуатации. Связанные с этим задачи решают в ходе метрологической экспертизы. Любое решение, которое приводит к совершенствованию метрологического обеспечения, повышает уровень качества объекта и производства в целом.

*Понятие «качество» (общее представление).* Это понятие можно рассматривать с различных позиций (философской, экономической, технической и пр.), т. к. в каждой из них есть свои характерные особенности.

Аспекты качества как философской категории:

- отражение комплексной (наиболее полной) оценки объекта;
- учет множества элементарных свойств, их иерархии, взаимного переплетения;
- принципиальная возможность формирования оценок единичных и комплексных показателей качества (групповых, интегральных и обобщенных) с применением аппарата квалиметрии и с ис-

пользованием метрологии в случаях оценки параметров (свойств, определяемых физическими величинами).

Попытка рассматривать качество как свойство (или комплекс свойств), необходимых для удовлетворения желаний потребителя, существенно сужает проблему. Качеством обладают не только артефакты, но и естественно образовавшиеся объекты, в том числе минералы, дикорастущие растения и животные, которые природой не были «предназначены для потребителя».

Аспекты качества как экономической категории:

- в повышение качества надо вкладывать деньги (прогрессивные фирмы выделяют на повышение качества до 25 % от общих затрат на разработку нового изделия);
- повышение качества дает пользователям экономический эффект за счет сокращения остановок, исключения аварий (и катастроф), сокращения расходов на простой, замену, ремонт оборудования и т. д. (особо опасны техногенные катастрофы на нефте- и газопроводах, в авиации, на шахтах и т. д.);
- экономическим идеалом можно считать оптимальный уровень качества (например, удовлетворительное в эксплуатации изделие производится с минимальными затратами). Качество – не самоцель, и его наивысший уровень может стоить бесконечно дорого;
- высокий уровень качества можно обеспечить только экономическими методами. Административные методы неэффективны.

Аспекты качества как технической категории:

- уровень качества объекта связан с его жизненным циклом, в частности, уровень качества изделия закладывается до начала проектирования (концептуальное решение), формируется в процессе проектирования, реализуется в процессе изготовления и гарантируется при нормальной эксплуатации. Уровень качества технологического процесса также связан с его «жизненным циклом», который несколько короче, чем у изделия. Отсутствие комплексности в подходе к обеспечению качества ведет к невозможности решения задачи;
- уровень квалификации прогнозистов, разработчиков, изготовителей и пользователей, а также их техническая и информационная оснащенность должны соответствовать планируемому уровню качества.

Очевидно, что качество изделий в значительной степени обеспечивает изготовитель. Если изделие сделано плохо, оно плохо работает. Но если спроектировано морально устаревшее изделие, оно

будет неконкурентоспособным на рынке даже при отличном качестве изготовления. Следовательно, уровень качества любого изделия в первую очередь определяет его разработчик. Но неправильное использование изделия приведет к его быстрой поломке, и в таком случае разговор о качестве теряет всякий смысл.

В настоящее время особое внимание уделяют также утилизации изделий, поскольку опыт работы с такими объектами, как атомные электростанции и атомные подводные лодки, заставляет обращать внимание не только на эффективность функционирования, но и на угрозу загрязнения окружающей среды. Значит, качество изделия следует рассматривать на протяжении всего «жизненного цикла» от проектирования (через изготовление и эксплуатацию) до физической или моральной его «смерти» (рис. 1.8).

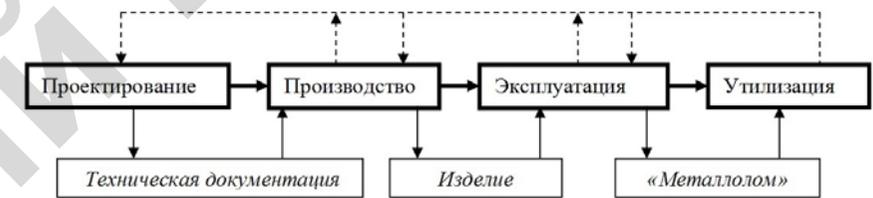


Рис. 1.8. «Жизненный цикл» изделия

«Жизненный цикл» изделия строится с учетом не только прямых связей (качество сложного изделия закладывается при проектировании, обеспечивается в ходе производства, реализуется при эксплуатации), но и обратных связей, которые используются для корректирования требований, обеспечивающих приемлемый уровень качества объекта.

«Жизненный цикл» процесса (рис. 1.9) существенно короче, но его оригинальной особенностью является «ненамеренная» продукция, которая подлежит утилизации или (в лучшем случае) использованию.

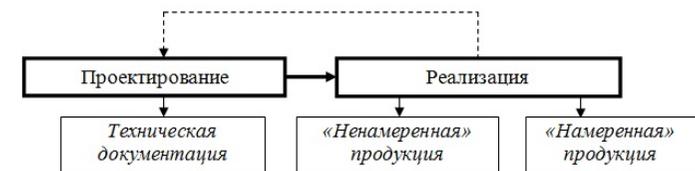


Рис. 1.9. «Жизненный цикл» процесса

При проектировании любого объекта (проекта, изделия, процесса) определенный уровень качества закладывается еще на этапе подготовки технического задания.

Качество объекта можно оценить и на основе этой оценки сравнить объекты одинакового назначения. Так, качество изделия является наиболее общим его свойством и складывается из таких более простых свойств, как мощность, производительность, КПД, надежность, эргономичность и пр. В свою очередь, каждое из этих свойств может быть более или менее сложным. Например, надежность изделия включает в себя его безотказность, долговечность, ремонтпригодность и сохраняемость. А такие свойства, как масса, отдельные габаритные размеры изделия являются простейшими и не разлагаются на составляющие элементы.

Простые свойства, которые могут быть выражены числовыми значениями физических величин: масса, длина, твердость и пр., обычно называют параметрами. Функциональные параметры элементов изделия – это параметры, определяющие уровень его эксплуатационных показателей. К ним могут быть отнесены геометрические, физико-механические, электрические, магнитные и другие. Основная задача проектирования – выявление функциональных параметров элементов изделия и нормирование их таким образом, чтобы обеспечить удовлетворительный уровень эксплуатационных показателей изделия.

Аспекты качества как психологической категории:

- работники всех уровней от рабочего до директора должны понимать, что для успешной конкуренции на рынке необходимо постоянное повышение качества продукции;
- компанейщина в управлении качеством без экономической поддержки приводит к безразличному или отрицательному отношению к системам менеджмента качества.

Сегодня в области управления качеством существует множество заблуждений, связанных с недостаточно устоявшимися достижениями в квалиметрии и недостаточными знаниями «специалистов по менеджменту качества» в этой научной области. В частности, практически не решены вопросы выделения менеджмента качества из общей системы менеджмента. Разрабатываются «философия качества», «идеология качества», существуют множество направлений, в том числе и спекулятивных.

Реклама также создает искаженные представления о качестве. Выражения типа «наилучшее соотношение цена – качество» некорректны, поскольку экономические показатели качества являются одними из важнейших, что хорошо известно рядовому потребителю. Грамотный подход будет заключаться в определении соотношения цены и технического уровня объекта. Очевидно, что из двух объектов, равноценных по техническому уровню, более высоким качеством для невзыскательного потребителя обладает тот, который дешевле.

Первые попытки целевого управления качеством были предприняты в СССР. Начало было положено в виде системы бездефектного изготовления продукции и системы бездефектного труда, затем появились системы с более широким охватом производства, вплоть до комплексной системы управления качеством продукции (КС УКП). (Реферативное описание развития систем менеджмента качества представлено далее.)

При очевидных достоинствах эти системы не могли принести существенной пользы из-за доминирующего административного метода внедрения. Недостаточная эффективность всех систем управления качеством в Советском Союзе была обусловлена отсутствием развитых рыночных отношений, которые являются экономической основой любой системы обеспечения и поддержания необходимого уровня качества.

Укоренившиеся стереотипы и лозунги времен СССР:

- все изделия – на высший уровень качества;
- наивысшее качество – при минимальных затратах;
- качество зависит исключительно от технологической дисциплины

(или: уровень качества можно обеспечить жесткостью контроля).

Лозунги броские, но в технико-экономическом плане безграмотные. Безусловно, присвоение высшей категории качества и знака качества изделиям с уровнем качества не ниже, чем у лучших зарубежных аналогов, можно считать интересным шагом. Но предполагаемый следующий шаг – переход на выпуск изделий только высшей категории качества – представляется бессмысленным. Неоптимальность такого производства очевидна, поскольку если себестоимость изделий будет высокой, то очень высокой будет и их цена, что устроит далеко не каждого потребителя.

Наивысшее качество при минимальных затратах обеспечить невозможно (можно обеспечить либо наивысший уровень качества, не считаясь с затратами, либо приемлемый уровень – при минимальных затратах). Технологическая дисциплина при удовлетворительном уровне технологического оборудования может только обеспечить успешное изготовление разработанного изделия. Она не может повысить уровень качества неконкурентоспособной продукции, а также не исправит производственную ситуацию при использовании устаревшего или изношенного оборудования.

### **Реферативное описание развития систем менеджмента качества**

Во второй половине XX ст. специалисты многих стран пришли к выводу, что нерационально пытаться обеспечить гарантированный уровень качества только путем контроля готовой продукции. Качеством продукции необходимо управлять, причем делать это следует на всех этапах ее «жизненного цикла». Управление производством (в широком смысле) с целью получения продукции заданного уровня качества включает действия, осуществляемые при разработке, производстве, контроле и испытании продукции, и в целях установления, обеспечения и поддержания необходимого уровня ее качества. Наибольший эффект от управления может быть достигнут при системном подходе к решению этой задачи.

Под системой менеджмента качества подразумевается совокупность управляющих органов и объектов управления, взаимодействующих в ходе обеспечения качества и управления качеством с помощью материально-технических и информационных средств.

Усредненные требования потребителя достаточно часто фиксируются в НД на конкретные виды продукции. Однако сами по себе НД не могут быть гарантией того, что требования потребителя будут действительно удовлетворены, если в организационной системе имеются какие-либо несоответствия.

Началом системно-комплексного подхода к решению проблемы качества продукции в СССР стала Саратовская система бездефектного изготовления продукции (БИП), которая была разработана в середине 50-х гг. прошлого столетия и внедрена на промышленных предприятиях Саратовской области. Качество труда отдельного исполнителя, бригады, цеха оценивалось путем исчисления процента

сдачи продукции отделу технического контроля с первого предъявления. В зависимости от возвратов сокращался размер премий.

Важнейшей желаемой особенностью системы являлся перенос центра тяжести контроля на исполнителя в связи с ужесточением ответственности за брак. Благодаря этому достигалась профилактическая направленность контроля. Такой подход стимулирует соблюдение технологической дисциплины, совершенствование производственного процесса. Недостатком системы БИП был узкий подход к управлению качеством, поскольку эта система охватывала только производственную сферу и то не в полной мере. Совершенствование систем управления качеством было связано с более широким охватом стадий «жизненного цикла изделия» (рис. 1.10).

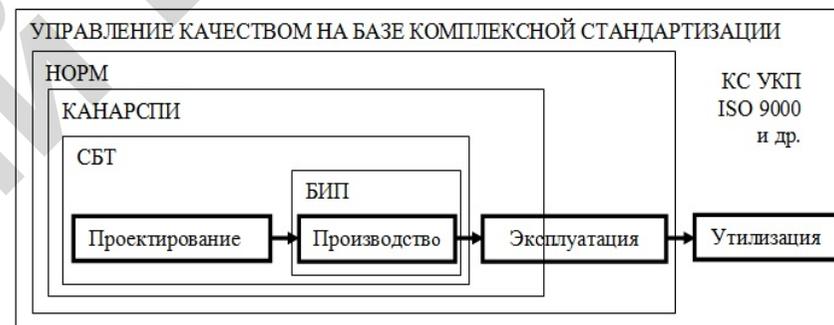


Рис. 1.10. Стадии «жизненного цикла изделия» и системы управления качеством

Саратовская система получила развитие на Львовском заводе телеграфной аппаратуры, где была разработана и внедрена так называемая «Система бездефектного труда» (СБТ). В рамках СБТ предусматривалась оценка качества труда не только непосредственных изготовителей продукции – рабочих, но и работников, участвовавших в подготовке производства (инженерно-технических работников, служащих и т. д.). Суть системы заключалась в том, что ошибки в работе всех исполнителей классифицировались и оценивались по заранее разработанной таблице, и сумма этих оценок вычиталась из исходного «коэффициента качества». Таким образом, в сферу влияния системы попало не только производство, но и конструирование, и технологическая подготовка производства, поскольку системой стимулируется стремление не допускать передачи в производство чертежей и технологической документации

с ошибками. «Система бездефектного труда» получила признание за рубежами СССР и в модифицированном виде применялась под названием «Ноль дефектов».

Поскольку системы БИП и СБТ были предназначены для применения на промышленных предприятиях, вне сферы их действия оставались вопросы повышения уровня научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ. Однако недостаточное внимание к качеству разработок приводит к тому, что в серийное производство запускают изделия со значительными недостатками. Совершенствование и развитие ранее разработанных систем нашло отражение в Горьковской системе КАНАРСПИ – «Качество, надежность, ресурс с первых изделий». Основное внимание в этой системе уделялось оценке и стимулированию исследований, направленных на повышение качества разработки проектов новых изделий и технологических процессов. Система предполагала конструкторско-технологическую доводку изделий на базе лабораторных центров, контрольно-испытательного оборудования, широкое использование научно-технической информации, результатов научно-исследовательских работ.

Основная задача системы – выявление на этапе проектирования возможных причин снижения качества и выработка конструкторских и технологических мер, исключающих эти причины. Одна из основных целей системы КАНАРСПИ – не допустить серийного производства изделий с дефектами. Эта система особенно эффективна в условиях частой смены объектов производства.

В 60-х гг. XX в. на Ярославском моторном заводе с целью повышения качества двигателей была разработана система НОРМ – «Научная организация работ по увеличению моторесурса». Она была основана на последовательном и систематическом повышении надежности деталей и узлов. В качестве критерия повышения качества в системе было принято увеличение ресурса работы автомобильного дизеля до первого капитального ремонта.

Принцип организации работ в системе заключался в определении фактической наработки на отказ деталей и узлов, лимитирующих моторесурс, выработке и внедрении конструкторских и технологических решений, направленных на повышение безотказности. Система предполагала проведение научно-исследовательских работ, сбор и обработку достоверной информации о работе изделий, повышение уровня эксплуатации и ремонта. Особенностью систе-

мы (по сравнению с предыдущими) являлось то, что она частично охватывала своим влиянием и сферу эксплуатации изделий.

Результатом дальнейшего развития систем управления качеством явилась КС УКП на базе стандартизации, которая использовала элементы ранее разработанных систем. Это – первая система управления качеством, в которой организационно-технической основой управления стали стандарты.

Комплекс стандартов предприятия учитывает характер выпускаемой продукции, особенности техники и технологии производства, производственную структуру и масштаб предприятия, профессиональный состав и традиции производства. В этой системе особенно четко проявляется тенденция к обеспечению взаимосвязей между техническими, организационными, экономическими и другими мероприятиями с целью эффективного воздействия на уровень качества выпускаемой продукции.

Заданный уровень качества обеспечивается на всех стадиях жизненного цикла изделия – начиная с изучения требований рынка и включая стремление к их удовлетворению при проведении проектных и конструкторских работ, выбор поставщиков сырья, материалов и комплектующих изделий. Требования потребителя стремятся удовлетворить в ходе реализации продукции, ее технического обслуживания в процессе эксплуатации, а также при утилизации после использования. Все это обеспечивает создание замкнутого процесса, который включает в себя все фазы подготовки производства, изготовления, реализации и послепродажного обслуживания на основе эффективной системы «обратной связи» и планирования, учитывающего конъюнктуру рынка при минимизации расходов на обеспечение качества.

В США, Японии и странах Западной Европы существуют различные подходы к обеспечению качества продукции и услуг, а также к построению систем управления качеством.

**США:** комплексное управление качеством понимается как эффективная система мер, принимаемых службами данной организации по разработке, поддержанию качества создаваемой и изготавливаемой продукции и повышению уровня ее качества. Создание и функционирование системы менеджмента качества предполагает наличие ряда подсистем, включающих:

- управление системой менеджмента качества;
- сбор и обобщение информации о качестве продукции;

- контроль разработки изделия;
- контроль закупленных материалов;
- контроль разработки технологических процессов и операционный контроль;
- контроль характеристик качества выпускаемых изделий и создание специальной контрольно-измерительной аппаратуры;
- проведение специальных исследований по обеспечению качества;
- обучение персонала и повышение его профессиональной подготовки, вовлечение его в работу по повышению уровня качества;
- связь с заказчиком.

Каждая подсистема решает ряд задач, формулирование которых осуществляется на начальной стадии создания системы. В результате разрабатываются документированные методики, определяющие как саму систему управления качеством, так и порядок ее функционирования на конкретном предприятии. Документированные методики должны обеспечить:

- определение соответствия изделий требованиям потребителей;
- определение состояния системы и ее анализ, включающий тщательную проверку всех стадий производства изделия на соответствие техническим требованиям;
- оценку стоимости качества по статьям затрат;
- анализ работы изделия в условиях эксплуатации.

Особое внимание уделяется контролю качества, оказывающему существенное влияние на проектирование конструкции высокого технического уровня и на высококачественное изготовление, а также и на обслуживание продукции на этапе эксплуатации. Контроль осуществляют на основе специально составленных программ. Всесторонний контроль качества является организационной формой распределения прав и обязанностей между подразделениями и персоналом, участвующими в обеспечении качества.

**Япония:** системы обеспечения качества базируются на следующих принципах:

1. Контроль качества должен охватывать все подразделения фирмы. Этот принцип получил название «всеобщий контроль качества». Для предотвращения брака готовой продукции важно локализовать потенциальный брак как можно раньше. Каждый участник производственного процесса рассматривается как «автономное производство» со своей системой входного и выходного контроля.

Для организации подобного контроля на каждом рабочем месте разрабатываются специальные системы.

2. В повышении уровня качества должны принимать участие все сотрудники фирмы, объединенные в «кружки качества». Движение «кружков качества» появилось как результат осознания необходимости участия в повышении уровня качества работы всего персонала. «Кружок качества» – форма организации внепроизводственной деятельности работников фирмы, направленная на разработку мероприятий по повышению качества продукции путем коллективного обсуждения и выявления причин (технического, социального, психологического, физического характера), мешающих работнику как можно лучше выполнить свою работу. Именно рабочие непосредственно на своих местах располагают максимальной информацией о реальном положении дел на производстве. В функции «кружков качества» входит определение оптимальности технологического процесса, методов и приемов его выполнения, выработка предложений для руководства фирмы по более рациональной организации производства. На фирме, как правило, имеется центр управления кружками, который обобщает вносимые предложения. «Кружки качества» рассматривают как одно из действенных средств, способствующих выживанию фирмы в условиях жесткой конкуренции.

3. Руководство фирмы должно постоянно осуществлять планирование и контроль уровня качества. Циклическая работа обеспечивается по схеме «план–исполнение–проверка–управляющее воздействие». Руководство фирмы анализирует получаемую от исполнителей информацию о достижениях и недостатках применяемых методов контроля качества, протоколы повседневного контроля качества. В результате анализа полученной информации проводятся мероприятия по обеспечению качества. Оценка качества осуществляется поэтапно. После первого этапа вырабатываются рекомендации, направленные на устранение выявленных недостатков, и перечень конкретных предложений по совершенствованию качества, которые составляют план работы на последующем этапе. Контроль циклически повторяется, что позволяет поддерживать качество продукции на уровне требований потребителя на внутреннем и внешнем рынках.

4. Статистические методы контроля должны применяться на всех этапах производственного цикла изготовления продукции.

От 50 до 95 % проблем в области контроля качества продукции может быть успешно решено с помощью информации, полученной при статистическом контроле продукции непосредственно производственным персоналом на любом участке работы.

5. Обучение методам контроля качества должно осуществляться на всех уровнях в национальном масштабе. На современном этапе экономического развития решение проблемы повышения качества продукции нельзя обеспечить только за счет внедрения новых технологий. Неотъемлемым условием обеспечения высокого уровня качества продукции является постоянная профессиональная подготовка и переподготовка специалистов и привлечение к решению задач всех рабочих и инженерно-технических работников.

6. Внедрение методов контроля качества должно иметь всеобъемлющий характер (охватывать всю страну).

Успехи в реализации этого подхода в немалой степени связаны с опорой на следующие характерные особенности японского общества:

- однородность этнического состава общества (единая национальность и единый язык);
- популярность идеи обязательного образования;
- поощрение пребывания работника в одной и той же фирме в течение всего периода его работы, которое воспитывает преданность фирме и обуславливает низкий уровень текучести рабочей силы.

В результате задача достижения высокого качества решается усилиями всего персонала, а не только штатных контролеров. Японская система наряду с высоким качеством обеспечивает и высокую производительность труда.

**Швеция:** создаются правительственные инспекции по качеству экспортных товаров, задача которых состоит в обеспечении высокого престижа страны на мировом рынке. Характерной чертой мероприятий по управлению качеством продукции на самих фирмах является то, что их жестко увязывают с работами по стандартизации.

**Англия:** в вопросах обеспечения качества важная роль придается обеспечению ритмичности производства. Для ее обеспечения необходимо четкое проведение испытаний опытных образцов, отработка планирования и технологии, высокая производственная дисциплина, а также заблаговременная подготовка покупных изделий и материалов и обеспечение правильных взаимоотношений с поставщиками. Кроме традиционного входного контроля на основе

соответствующих документов, потребителем производится инспектирование предприятий-поставщиков, их системы контроля качества, осуществляется совместный анализ отказов, а также организуется взаимодействие при периодической проверке испытательных служб поставщика.

Разработка систем управления качеством в разных странах при наличии национальных особенностей их построения и общей тенденции к интеграции мировой экономики привели к необходимости создания и внедрения международных стандартов на системы менеджмента качества, которые известны в настоящее время как международные стандарты семейства ИСО 9000.

Первое издание этих стандартов ИСО было выпущено в 1987 г. Затем были разработаны новые версии стандартов семейства ИСО 9000 (редакции 2000 г. и более поздние).

## **2. ОБЩИЕ ЦЕЛИ, ЗАДАЧИ И СОСТАВ МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ И СТАНДАРТИЗАЦИОННОЙ ЭКСПЕРТИЗ**

Если рассматривать стандартизационную экспертизу (нормоконтроль) и метрологическую экспертизу технических объектов в процессе проектирования, то их «глобальные цели» совпадают с целью общей научно-технической экспертизы и заключаются в повышении уровня качества проектируемого объекта. Специфика заключается в том, что достижение этой цели должно осуществляться исключительно методами и средствами стандартизации и метрологии.

### **2.1. Общие цели и задачи метрологической и стандартизационной экспертиз**

Цель нормоконтроля – соблюдение требований нормативных документов по стандартизации и оптимальное применение стандартных и (или) унифицированных решений. Цель метрологической экспертизы – оценка контролепригодности параметров, точность нормирования которых близка к оптимальной.

ГОСТ 2.111 упоминает «достижение в разрабатываемых изделиях необходимого высокого уровня унификации и стандартизации на основе широкого использования ранее спроектированных, освоенных в производстве и стандартизованных изделий, типовых конструкторских и схемных решений».

Для достижения высокого уровня унификации и стандартизации необходима замена оригинальных элементов стандартными или унифицированными.

В стандарте зафиксирована также задача «рационального применения ограничительных номенклатур покупных и стандартизованных изделий и их документов, норм (типоразмеров, качеств, точности, условно-графических обозначений и др.), марок материалов, полуфабрикатов и т. п.». Очевидно, что здесь преследуется та же цель, что и в предыдущем случае. Из приведенных формулировок вытекает неограниченное множество задач экспертизы «изделий и их документов», причем критерии удовлетворительного решения задач отсутствуют.

Проведенный анализ показывает неопределенность постановки целей стандартизационной экспертизы в нормативных документах.

Разработчики нормативного документа на метрологическую экспертизу (РМГ 63–2003) определили «основную цель» метрологической экспертизы как «достижение эффективности метрологического обеспечения, выполнение общих и конкретных требований к метрологическому обеспечению наиболее рациональными методами и средствами». Эта формулировка фактически отражает цель метрологического обеспечения, которое принципиально отличается от метрологической экспертизы.

Следующее положение того же документа: «Конкретные цели метрологической экспертизы определяются назначением и содержанием технической документации. Например, конкретной целью метрологической экспертизы чертежей простейших деталей может быть обеспечение достоверности измерительного контроля с оптимальными значениями вероятностей брака контроля 1-го и 2-го рода», – не выдерживает критики.

Будучи пассивным объектом, на который направлено действие, техническая документация не может определять цели экспертизы, их устанавливает эксперт. Проверку «достоверности измерительного контроля с оптимальными значениями вероятностей брака контроля 1-го и 2-го рода» осуществить по чертежу детали невозможно, поскольку отсутствует методика измерительного контроля соответствующего параметра.

В сложившейся на сегодня ситуации следует констатировать, что цели метрологической и стандартизационной экспертиз действующими нормативными документами корректно не определены.

В нормативном документе на метрологическую экспертизу (РМГ 63–2003) однозначно зафиксирована направленность не на документацию, а на представляемый документацией объект, поскольку метрологическая экспертиза оценивает контролепригодность нормированных в документе параметров объекта, заданных физическими величинами. РМГ 63–2003 устанавливает весьма широкий спектр задач, которые фактически направлены на обеспечение оптимальности заложенных проектировщиком решений с позиции метрологического обеспечения. Иными словами, в неявном виде ставится цель повышения качества объекта, предъявленного на экспертизу, хотя в самом НД утверждается, что эксперт-

метролог не несет ответственности за качество экспертируемого объекта. Тем не менее, эксперт-метролог (как и эксперт-стандартизатор на уровне функциональной экспертизы) вынуждены вмешиваться в процесс проектирования объекта (изделия или процесса).

Эксперт-метролог при оценивании контролепригодности параметров объекта должен анализировать эффективность методик выполнения измерений. А если в документах отсутствуют описания процессов или операций измерительного контроля, анализировать приходится «виртуальные» методики выполнения измерений, которые он сам вынужден предварительно проектировать (в первом приближении в виде планов или наметок).

Установленные действующими нормативными документами задачи нормоконтроля и метрологической экспертизы частично перекрываются. Поскольку в ходе метрологической экспертизы проверяют возможность контроля требований, в том числе и взятых из нормативных документов, приходится определять корректность содержания и оформления этих требований (некорректные требования неконтролепригодны), а это типичные задачи нормоконтроля. Если учесть, что метрологическую экспертизу проводят до стандартизационной, решение таких задач для эксперта-метролога становится необходимостью. С другой стороны, при нормоконтроле приходится анализировать возможность обеспечения установленных требований (их выполнимость и контролепригодность). Если эти требования включают нормы точности параметров, определяемых физическими величинами, то нормоконтролеру приходится решать задачи метрологической экспертизы.

Исходя из пересечения областей метрологической и стандартизационной экспертиз, вполне логично рассмотреть возможность их объединения, которое позволит сократить время экспертной работы и исключить ненужное дублирование. Кроме того, взаимосвязь метрологии и стандартизации позволяет создать систему подготовки экспертов, которая обеспечит наличие систематизированных знаний в обеих областях и позволит проводить эффективную совместную метрологическую и стандартизационную экспертизу, которую следует рассматривать как составную часть научно-технической экспертизы, осуществляемую с позиций метрологии и стандартизации.

Необходимость метрологической и стандартизационной экспертиз объектов, представленных конструкторской, технологической и исследовательской документацией, сомнений не вызывает, но проводить ее в соответствии с требованиями действующих нормативных документов «в полном объеме» невозможно. Следовательно, для эффективного проведения экспертизы надо ограничить поставленные в нормативных документах задачи и более корректно определить функции экспертов. Прежде всего, необходимо выделить два вида экспертизы: *формальную*, которую должны проводить специализированные эксперты, и *функциональную*, для проведения которой желательно привлечение разработчиков (конструкторов, технологов, исследователей).

Очевидно, что глобальная цель функциональной метрологической и стандартизационной экспертиз – повышение качества объекта методами метрологии и стандартизации. Для достижения такой цели требуется решить неопределенный круг задач, даже предварительная постановка которых невозможна. Однако спектр задач, установленный действующими нормативными документами, оказывается еще более широким, поскольку они направлены на обеспечение оптимальности заложенных проектировщиком требований, норм и их контроля. Некорректность нормативных документов приводят к тому, что эксперту приходится самостоятельно ставить цели экспертизы, а затем формулировать и решать соответствующие этим целям задачи.

Конкретные цели метрологической и стандартизационной экспертиз объектов вытекают из ожидаемого от экспертизы эффекта. Цели типа «оптимизировать все параметры и характеристики объекта» очевидно недостижимы и потому их следует рассматривать как некорректно поставленные. Цели экспертизы можно минимизировать, например, ограничить на уровне проверки соблюдения требований нормативных документов и контролепригодности параметров (проверка нормосоответствия и контролепригодности). Цели можно оптимизировать: наряду с обнаружением явных дефектов объекта сделать акцент на выявление предполагаемых слабых мест проектируемого объекта (анализ типовых дефектов) или расширить, если добавить анализ оптимальности хотя бы наиболее важных функциональных требований.

Условные уровни таких целевых установок можно назвать следующим образом: минимизированный, оптимизированный

и максимизированный (максималистский). Возможная структура целей экспертизы представлена на рис. 2.1.

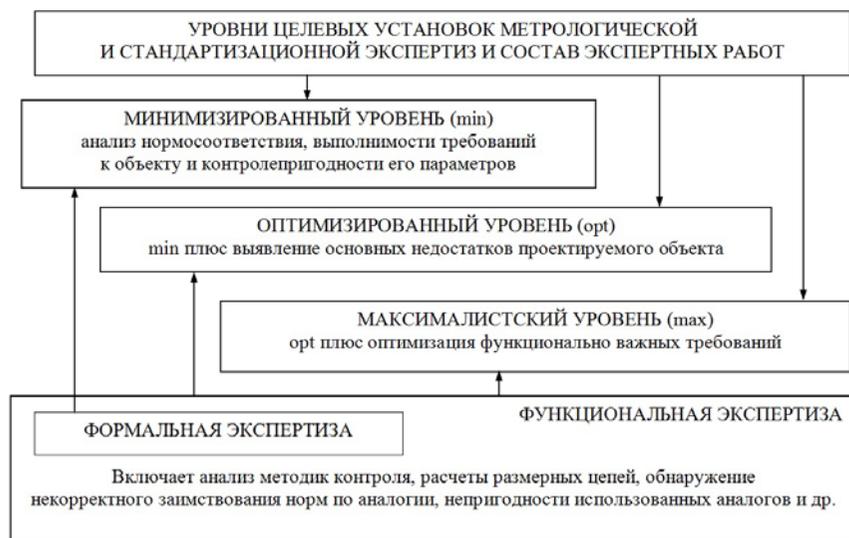


Рис. 2.1. Иерархия целей метрологической экспертизы объекта

Определение конкретной цели (целей) и постановку основных задач экспертизы начинают с требований заказчика экспертизы к ее результатам. Если нормоконтролю подвергают собственно документацию (конструкторскую, технологическую или другую, в том числе нормативную), то преследуют цель совершенствования самой документации. Если метрологической и стандартизационной экспертизе подвергают объект, представляемый документами, то экспертиза направлена на совершенствование этого объекта, для чего необходимо получить экспертные оценки его достоинств и недостатков.

Формальный подход к экспертизе в большинстве ситуаций является недостаточным из-за слишком узких рамок, а функциональная экспертиза, направленная на повышение уровня качества проектируемого объекта, предполагает выполнение практически неограниченного объема экспертной работы. Поэтому для каждой конкретной метрологической и (или) стандартизационной экспертизы следует ставить конкретные цели и задачи, согласовывая их с реальными условиями и имеющимися ресурсами (сложность объекта, ожидаемый от экспертизы эффект, наличие нужного числа экспертов, временные и финансовые ограничения и др.).

Можно предложить следующие формулировки целей стандартизационной экспертизы:

- проверить соблюдение в разрабатываемых документах распространяющихся на них требований НД по стандартизации;
- проверить соблюдение в разрабатываемых изделиях распространяющихся на них норм и требований, установленных в НД по стандартизации;
- проверить уровень стандартизации и унификации конструктивных норм (резьб, шлицевых соединений, модулей зубчатых колес, допусков и посадок, конусностей и других элементов изделия);
- проверить рациональность использования в изделии унифицированных решений и установленных на предприятии ограничительных номенклатур стандартизованных изделий, марок материалов, профилей и размеров проката и т. п.

Хотя эти формулировки не привязаны напрямую к представленным выше трем условным уровням целей стандартизационной экспертизы, связи между ними легко просматриваются. Две первые цели определяют формальную стандартизационную экспертизу, причем объектом первой является документация, а объектом второй – само изделие.

Возможны и другие формулировки, в том числе с использованием предложенных или их элементов в подходящих комбинациях.

Формулировки целей метрологической экспертизы объекта (на разных иерархических уровнях) могут быть такими:

- проверить правильность предъявляемых к параметрам объекта требований (корректность предъявления, осуществимость, контролепригодность);
- проверить правильность назначения и удовлетворительный уровень требований к параметрам объекта (корректность предъявления требований, выполнение которых гарантирует нормальное функционирование объекта);
- проверить оптимальность предъявляемых к параметрам объекта требований.

При определении цели экспертизы следует ответить на вопрос: будет проводиться формальная или функциональная экспертиза? На практике экспертиза почти всегда лежит между двумя крайними случаями – между формальной и функциональной экспертизой. Минимизация экспертной работы достигается при ограничении экспертизы формальным уровнем, однако это ограничение

можно реально соблюсти только в том случае, если проект не содержит существенных ошибок. Выявление значимой ошибки разработчика связано с анализом функционирования объекта (функциональной экспертизой).

Глубина функциональной экспертизы может быть разной – от устранения явных дефектов до полной оптимизации объекта. На практике экспертизу проводят на некотором компромиссном уровне: с одной стороны, эксперт не может оставить без внимания ошибки разработчика, с другой – поиск малозначимых неявных дефектов потребует таких затрат времени и труда, что экспертизу нельзя будет завершить в разумные сроки.

Функциональная экспертиза обязательно включает в себя формальную часть. Общие цели метрологической и стандартизационной экспертиз на минимизированном уровне совпадают с целями экспертизы формальной. Экспертиза должна подтвердить, что требования к объекту в части предъявления и оформления не противоречат требованиям стандартов и выполнимы, и что все требования, определяющие свойства объекта, включая его физические параметры, контролепригодны. В основе экспертизы на минимизированном уровне лежит постулат о безошибочности решений разработчика. Исключение могут составлять очевидные ошибки, из-за которых реализация объекта (изготовление работоспособного изделия или выполнение процесса) становится невозможной.

Экспертиза на оптимизированном уровне может ставить под сомнение принятые разработчиком решения. Она направлена на выявление существенных недостатков проектируемого объекта, которые могут помешать реализации объекта и (или) его функционированию, либо существенно их затруднить. Эксперт высокой квалификации обнаруживает не только явные ошибки, но и те, которые не столь очевидны непрофессионалу. Обнаружить неявные ошибки разработчика помогает накопленный опыт экспертиз аналогичных объектов, который позволяет составить перечень типовых недостатков и предполагаемых слабых мест. Предложения эксперта ограничиваются рекомендацией устранить недостатки, причем в простых ситуациях можно указать пути устранения, а в сложных – оставить решение задачи разработчику, тем более что это именно его задачи.

Экспертиза на максималистском уровне включает в себя все задачи предыдущих уровней и дополняется анализом сомнительных

моментов и попытками поиска оптимальных решений каждой из поставленных задач. Очевидно, что такая экспертиза требует очень больших ресурсов и может превратиться в радикальную переработку объекта, что не входит в обязанности эксперта.

Грамотная постановка целей экспертизы предполагает ознакомление эксперта с объектом, например, в ходе предварительной экспертизы (рис. 2.2). Наличие обратных связей показывает циклический характер процесса, причем циклы могут воспроизводиться до получения результатов экспертизы, удовлетворяющих исполнителя и заказчика.



Рис. 2.2. Структура определения целей экспертизы

Объектами метрологической и стандартизационной экспертиз могут быть изделия и процессы или их составные части (элементы сложных объектов), представленные конструкторской документацией, документацией технологических процессов и процессов исследований, нормативной документацией по стандартизации. Особый интерес для метрологической экспертизы представляют такие объекты, как средства измерений, процессы и операции измерительного контроля, методики выполнения измерений, методики контроля, испытаний, поверки, калибровки и метрологической аттестации.

Экспертиза самих объектов (изделий и процессов) без соответствующей документации затруднительна из-за отсутствия необходимой информации в явном виде. Так, по изделию невозможно определить параметры размерной цепи или посадку, назначенную для конкретного сопряжения, по технологическому процессу нельзя однозначно определить его параметры, а по операции измерительного контроля – значение допустимой погрешности измерений.

В итоге объекты метрологической и стандартизационной экспертиз чаще всего представлены информационными источниками, к которым относятся:

- конструкторская документация (чертежи деталей, чертежи общего вида и др.);
- технологическая документация (описания технологических процессов, включая контрольные операции);
- документация метрологического мероприятия, например, методики выполнения измерений (МВИ), методики измерительного контроля, методики поверки или калибровки средств измерений (СИ), методики метрологической аттестации СИ и МВИ;
- материалы научных исследований (отчет о НИР, монография, статья и др.);
- нормативные документы (стандарт, технические условия и др.);
- научно-техническая, справочная и учебная литература.

Эксперты (и разработанные ими нормативные документы на экспертизу) часто не различают объект экспертизы и форму его представления, что может привести к недоразумениям. Формулировки типа «метрологическая экспертиза чертежа детали» и им подобные следует признать некорректными, поскольку в них заложена подмена объекта экспертизы.

Конкретные формы представления объектов экспертизы могут включать конструкторскую документацию (чертеж общего вида, чертежи деталей, схемы, комплект конструкторской документации изделия, пояснительная записка и др.). К представляемой на экспертизу документации метрологических мероприятий можно отнести методику выполнения измерений, методику измерительного контроля, методики поверки средства измерений и их метрологической аттестации и ряд других документов. Научные исследования могут быть представлены отчетом о научно-исследовательской работе, монографией, статьей, научным докладом или другими материалами. На экспертизу могут быть представлены действующий нормативный документ по стандартизации или проект документа; литература (справочная, учебная, учебно-методическая, научно-техническая). Документация может быть представлена на бумажном носителе или в электронном виде.

Общие цели метрологической и стандартизационной экспертиз объектов, представленных конструкторской, технологической, исследовательской и нормативной документацией, можно сформулировать после ознакомления с объектом в ходе предварительной экспертизы, например, в виде одного из следующих вариантов:

- обнаружить и зафиксировать явные ошибки (дефекты) объекта и дать предложения по их устранению;
- обнаружить основные недостатки объекта, проанализировать причины их появления и наметить пути устранения и профилактики;
- выявить все значимые недостатки объекта и определить пути их устранения;
- обнаружить явные и скрытые дефекты объекта и дать предложения по совершенствованию объекта.

Формулировки следует согласовывать с заказчиком экспертизы. Объем работы при любых целевых установках следует сводить к разумному минимуму. Чем меньше дефектов (недостатков) будет обнаружено при экспертизе, тем глубже может быть их анализ.

Следует иметь в виду, что обнаружение явных дефектов объекта в области метрологии и стандартизации автоматически входит в работу эксперта вне зависимости от формулировки цели. Не обнаруженные при экспертизе явные дефекты свидетельствуют либо о небрежной работе, либо о недостаточной квалификации. Обнаружение недостатков объекта, делающих невозможной его реализацию или мешающих его функционированию – целевая установка для функциональной экспертизы, – требует не только значительного опыта экспертной работы, но и глубоких знаний самих объектов экспертизы. Выявление «всех значимых недостатков объекта» подразумевает такую же работу, но проводимую в больших объемах и с обязательным привлечением разработчика. Последнюю приведенную формулировку цели экспертизы («обнаружить явные и скрытые дефекты объекта») можно рассматривать как довольно близкий аналог предыдущей.

Наряду с основной целью любой экспертизы – получением экспертной оценки объекта и его элементов – в большинстве случаев при экспертизе преследуют еще и дополнительные цели (рис. 2.3).

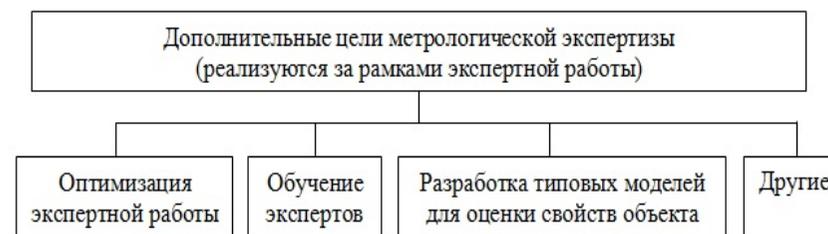


Рис. 2.3. Структура дополнительных целей метрологической экспертизы

Дополнительные цели есть в работе любого эксперта, даже если они не формулируются в явном виде. Они также оказывают существенное влияние на выбор методики проведения экспертизы. Дополнительные цели могут включать:

- обучение экспертов, а также разработчиков объекта;
- оптимизацию экспертной работы;
- разработку типовых моделей оценки свойств, определяющих уровень качества объекта.

Возможны и иные дополнительные цели, в частности, такие как самообучение эксперта, разработка моделей для решения типовых задач и др. При выполнении экспертизы в рамках учебного задания всегда присутствует еще одна дополнительная цель – демонстрация квалификации эксперта.

После определения цели экспертизы можно ставить конкретные задачи, решение которых должно привести к достижению поставленной цели. Например, метрологическая экспертиза объектов может включать решение следующих обобщенных задач:

- оценка корректности предъявления и оформления требований (задача нормоконтроля);
- определение номенклатуры экспертируемых требований и норм;
- разделение экспертируемых требований и норм на очевидно контролепригодные и сомнительные;
- разработка методик контроля сомнительных норм;
- выявление дефектных требований и норм;
- разработка рекомендаций для корректирования дефектных требований и норм (предложения эксперта с разными уровнями проработки);
- контроль результатов экспертизы.

В ходе метрологической и стандартизационной экспертиз могут быть дополнительно поставлены такие задачи, как определение соответствия элементов объекта и использованных аналогов, поиск причин ошибок при заимствовании норм по аналогии, оценка правильности составления и расчетов размерных цепей, применения и вывода зависимостей и др.

Каждая из обобщенных задач может иметь множество конкретных вариантов. Например, оценка корректности требований в зависимости от формы представления объекта может включать анализ корректности терминов, условных обозначений, форм представле-

ния результатов измерений, соответствия состава и структуры документа нормативно установленным требованиям. Это фактически задача нормоконтроля, но при метрологической экспертизе приходится констатировать наличие некорректно предъявленных требований, поскольку такие требования заведомо неконтролепригодны.

Формальным условием полноты экспертизы является анализ всех без исключения свойств объекта, что практически невозможно. Из этого обстоятельства следует задача определения номенклатуры экспертируемых требований и норм. Для реализации экспертных работ в обозримое время число экспертируемых требований необходимо сократить в разумных пределах. В реальных условиях экспертизе следует подвергать только существенные (определяющие, значимые нормы и требования). Например, при метрологической экспертизе не следует уделять особого внимания общим допускам несопрягаемых элементов, параметрам шероховатости поверхностей этих элементов, другим нормам точности, не имеющим принципиального значения для функционирования объекта.

При постановке задач экспертизы следует иметь в виду типовые ошибки, наиболее часто допускаемые разработчиками. Каждый эксперт на основе собственного опыта нарабатывает перечни таких ошибок, соотнося их с определенными объектами.

Формальная экспертиза на самом низком уровне (с минимизацией экспертной работы) осуществима только в том случае, если объект не содержит ошибок принципиального характера. Нестандартный или неправильно примененный термин, неправильное обозначение, нестандартное числовое значение размера или допуска, несогласованность допусков геометрических параметров подлежат безусловному устранению, но не рассматриваются как принципиальные ошибки. К принципиальным можно отнести те недостатки, которые вызывают необходимость перепроектирования объекта или его частей с изменением основных параметров либо осуществления дополнительных разработок.

Например, если при экспертизе проекта средства измерений обнаружено, что его фактические метрологические характеристики не соответствуют заложенным в техническом задании или конструкторской документации, возникает необходимость переработки изделия. Если экспертиза обнаружила недостаточную точность

поверки средства измерений, может потребоваться разработка новой методики. Некорректное определение назначения или области действия нормативного документа может привести к необходимости полной переработки проекта.

Если метрологическая и стандартизационная экспертизы конструкции серийного изделия направлены на обеспечение функциональной взаимозаменяемости, они должны способствовать назначению на каждый функционально важный параметр оптимального стандартного допуска. Оптимизация норм точности обеспечивает качественную работу изделия при приемлемых затратах на получение заданных функциональных параметров и не обязательно связана с их ужесточением. Напротив, если при экспертизе деталей будут обнаружены избыточно жесткие допуски, можно ставить вопрос об их расширении. Разрешение подобных ситуаций выходит за рамки формальной экспертизы и требует постановки иных задач. Такими задачами могут быть поиск нарушений при заимствовании норм по аналогии, определение пригодности использованных аналогов, оценка правильности составления и расчетов размерных цепей и др.

## **2.2. Состав метрологической и стандартизационной экспертиз**

Любая экспертная работа носит исследовательский характер, поэтому ее структура должна быть аналогична структуре научного исследования (см. рис. 1.6).

Типичная экспертиза включает определение цели и постановку задач, разработку методики, проведение исследования (экспертизы), обработку (анализ) результатов и формирование выводов и рекомендаций. Исследование подразумевает возможность корректирования работ на любом этапе.

Эффективность использования результатов экспертизы будет тем выше, чем лучше будет обеспечено использование информационных обратных связей. Обратные связи можно использовать для уточнения планов работы, приоритетов, коррекции принятых допущений и пр. При экспертизе необходимо унифицировать и отслеживать обеспечение целого ряда обязательных и возможных обратных связей (см. рис. 1.6 и 2.2).

Наиболее важными представляются следующие обратные связи:

- результаты предварительной экспертизы – уточнение задач (при необходимости – и целей) экспертизы;
- результаты этапов экспертизы – разработка «стандартов типовых задач», включая постановку задач, варианты решений и унифицированные формы представления промежуточных результатов;
- результаты экспертизы – разработка «стандартов проведения экспертизы» аналогичных объектов;
- экспертное заключение – модернизация объекта экспертизы;
- результаты этапов и экспертизы в целом – повышение квалификации экспертов.

Поскольку экспертная работа носит исследовательский характер, методика экспертизы, ее цели и задачи могут корректироваться в ходе выполнения работ в зависимости от получаемых результатов. Могут встретиться ситуации, когда центр тяжести экспертизы приходится переносить с формального подхода к усилению функционального или обратно.

Вне зависимости от поставленных целей следует различать собственно экспертизу как критический анализ объекта и предложения эксперта, выходящие за рамки критики. Эксперт обязан обнаружить все значимые дефекты объекта в соответствующей области, а объем проработки предложений эксперта зависит от его доброй воли и ресурсных возможностей, если иное не предусмотрено договором на проведение экспертных работ.

Выявление дефектных требований и норм – основная часть работы эксперта. Не все дефекты заметны неопытному глазу, но квалификация эксперта проявляется именно в том, что он находит дефекты, не замеченные другими специалистами. Очевидными дефектами являются требования и нормы, контролепригодность которых невозможно обеспечить из-за некорректных формулировок («каретка должна двигаться легко», «гайку надежно закрепить»). К дефектным можно отнести те требования и нормы, которые связаны с некорректным введением и применением понятий (например, «увод оси», «диапазон измерений штриховой меры», «погрешность измерения прибора»). Выявление подобных ошибок формально является обязанностью нормоконтролера, но поскольку

эксперт-метролог проводит экспертизу до нормоконтроля, ему приходится выполнять эту работу.

Дефектными являются требования и нормы, невыполнимые из-за невозможности технической реализации измерений, противоречащие фундаментальным законам, общепризнанным научно-техническим положениям и закономерностям, требованиям действующих нормативных документов и т. д. Недопустимы также противоречия внутри экспертируемого объекта (несоответствие содержания заголовкам, несоответствие элементов друг другу, взаимоисключающие требования к свойствам элементов или объекта в целом). Причинами появления дефектных требований могут быть: некорректное применение аналогов, ошибки в расчетах, допущениях, логических построениях.

В ходе экспертизы при решении основных задач могут появиться сопряженные с ними дополнительные задачи. Например, для решения комплексной задачи обеспечения контролепригодности параметра следует решить несколько частных задач:

- назначить допустимую погрешность измерений;
- выбрать методику выполнения измерений с использованием средства измерений, обеспечивающего инструментальную доступность параметра;
- оценить реализуемую погрешность измерений и убедиться, что она не превышает допустимого значения.

При обнаружении неконтролепригодности параметра можно поставить задачу корректировки его значения и (или) требований к его точности. Если возникшие при этом дополнительные задачи не требуют больших объемов работы, их решения могут быть доведены до окончательного вида, в противном случае эксперт только намечает путь решения или обозначает его ход. Неконтролепригодность параметра из-за его инструментальной недоступности может потребовать разработки специальных средств измерений.

Методики нормоконтроля изделий и техпроцессов разработаны на уровне типовых рекомендаций, и нормоконтроль часто вполне успешно проводится по трафаретам. В отличие от нормоконтроля, метрологическая экспертиза не обеспечена не только типовыми методиками, но даже корректно поставленными целями и удовлетворительным перечнем типовых задач. В итоге экспертам необходимо самостоятельно разрабатывать методики в условиях отсутст-

вия общепризнанных перечней возможных целей экспертизы и типовых задач, решаемых для достижения этих целей.

Метрологическая экспертиза конструкции будущего изделия или характеристик нового технологического процесса должна начинаться на этапе разработки технического задания, в противном случае в проект могут быть заложены технические требования, которые окажутся неконтролепригодными. В случае выявления неконтролепригодности можно корректировать параметры или планировать разработку специальных средств измерений и (или) методик выполнения измерений, которые должны быть готовы к выпуску изделия или внедрению техпроцесса. Если неконтролепригодность выявлена при анализе технического задания, для принятия мер имеется некоторый запас времени.

Сходный подход должен быть и на этапах разработки технического проекта и рабочей документации, включая разработку методик исследований или испытаний. Эффективная метрологическая экспертиза на всех этапах проектирования гарантирует отсутствие тупиковых ситуаций при подготовке производства и, в частности, при выборе МВИ параметров объекта в целом и его элементов.

Условием, повышающим эффективность экспертизы, является достаточный уровень метрологической и стандартизационной грамотности разработчика, который позволит ему самостоятельно проводить экспертизу в тривиальных случаях и выделять те задачи, для решения которых необходима совместная работа с квалифицированным экспертом.

При хорошей организации работ на завершающей стадии подготовки производства остается необходимость в проведении только формальной экспертизы. Обеспечить минимально необходимый уровень метрологической и стандартизационной грамотности разработчиков можно с помощью их специальной подготовки и регулярного ознакомления с результатами экспертиз, привлечения их к проведению функциональной экспертизы.

Метрологическая и стандартизационная экспертизы объектов, представленных конструкторской и технологической документацией, в обязательном порядке должны включать проверки:

- необходимости наличия объекта (разработки нового или существования уже разработанного);
- корректности предъявляемых к объекту требований.

Наличие аналога вновь разрабатываемого объекта (стандартного изделия, типовой методики выполнения измерений и др.), уже про-

шедшего апробацию, в ряде случаев позволяет отказаться от разработки нового объекта и сэкономить интеллектуальные ресурсы.

Корректность требований к объекту подразумевает необходимость их предъявления, обоснованность назначения, логичность, полноту, внутреннюю непротиворечивость, краткость и однозначность формулировок. Выполнимость требований означает возможность их реализации и проверки. Можно рекомендовать следующую общую структуру подготовки и проведения метрологической (и функциональной стандартизационной) экспертизы:

- определение (установление) конкретной цели или целей проведения экспертизы;
- постановка основных задач экспертизы;
- разработка плана проведения экспертизы;
- подготовка методических документов для проведения экспертизы и оформления ее результатов (при необходимости);
- проведение экспертизы;
- оформление результатов экспертизы.

Установление целей экспертизы рассмотрено в разделе 1. Цели и задачи экспертизы желательно сформулировать письменно. При работе по заказу их предпочтительно оформить как документ, предъявляемый заказчику для согласования, в тексте которого уточняют также и предполагаемые сроки окончания работ. Наличие такого документа существенно упрощает сдачу работ, избавляет от разногласий по составу экспертного заключения и от избыточных требований заказчика, возникающих по окончании работ.

Задачи экспертизы ставят таким образом, чтобы их решение обеспечивало достижение целей экспертизы. Для рациональной постановки задач можно предложить табличную форму, в которую кроме формулировки самой задачи включают предполагаемые пути ее решения и ожидаемые результаты. Такой подход позволяет эксперту уточнить задачу, а заказчику экспертизы – уяснить постановку задачи и оценить практическую пользу ее решения.

Примеры комплексной постановки задач метрологической экспертизы изделия (детали) и стандартизационной экспертизы НД по стандартизации (проекта стандарта, действующего стандарта) представлены в табл. 2.1 и 2.2. Эти комплексы относятся только к двум видам объектов экспертизы и имеют рекомендательный характер.

Задачи метрологической экспертизы конструкции изделия  
(цель – подтверждение осуществимости требований)

Задача	Пути решения	Ожидаемый результат
Оценка оформления метрологических требований (задача нормоконтроля)	Проверка правильности оформления требований	Приведение оформления в соответствие с требованиями нормативной документации
Определение номенклатуры экспертируемых требований и норм	Анализ всех требований и норм и отсеивание незначимых (несущественных)	Перечень элементов объекта, подлежащих обязательному рассмотрению при экспертизе
Разделение требований и норм на очевидно приемлемые для контроля и сомнительные <sup>1</sup>	Предварительное исследование контролепригодности экспертируемых требований и норм	Предварительный перечень корректных требований и норм. Перечень сомнительных требований и норм
Выявление дефектных требований и норм	Анализ сомнительных требований и норм и возможностей их контроля	Уточненные перечни корректных и некорректных (дефектных) требований и норм
Корректирование дефектных требований и норм	Трансформация требований и норм, и исследование возможностей контроля вновь назначенных норм	Предложения корректирования требований и норм <sup>2</sup> . Перечень методов контроля, описания схем и средств контроля <sup>3</sup> . ТЗ на специальные средства измерений <sup>3</sup>
Поиск методов контроля корректных требований и норм	Анализ возможностей применения стандартных, аттестованных, унифицированных методов контроля	Перечень и описания методов контроля <sup>3</sup>
Контроль результатов экспертизы	Самоконтроль или перекрестный контроль	Выявление и исправление ошибок

<sup>1</sup>Разделение экспертируемых требований и норм на очевидно приемлемые и сомнительные не обязательно, но без этого сомнительными считают все требования и нормы.

<sup>2</sup>Предложения эксперта не имеют обязательного характера, они могут определять направление дальнейшей деятельности разработчика

<sup>3</sup>Перечень и описания методов контроля, схемы контроля и др. элементы включают в результаты экспертизы в обязательном порядке, если они содержат материалы, необходимые для включения в документацию экспертируемого объекта. В иных случаях представление таких материалов должно быть заранее оговорено заказчиком экспертизы.

Таблица 2.2

## Задачи стандартизационной экспертизы проекта стандарта

Задача	Пути решения	Ожидаемый результат
Оценка необходимости разработки документа	Сопоставление проекта с действующими нормативными документами, определяющими требования к тому же объекту	Установление необходимости или ненужности документа или его частей
Оценка соответствия содержания документа цели разработки	Сопоставление содержания проекта документа с целью, указанной в Пояснительной записке к проекту <sup>1</sup>	Установление соответствия или несоответствия содержания документа цели разработки
Оценка отсутствия противоречий в содержании проекта нормативным документам того же или более высокого уровня	Сопоставление проекта с действующими нормативными документами, определяющими требования к тому же объекту	Установление наличия или отсутствия противоречий
Оценка отсутствия внутренних противоречий в содержании проекта	Анализ содержания проекта документа	Установление наличия или отсутствия противоречий
Оценка корректности установленных в проекте требований	Анализ содержания требований, установленных в проекте	Установление наличия или отсутствия некорректных требований

Задача	Пути решения	Ожидаемый результат
...	...	...
Оценка правильности оформления проекта	Анализ оформления проекта	Установление наличия или отсутствия ошибок в оформлении
Оценка грамотности проекта	Лингвистический анализ проекта	Установление наличия или отсутствия грамматических ошибок
Контроль результатов экспертизы	Самоконтроль или перекрестный контроль	Выявление и исправление ошибок эксперта
Оформление отзыва на проект	Подготовка и редактирование отзыва	Проект отзыва

<sup>1</sup>При экспертизе действующего нормативного документа Пояснительная записка отсутствует, и цель документа определяют из наименования и других его элементов.

Обе таблицы иллюстрируют только некоторые из возможных задач. Ценность этих таблиц заключается не столько в содержании граф, сколько в заголовках столбцов, которые позволяют упорядочить работу по формулированию и решению задач, используя при необходимости обратные связи. Разрыв строк в табл. 2.2 информирует о возможности внесения в таблицу новых задач экспертизы и путей их решения.

Разработку плана проведения экспертизы и подготовку документов, поддерживающих ее проведение и оформление результатов, осуществляют после определения конкретных задач экспертизы. План обычно не является предъявляемым документом, он может быть довольно общим и не очень формализованным. План можно не оформлять письменно, хотя наличие его даже в черновом варианте с последующими исправлениями и дополнениями может в значительной мере рационализировать работу.

Формальный подход подразумевает исследование всех свойств объекта и составляющих его элементов, всех установленных требований и параметров, что при экспертизе сложных объектов связано с необходимостью переработки огромного объема информации. Если исходить из этого, очень важным представляется рациональное уменьшение объема работ, что вполне осуществимо при конкрети-

зации задач экспертизы и квалифицированном выполнении экспертной работы.

В ходе подготовки методических документов для экспертизы следует помнить, что экспертиза будет тем более успешной, а результаты будут тем более определенными, чем выше будет уровень ее формализации. Подготовка методических документов для проведения экспертизы и оформления ее результатов не является обязательным видом работ в рамках конкретной экспертизы и зависит от таких факторов, как наличие в организации стандарта на экспертизу, методических указаний по ее проведению, собственных наработок эксперта или заимствованных материалов. При достаточном информационном обеспечении в типовых случаях этот этап можно ограничить комплектацией необходимых информационных источников.

В случаях проведения оригинальной экспертизы (по составу, объекту, по требованиям заказчика к содержанию и методике и др.) подготовка методических документов может существенно облегчить последующую экспертную работу и ее оформление.

Экспертизу проводят в соответствии с намеченным планом, решая все поставленные задачи, и заканчивают по достижении поставленной цели. Исследовательский характер экспертной работы позволяет корректировать ее составные части (методику экспертизы, ее задачи и даже цель) в зависимости от получаемых результатов. Могут встретиться ситуации, когда центр тяжести экспертизы приходится переносить с формального подхода на усиление функционального или обратно. Корректировка цели экспертизы – серьезное изменение, которое следует согласовать с заказчиком, предъявив достаточно веские обоснования. Корректировка методики и постановки задач экспертизы – дело самого эксперта и не требует отчета перед заказчиком.

Оформление результатов экспертизы зависит как от официальных требований к экспертному заключению, так и от поставленных задач. Заказчику экспертизы официально представляют минимально необходимую информацию в виде экспертного заключения (одного документа) или некоторого набора документов. Наряду с итоговой информацией всегда имеются промежуточные результаты экспертизы, которые могут оказаться полезными заказчику и экспертирующей стороне, особенно с учетом возможных дополни-

тельных целей экспертизы. При необходимости такие материалы оформляют как приложения.

Опыт проведения экспертизы изделий, технологических процессов и научных исследований позволяет предложить следующие рекомендации:

- на всех этапах разработки объектов желательно проводить их совместную метрологическую и стандартизационную экспертизу;
- в метрологическую экспертизу объекта при необходимости включают элементы нормоконтроля (оценка оформления требований к параметрам объекта, обозначений единиц физических величин, представления результатов измерений и др.);
- оптимальный вариант – обеспечить проведение функциональной экспертизы разработчиками конструкторской, технологической и исследовательской документации с привлечением в необходимых случаях эксперта-метролога и эксперта-стандартизатора;
- окончательную (формальную) экспертизу должен проводить эксперт-метролог и нормоконтролер.

Метрологическую и стандартизационную экспертизы объекта следует проводить при совместном метрологическом контроле и нормоконтроле. Объединенный метрологический контроль и нормоконтроль требуют проверки нормосоответствия документа и контролепригодности параметров объекта и требований к нему. Объединенную метрологическую и стандартизационную экспертизу (контроль) обычно осуществляет один специально подготовленный эксперт.

Объединенные метрологическая и стандартизационная экспертизы объекта подразумевают выполнение полного объема работ каждого вида. При этом предпочтительно сначала провести формальную стандартизационную экспертизу (нормоконтроль), затем функциональную стандартизационную и метрологическую экспертизы и завершить эту работу окончательной проверкой контролепригодности параметров объекта.

### 3. ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ И СТАНДАРТИЗАЦИОННОЙ ЭКСПЕРТИЗ

Как любая экспертная работа, метрологическая и стандартизационная экспертизы должны быть:

- целенаправленными;
- экономичными;
- безошибочными.

Целенаправленность экспертизы определяется наличием конкретной цели и постановкой задач. В отличие от работ по проектированию, изобретательству, контролю, где цели очевидны, а задачи могут интерпретироваться в довольно узких пределах, цели экспертизы могут быть весьма разнообразны по широте охвата и глубине исследования. Диапазон целевых установок экспертизы будущего объекта распространяется от установления правильности предъявления и оформления требований, возможности их контроля до поиска путей повышения уровня качества за счет оптимизации свойств объекта. Цель экспертизы ставит заказчик, он же имеет право определить основные задачи. Однако даже достаточно грамотному заказчику часто необходима помощь эксперта в формулировании цели и задач.

Однозначное определение цели экспертизы необходимо, поскольку без этого невозможна постановка конкретных задач, следовательно, и корректное осуществление экспертизы. При формулировании задач желательно предусмотреть несколько уровней предполагаемых решений (от минимального до самого широкого) для обеспечения возможности выбора из нескольких вариантов. Ресурсную обеспеченность, включая квалификацию экспертов, информационное обеспечение, временной ресурс, обычно учитывают при определении цели и постановке задач экспертизы. Поскольку экспертная работа должна быть выполнена в установленные сроки, при ее планировании следует предусмотреть возможность получения минимального объема информации (нижний информационный предел), необходимой для достижения поставленной цели. Такие результаты экспертизы рассматривают как информационно достаточные, если обеспечены их представительность и безопасность использования.

Для успешного проведения метрологической и стандартизационной экспертиз следует соблюдать определенные научные принципы. Соблюдение этих принципов и построенных в соответствии с ними правил и норм экспертной работы гарантирует удовлетво-

рительной уровень качества экспертизы при минимально необходимой (не наивысшей) квалификации эксперта. Несоблюдение принципов может привести к низкому качеству результатов экспертизы и вынужденному повторному выполнению работы.

Анализ экспертной деятельности и опыт проведения метрологической и стандартизационной экспертиз позволили сформулировать принципы ее подготовки и проведения (рис. 3.1):

1. Квантование экспертной деятельности.
2. Установление приоритетности работ.
3. Унификация экспертных работ и результатов экспертизы.
4. Использование научных основ метрологии и стандартизации.
5. Обеспечение информационной безопасности потребителя результатов экспертизы.



Рис. 3.1. Принципы подготовки и проведения экспертизы

Представленные принципы обладают достаточной общностью и могут быть использованы для экспертизы в любой области (при соответствующем уточнении четвертого принципа). Например, для экспертизы уровня качества объекта формулировка этого принципа должна быть «Использование научных основ квалиметрии».

Чтобы экспертная работа выполнялась рационально и экономично, ее необходимо разделить на относительно автономные составляющие, оценить уровни их важности и порядок решения задач. В основе такого подхода лежат первые два принципа (принципы квантования работы и установления приоритетности ее составных частей).

Цель экспертизы можно сформулировать обобщенно, но вытекающие из нее задачи всегда направлены на выполнение определенных действий и получение конкретных результатов. Эта необходимость

привела к появлению такого принципа экспертизы, как «квантование экспертной деятельности». Смысл квантования экспертной деятельности заключается в разделении всей работы на относительно автономные фрагменты, причем после завершения одного можно приступить к следующему или сделать перерыв. Практически все сложные виды человеческой деятельности квантуются. Результатом квантования является набор «элементов деятельности» («квантов»).

При рассмотрении отдельных «квантов деятельности» иногда становятся не вполне очевидными возможности достижения сложных целей экспертизы путем последовательного решения ряда задач. Для повышения наглядности ансамбль поставленных задач можно изобразить в виде цепочки (дерева, графа) или иной структурной схемы. В качестве примера (рис. 3.2) представлена структура задач метрологической экспертизы при анализе контролепригодности объекта.



Рис. 3.2. Структура задач метрологической экспертизы (фрагмент)

Эта схема может рассматриваться как фрагмент более общей структуры задач метрологической экспертизы. Она иллюстрирует возможность объединения решений частных задач в интегральные результаты и подтверждает осуществимость планов достижения цели.

Если целью экспертизы будет подтверждение удовлетворительного уровня требований к объекту или определение оптимальности предъявляемых требований, постановку задач придется в значительной мере изменить.

Квантование экспертной деятельности может иметь существенные особенности, если наряду с основной целью преследуют также

одну или несколько дополнительных целей экспертизы (обучение экспертов, оптимизация экспертной работы и др.). В таком случае в процессы подготовки и проведения экспертизы включают дополнительные задачи. Так, задачи обучения экспертов решают путем ознакомления экспертов с результатами экспертизы и процессами их получения. В частности, полезно ознакомить обучаемых с процессами разработки методик решения частных задач, с методами оценки требуемой и реализуемой точности измерений и т. д.

На рис. 3.3 деятельность при подготовке и проведении экспертизы представлена в виде алгоритмической инструкции.



Рис. 3.3. Структура экспертизы (алгоритмическая инструкция)

Таблица 3.2

Приоритетность задач стандартизационной экспертизы проекта стандарта

Задача	Уровень приоритетности
Оценка необходимости разработки документа	Первый
Оценка соответствия содержания документа цели разработки	Первый
Оценка отсутствия противоречий в содержании проекта нормативным документам того же или более высокого уровня	Первый
Оценка отсутствия внутренних противоречий в содержании проекта	Первый
Оценка корректности установленных в проекте требований	Первый
...	...
Оценка правильности оформления проекта	Второй
Оценка грамотности изложения проекта	Третий
Контроль результатов экспертизы	Первый
Оформление отзыва на проект	Первый

Уровни приоритетности можно устанавливать по различным основаниям классификации, главными из которых являются семантические признаки (содержательное квантование) и очередность решения задач (квантование по срокам). При квантовании ожидаемых результатов экспертной деятельности по информационной значимости предпочтительно распределять их на три уровня с очевидными приоритетами:

- 1) минимально необходимая информация;
- 2) нужная информация, превышающая необходимый минимум;
- 3) желательная информация.

Охарактеризовать эти уровни приоритетности содержательно можно как «информация, без которой нельзя», «информация, которая нужна заказчику для повышения качества объекта», «информация, которая будет полезна заказчику в перспективе».

На первом уровне заказчику представляют результаты экспертизы, без которых он не может обойтись (фиксируют контролепригодность значимых параметров объекта, указывают неконтролепригодные параметры и причины их неконтролепригодности с тем, чтобы разработчик мог устранить эти дефекты).

Экспертная деятельность развернута во времени и разбита на этапы. «Кванты экспертной деятельности» представлены в виде овалов элементов структуры, в прямоугольниках содержатся результаты каждой из частных работ. На схеме также отражены обратные связи, показывающие пути возвращения к ранее пройденным этапам, которые используют при необходимости. Возможны и иные представления «квантов экспертной деятельности». При квантовании экспертной деятельности ожидаемые результаты можно расположить на нескольких иерархических уровнях, что позволит определить задачи с одинаковыми и разными уровнями.

Выбор иерархических уровней для поставленных задач связан с реализацией второго принципа экспертизы (установление приоритетности работ), что позволяет рационально организовать экспертную деятельность. Поскольку имеющееся в наличии ресурсное обеспечение (квалификация экспертов, время, финансовые средства и др.) всегда ограничено, работу приходится минимизировать. Установление приоритетности элементов экспертизы и результатов экспертной деятельности по содержанию позволяет предварительно оценить объемы информации, сроки ее получения и представления заказчику.

Возможные варианты установления приоритетов для квантов экспертной деятельности по важности содержания иллюстрируют табл. 3.1 и 3.2 (задачи позаимствованы из раздела 2, табл. 2.1 и 2.2).

Таблица 3.1

Приоритетность задач метрологической экспертизы изделия

Задача	Уровень приоритетности
Оценка оформления метрологических требований (задача нормоконтроля)	Третий
Определение номенклатуры экспертируемых требований и норм	Первый
Разделение требований и норм на очевидно приемлемые для контроля и сомнительные	Второй
Выявление дефектных требований и норм	Первый
...	...
Поиск методов контроля корректных требований и норм	Первый
Контроль результатов экспертизы	Первый

Минимальный объем работы можно ограничить получением критической экспертной информации. Все, что выходит за рамки информации первого приоритетного уровня, следует включать в экспертную работу только по дополнительной договоренности с заказчиком, если возможность выполнения такой работы не была заранее предусмотрена.

На втором уровне информацию предыдущего уровня дополняют доказательством наличия дефектов, пояснениями причин их образования, описанием негативных последствий в случае сохранения принятых решений. В экспертное заключение можно включить предложения по устранению неконтролепригодности, предложения по модификации объекта, сведения о том, как можно обеспечить косвенный контроль.

В информацию третьего уровня можно дополнительно включать пояснения (промежуточные математические преобразования, доказательства не вполне очевидных решений, поясняющие схемы и иллюстрации, примеры вычислений и т. д.), которые не являются необходимыми для профессионалов, но могут быть полезными для недостаточно квалифицированных представителей заказчика экспертизы. Такая информация может быть полезной для заказчика при устранении неконтролепригодности параметров и для экспертов при повторном решении аналогичных задач.

Базовая информация на всех указанных уровнях должна быть одинаковой, но формы ее представления и объемы подробностей могут существенно различаться.

Материалы экспертизы на низких уровнях информационной значимости (втором или третьем) могут включать дополнительные сведения о ходе и методах решения задач, которые уже были решены на предыдущих уровнях, или решения вновь возникших сопряженных задач. В результате экспертная информация, полученная после экспертизы на каждом из последующих уровней, включает всю накопленную на предыдущих уровнях информацию (рис. 3.4).



Рис. 3.4. Схема приоритетности уровней экспертизы

Схема соответствует одной из возможных реализаций принципа предпочтительности, широко применяемого в стандартизации.

Содержательное квантование и установление приоритетов выполняется сразу после определения цели экспертизы (на этапе постановки задач) и дает возможность минимизировать объем экспертной работы. Для обеспечения возможности последующего редуцирования задачи должны иметь несколько уровней по широте предполагаемого решения. Задачи желательно сформулировать письменно с указанием уровней значимости и представить заказчику экспертизы для согласования. Согласованные задачи являются основой планового проведения экспертных работ и в том случае, если план экспертизы не оформляется в виде отдельного документа.

Содержательное квантование как основное в оценке приоритетов фактически осуществляется при любой экспертизе. Для опытного эксперта такое квантование является очевидным и письменно не оформляется, но при экспертизе совершенно нового объекта, а также для начинающего эксперта иногда бывает полезно письменно зафиксировать приоритеты. Это квантование определяет важность задач и ожидаемых результатов их решения, но не устанавливает последовательность их решения. Так, контроль результатов экспертизы (высший уровень приоритетности) может осуществляться только после выполнения соответствующей работы любых уровней содержательной приоритетности.

При хронологическом квантовании экспертной деятельности (квантование во времени) следует учитывать иерархические уровни предполагаемого содержания отчетных материалов в соответствии с их информационной значимостью:

- вся минимально необходимая экспертная работа (основная работа) – выполняется в установленный срок или досрочно;
- некоторая дополнительная (к основной) работа выполняется в установленные сроки при удачном стечении обстоятельств;
- дополнительная работа значительных объемов, включающая подробную проработку некоторых задач оптимизации объекта и обеспечения контролепригодности требований к нему, если она не укладывается в установленный срок, выполняется за пределами установленных сроков. Она может быть продолжением работы на условиях новой договоренности с заказчиком или выполняться в инициативном порядке (для собственных нужд, если ожидается ее использование в будущих экспертизах).

При планировании экспертных работ основное внимание должно быть направлено на представление результатов в договорные сроки. Сроки, согласуемые с заказчиком, устанавливаются с учетом резервирования времени на решение наиболее сложных задач и на выполнение работ, дополнительно возникающих в ходе экспертизы. Грамотное планирование экспертных работ с прогнозированием возможных сложностей требует очень высокой квалификации. При ужесточении сроков по требованию заказчика его необходимо предупредить, что это повлечет сокращение планируемых экспертных работ и представляемой заказчику информации.

Квантование во времени экспертной работы имеет определенные особенности:

- работы выполняются в очередности, определяемой структурой сложных задач, включающих в себя более простые (например, для аналитической оценки погрешности измерений требуется предварительное оценивание погрешностей от каждого источника);
- возможно первоочередное решение относительно автономных и не слишком трудоемких задач (например, анализ корректности требований к общим допускам при стандартизационной экспертизе).

Хронологическая последовательность решения задач может не совпадать с иерархическими уровнями их важности. Например, при метрологической экспертизе поиск методов контроля корректных требований и норм (первый уровень содержательной приоритетности) можно осуществлять только после разделения требований на очевидно приемлемые для контроля и сомнительные (второй уровень) и коррекции дефектных требований и норм (второй уровень). Поскольку контроль окончательных результатов экспертизы (первый уровень) возможен только после их получения, выполнить эту работу можно только на последнем этапе (контроль подлежит экспертному заключению, включая форму его представления).

Учет содержательной иерархии задач при квантовании по срокам заключается в том, что приоритетным по содержанию задачам уделяют больше времени, а их решения представляют с учетом порядка, заданного содержательной иерархией.

Третий принцип – принцип унификации экспертных работ и результатов – требует упорядочения, обычного для любых научно-технических работ. Такое упорядочение в предельном случае приводит к оформлению стандартов или иных методических или

руководящих документов на экспертизу. Экспертная работа будет тем успешнее, чем лучше формализованы процессы ее подготовки и проведения. Формализация может включать в себя унификацию элементов экспертизы и форм представления результатов, что открывает возможности автоматизации (использование компьютерной поддержки, баз данных, специализированных программных продуктов и т. д.).

Унифицировать можно процесс структурирования и постановки задач в соответствии с выбранной целью экспертизы. Построение структур в соответствии с определенными правилами: постановка задач, установление приоритетов – все это можно выполнять по заранее подготовленным трафаретам («стандартам экспертизы»), разработанным субъектом хозяйствования или самим экспертом.

Унификация минимально необходимых результатов экспертизы полезна для предотвращения конфликтов между исполнителем и заказчиком. После получения информационно достаточных результатов возможно прекращение экспертизы или резкое сокращение дальнейших работ. Остановка экспертизы при достижении минимально необходимых результатов, адекватных поставленной цели, установленной как высший приоритет, обеспечивает ресурсосбережение при проведении экспертизы. В ином случае экспертиза может продолжаться нерационально и практически бесконечно.

Принцип использования научных основ метрологии и стандартизации является самоочевидным, поскольку экспертиза всегда опирается на научные принципы, постулаты, методы, математический аппарат и другие научные достижения конкретной области знаний. Особенности реализации этого принципа в метрологической и стандартизационной экспертизе заключаются в следующем:

- метрология и стандартизация как интенсивно развивающиеся научные области в современном состоянии не обладают общепризнанными наборами научных принципов;
- недостаточно высокий уровень развития научных основ собственно метрологической и стандартизационной экспертиз затрудняет использование при их проведении даже тех научных принципов, постулатов, методов, математического аппарата и других научных достижений, которые являются общепризнанными в метрологии стандартизации.

Повышение научной строгости работ обусловлено возможными уточнениями тех научных принципов метрологии и стандартизации,

которые непосредственно применяют при экспертизе. Поскольку экспертизу необходимо проводить сегодня, экспертная работа должна опираться на те, не содержащие явных ошибок и противоречий, научные принципы, которые признает эксперт, не ожидая их уточнений или трансформации.

Обеспечение информационной безопасности потребителя результатов экспертизы подразумевает безопасность заказчика или другого пользователя, которому доступна информация.

Причинами опасностей при использовании научно-технической информации могут быть:

- низкое качество информации (ложные данные, принципиальные ошибки, недостаточность или неполнота информации);
- неправильное использование высококачественной информации (при несоответствии условий, исходных данных, некорректном интерполировании или экстраполировании и др.).

Из этого следует, что потребителя результатов экспертизы для обеспечения информационной безопасности следует не только защитить от низкокачественной информации (информационного брака), но и предупредить об опасности некорректного использования полученной информации.

Профилактика информационного брака в итогах экспертизы возможна за счет критической оценки экспертной работы в целом и ее промежуточных результатов, например, по завершении этапа. По результатам контроля качества экспертизы при необходимости осуществляется корректировка работ и пересмотр результатов. Поскольку эксперт по определению является наиболее квалифицированным специалистом, при отсутствии возможности привлечения для контроля и критики результатов его работы другого эксперта возникает необходимость экспертизы собственной деятельности.

С целью предупреждения информационного брака эксперт должен:

- использовать только апробированные источники информации, включая нормативные документы по стандартизации. Отчеты о научно-исследовательских работах, монографии, любые другие публикации используют только при соответствующем уровне доверия к их авторам, причем сомнительные моменты подвергают дополнительной аналитической или экспериментальной проверке;
- проверять по первоисточникам любую исходную информацию, вызывающую сомнения, не полагаясь на собственную память, представление, трактовку;

- приводить оценки достоверности экспертируемой и привлекаемой информации (включая оценки погрешностей измерений, результаты измерений, контроля, испытаний, другие экспериментальные данные, аналитическую информацию);

- обеспечить корректность выводов (недопустимы недостаточно обоснованные выводы и выводы предположительного характера). Все выводы должны базироваться только на результатах проведенной экспертной работы, а рекомендации при необходимости следует снабжать указаниями области возможного применения;

- организовать систему контроля и самоконтроля результатов работы, включающую, например, «двойную проверку» материалов, апробацию предварительных результатов заказчиком, усиленный контроль «опасных элементов», дополнительное привлечение экспертов по узким вопросам и др.

Соблюдение этих требований обеспечит отсутствие в результатах экспертизы значимых ошибок, хотя опыт проведения экспертизы свидетельствует о возможном наличии некоторых погрешностей в результатах даже достаточно тщательно выполненных работ.

Опасности, связанные с неправильным использованием информации, можно предупредить, если в результаты экспертизы будут включены:

- описания принятых в ходе проведения экспертизы допущений и упрощений (допущения о приближенном равенстве числовых значений, использование аппроксимаций линий и поверхностей, приближенных математических зависимостей, выбранные виды распределений случайных величин, значения принятых доверительных вероятностей, уровней значимости и др.), которые существенно влияют на конечные результаты;

- указания на ограниченные возможности распространения результатов (только на ситуации, которые можно адекватно описать той же моделью). Недопустимо несоответствие значимых условий, исходных данных, некорректное интерполирование или экстраполирование и др.

- аналитическое подтверждение положений и утверждений, имеющих существенное значение для результатов экспертизы (доказательства пренебрежимой малости погрешностей, исключаемых из последующего рассмотрения, подтверждение одинаковости механизмов влияния или возникновения погрешностей и т. д.).

При описании принятых допущений и упрощений следует акцентировать внимание пользователя на самом факте их принятия. Затем следует объяснить, почему и на каком основании принято допущение или упрощение, и при необходимости представить прогноз ситуаций, которые могут иметь место, если принятое допущение не оправдывается.

Полностью предотвратить неправильное использование заказчиком полученной в ходе экспертизы информации невозможно, основные профилактические действия следует направить на повышение квалификации пользователя. Квалифицированным можно считать только того пользователя, который правильно оценивает уровень собственной компетентности и приглашает эксперта для работы, требующей специальной подготовки.

## **4. СТАНДАРТИЗАЦИОННАЯ ЭКСПЕРТИЗА (НОРМОКОНТРОЛЬ)**

### **4.1. Структура и состав нормоконтроля**

В 1968 г. с введением стандарта ГОСТ 2.111 «ЕСКД. Нормоконтроль» появилось понятие стандартизационной экспертизы. В разделе «Цели и задачи нормоконтроля» первой версии этого стандарта было в явной форме сказано об «экспертизе проектной документации» и «экспертном заключении». Термин «нормоконтроль» (как часто употребляемый) постепенно вытеснил «стандартизационную экспертизу», и сегодня это словосочетание практически отсутствует в нормативной документации и литературных источниках. Оба термина имеют право на существование, как отражающие определенные особенности работы: нормоконтроль (контроль соответствия объекта требованиям нормативных документов) осуществляют по результатам проводимой стандартизационной экспертизы, цели которой могут быть шире, чем только контроль (например, оптимизация требований к объекту, унификация его элементов и др.).

Основные требования к нормоконтролю разных объектов регламентированы на уровне межгосударственных и государственных стандартов. В Республике Беларусь основные требования к нормоконтролю регламентированы следующими нормативными документами по стандартизации:

- ГОСТ 2.111 «ЕСКД. Нормоконтроль»;
- ГОСТ 3.1116 «ЕСТД. Нормоконтроль»;
- СТБ 2090 «Система проектной документации для строительства.

Нормоконтроль проектной документации».

Применявшийся до 2010 г. в Республике Беларусь Межгосударственный стандарт ГОСТ 21.002 «СПДС. Нормоконтроль проектно-сметной документации» в настоящее время не действует, поскольку был заменен национальным стандартом СТБ 2090.

Кроме того, нормативный документ РМГ 63–2003 «Рекомендации по межгосударственной стандартизации. Государственная система обеспечения единства измерений. Обеспечение эффективности измерений при управлении технологическими процессами.

Метрологическая экспертиза технической документации» оговаривает возможность проведения совмещенных нормоконтроля и метрологического контроля (на базе стандартизационной и метрологической экспертизы).

В соответствии с ГОСТ 2.111, нормоконтроль – контроль выполнения конструкторской документации в соответствии с нормами, требованиями и правилами, установленными нормативными документами. Поскольку этот стандарт относится к Единой системе конструкторской документации, становится понятной некоторая односторонность определения.

Из приведенного выше перечня нормативных документов, регламентирующих нормоконтроль, следует, что они направлены не только на конструкторские разработки: нормоконтроль применяют для анализа технологических процессов, для контроля процессов и изделий в строительстве. Кроме того, нормоконтроль широко применяют в научно-исследовательской работе и там, где деятельность и (или) ее результаты регламентированы нормативной документацией по стандартизации.

Общую цель нормоконтроля можно обозначить, как рациональное использование стандартизации (и унификации) при разработке изделий и процессов и их применении (реализации) для достижения «всеобщей оптимальной экономии», как это было сформулировано в одном из определений стандартизации. На достижение этой цели направлены и задачи нормоконтроля.

В соответствии с ГОСТ 2.111, основными задачами нормоконтроля являются:

а) соблюдение в конструкторской документации норм, требований и правил, установленных в стандартах ЕСКД и в других нормативных документах, указанных в документации;

б) достижение в разрабатываемых изделиях необходимого высокого уровня унификации и стандартизации на основе широкого использования ранее спроектированных, освоенных в производстве и стандартизованных изделий, типовых конструкторских и схемных решений;

в) рациональное применение ограничительных номенклатур покупных и стандартизованных изделий и их документов, норм (типоразмеров, квалитетов точности, условно-графических обозначений и др.), марок материалов, полуфабрикатов и т. п.;

г) достижение единообразия в оформлении, учете, хранении, изменении конструкторской документации;

д) соблюдение нормативных требований в условиях выпуска документов автоматизированным способом в бумажной и (или) электронной форме.

Из перечисления понятно, что задачи а), г) и д) относятся к документации, а задачи б) и в) – к разрабатываемым изделиям. Отобранные в первую группу задачи направлены, прежде всего, на формальный нормоконтроль, а остальные – преимущественно на функциональный. Цель формального нормоконтроля – проверка соблюдения требований нормативных документов, распространяющихся на документацию контролируемого объекта и сам объект (контроль нормосоответствия), цель функционального нормоконтроля – анализ возможности повышения уровня качества исследуемого объекта методами стандартизации, включая унификацию.

Анализ задач нормоконтроля показывает, что для контроля фактически необходимо проведение стандартизационной экспертизы, направленной на повышение качества объекта методами стандартизации. Подтверждением этого тезиса является и содержание п. 4.9. ГОСТ 2.111 (в соответствии с Изменением № 4): «Нормоконтролер участвует в экспертизе конструкторской документации, поступающей от других организаций».

В соответствии с ГОСТ 2.111, нормоконтролю подлежит «конструкторская документация на изделия основного и вспомогательного производства любых выпускающих соответствующую документацию организаций независимо от форм собственности, подчиненности и служебных функций». В стандарте сказано, что «объектом нормоконтроля является вся разрабатываемая и выпускаемая организацией конструкторская документация». Подтверждением этого положения является основная надпись чертежа, где имеется строка для подписи нормоконтролера. Эта подпись рассматривается как необходимый атрибут документа, значит, нормоконтроль есть обязательное мероприятие. Следует отметить, что формальный нормоконтроль документов играет ту же роль, что и технический контроль промышленной продукции, который осуществляется в обязательном порядке для предупреждения выпуска бракованной продукции.

Не ограничиваясь рамками ЕСКД, можно утверждать, что объекты формального нормоконтроля могут быть представлены любыми проектными и отчетными документами, включая конструкторские, технологические, материалы научных исследований, а также и научно-технической литературой. Из анализа целей и задач нормоконтроля видно, что объектами стандартизационной экспертизы являются не только сами документы, но и представляемые ими изделия и процессы, включая технологические процессы изготовления и испытания изделий, процессы измерений, контроля и исследований.

При формальном нормоконтроле прежде всего проверяют комплектность документации, соответствие обозначений каждого документа установленной системе обозначений; правильность выполнения основной надписи; в том числе наличие всех необходимых подписей, правильность применения терминов, условных обозначений, представления физических величин, включая их обозначения в тексте, формулах, таблицах и в текстовых описаниях результатов измерений, правильность сокращений слов; наличие и правильность ссылок на стандарты и другие нормативные документы.

При функциональном нормоконтроле проверяют не только соответствие основных параметров проектируемого объекта требованиям стандартов и технических условий, характеристикам утвержденной типоразмерной номенклатуры объектов; соответствие нормированных параметров, показателей технического уровня и уровня качества требованиям стандартов и других нормативных документов, но и возможности их оптимизации. Проверяют также соответствие методов контроля и испытаний (при их наличии в представленных материалах) требованиям действующих нормативных документов, а также и возможности их оптимизации.

ГОСТ 2.111 определяет примерное содержание нормоконтроля по чертежам изделий (в том числе по документам, представленным в электронной форме) перечислением, приведенным в виде таблицы.

Перечисление включает требования проверки следующих элементов:

- комплектность документации в соответствии с техническим заданием на разработку изделия или требованиями системы конструкторской документации;

- внешний вид предъявляемой документации;
- соответствие обозначения, присвоенного конструкторскому документу, установленной системе обозначений конструкторских документов;
- правильность выполнения основной надписи и дополнительных граф. Соответствие состава реквизитной части требованиям стандартов и других нормативных документов для «электронных документов» проверяется при настройке программных средств;
- полнота заполнения атрибутов реквизитной части;
- наличие установленных подписей;
- правильность выполнения чертежей в соответствии с требованиями стандартов ЕСКД на форматы, масштабы, изображения (виды, разрезы, сечения), нанесение размеров, условные изображения конструктивных элементов (резьб, шлицевых соединений, зубчатых венцов колес и звездочек) и т. п.;
- соблюдение требований стандартов ЕСКД на условные изображения деталей (крепежных, арматуры, деталей зубчатых передач, пружин и т. п.), а также на обозначения шероховатости поверхностей, термообработки, покрытий, простановки предельных отклонений размеров, отклонений формы и расположения поверхностей и т. п.;
- правильность примененных сокращений слов;
- наличие и правильность ссылок на стандарты и другие нормативные документы.

Примеры проведенного нормоконтроля представлены в прилож. 1 и 2.

Важнейшей составной частью нормоконтроля является проверка уровня стандартизации и унификации проектируемого объекта и возможности расширения этих показателей, поэтому в таблицу стандарта включены следующие проверяемые элементы:

- рациональное использование конструктивных элементов, марок материалов, размеров и профилей проката, видов допусков и посадок и выявление возможностей объединения близких по размеру и сходных по виду и назначению элементов;
- возможность замены оригинальных изделий типовыми и ранее разработанными;
- возможность замены оригинального конструктивного исполнения детали стандартизованным или типовым;

- возможность использования ранее спроектированных и освоенных производством деталей сходной конструктивной формы и аналогичного функционального назначения;

- соблюдение установленных ограничительных номенклатур (перечней) конструктивных элементов, допусков и посадок, марок материалов, профилей и размеров проката и т. п.

Состав нормоконтроля других технических документов и представляемых ими объектов подробно описан в соответствующих стандартах.

При нормоконтроле текстовых документов (пояснительные записки, технические описания, инструкции по эксплуатации, технические условия, программы и методики испытаний, отчет о научно-исследовательской работе и др.) проверяют соблюдение требований стандартов, регламентирующих соответствующие текстовые документы (для конструкторской документации – ГОСТ 2.105 и ГОСТ 2.106, для исследовательской – стандарт ГОСТ 7.32 и др.); соответствие форм представления показателей и расчетных величин и результатов измерений требованиям, установленным в стандартах и других нормативных документах, и т. д. (прилож. 3).

Документы представляют на нормоконтроль комплектно, например: для конструкторской проектной документации (технического предложения, эскизного и технического проектов) – все документы, разрабатываемые на соответствующей стадии; для рабочей документации – документация на сборочную единицу (чертежи деталей, сборочные чертежи, спецификации и пр.).

При разработке оригиналов документов и последующем их размножении с подлинников, выполненных копированием на кальку вручную, нормоконтроль рекомендуется проводить в два этапа:

I этап – проверка оригиналов документов («белков») перед передачей на изготовление подлинников и (или) размножение. Эти материалы предъявляют нормоконтролеру с подписями в графах «Разраб.», «Пров.» и «Т. контр.» (в случае проведения технологического контроля конструкторской документации);

II этап – проверка конструкторских документов в подлинниках (на кальке) при наличии всех подписей лиц, ответственных за содержание и выполнение конструкторских документов, кроме утверждающей подписи руководителя организации или предприятия. Если копия на кальке выполняется методами репрографии, она

и выполненные теми же методами рабочие копии нормоконтролю не подлежат, все подписи переносятся на копии автоматически.

Введение нормоконтроля в организации должно быть оформлено организационно-распорядительным документом, в котором также утверждается состав подразделения нормоконтроля и положение о его работе. Подразделения или отдельные инженерно-технические работники, занимающиеся нормоконтролем, должны находиться, как правило, в составе службы стандартизации субъекта хозяйствования. Если эти специалисты находятся в составе других подразделений, то служба стандартизации должна осуществлять методическое руководство их работой.

Нормоконтролер в проверяемых документах наносит карандашом условные пометки к тем элементам, которые должны быть исправлены или заменены. Сделанные пометки сохраняют до подписания подлинников, их снимает или разрешает снять нормоконтролер.

В перечне замечаний нормоконтролера против номера каждой пометки кратко и ясно излагается содержание замечаний и предложений (перечень замечаний может оформляться в специальном журнале). В организациях, где установлена система цифрового кодирования замечаний нормоконтролера, взамен изложения содержания замечаний проставляется соответствующий цифровой код по классификатору. Образец перечня замечаний и предложений нормоконтролера с примером его заполнения приведен в приложении к стандарту.

Изменения и исправления, связанные с устранением нарушений требований действующих стандартов и других нормативных документов (в соответствии с замечаниями, сделанными в ходе формального нормоконтроля), обязательны. Изменения, связанные с предложениями нормоконтролера по замене оригинальных исполнений деталей и сборочных единиц заимствованными и типовыми, сокращением применяемых типоразмеров изделий и конструкторских элементов и подобные им (результаты функционального нормоконтроля), вносят в документацию при условии их согласования с разработчиком.

Разногласия между нормоконтролером и разработчиком документации разрешаются руководителем органа стандартизации по согласованию с руководителем подразделения-разработчика. Решения руководителя органа стандартизации по вопросам соблюдения

требований действующих стандартов и других нормативных документов являются окончательными. Если остаются разногласия по вопросам применения ранее разработанных решений, замены, объединения типоразмеров и т. п., то их разрешает руководство организации или предприятия, выпускающего соответствующую документацию.

Подписание нормоконтролером проверенных документов производится следующим образом:

а) Если документ проверяет один нормоконтролер, то при отсутствии претензий он подписывает его в отведенном для подписи месте.

б) Если документ последовательно проверяют несколько специализированных нормоконтролеров, то подписание этих документов в отведенном для подписи нормоконтролера месте производится исполнителем наиболее высокой (в группе нормоконтролеров) должностной категории. Остальные нормоконтролеры после успешного контроля визируют документ.

в) Документацию, утверждаемую руководителем организации, нормоконтролер визирует до передачи на утверждение и подписывает в установленном месте после утверждения.

Исправлять и изменять подписанные нормоконтролером, но не сданные в службу (отдел, бюро) технической документации подлинники документов без его ведома не допускается.

## 4.2. Права и обязанности нормоконтролера

Нормоконтролер обязан руководствоваться только действующими на момент проведения контроля стандартами и другими нормативными документами по стандартизации. В организации они должны быть представлены зарегистрированными в службе стандартизации и актуализованными официальными экземплярами документов. Вопрос о соблюдении требований вновь выпущенных документов по стандартизации, срок введения которых на момент проведения нормоконтроля еще не наступил, в каждом отдельном случае решается руководством органа стандартизации в зависимости от установленных сроков разработки и освоения в производстве проектируемых объектов.

Нормоконтролер должен систематически представлять руководству подразделений-разработчиков сведения о соблюдении

в разрабатываемой документации требований стандартов и других нормативных документов, об использовании принципов конструктивной преемственности и о редакционно-графическом оформлении документов.

Нормоконтролер несет ответственность за соблюдение в документации требований действующих стандартов и других нормативных документов наравне с разработчиками документации.

Нормоконтролер имеет право:

а) возвращать документацию разработчику без рассмотрения в случаях нарушения установленной комплектности, отсутствия обязательных подписей, небрежного выполнения;

б) требовать от разработчиков документации разъяснений и дополнительных материалов по вопросам, возникшим при проверке;

в) не проводить нормоконтроль при наличии в документации утверждающей подписи, поставленной до проведения нормоконтроля.

## 4.3. Организация нормоконтроля

Нормоконтроль можно проводить централизованно либо децентрализованно. В первом случае нормоконтроль осуществляют эксперты, работающие в службе стандартизации субъекта хозяйствования, во втором в качестве экспертов выступают специально подготовленные сотрудники подразделения – разработчика документации.

Достоинствами централизованного нормоконтроля являются:

- административная независимость экспертов от руководителей разработки;
- высокий уровень квалификации экспертов в области стандартизации и проведения нормоконтроля.

В качестве недостатка следует отметить невозможность обеспечить уровень квалификации экспертов в области объектов проектирования, который бы достигал уровня разработчиков или превышал его. Этот недостаток частично компенсируют за счет специализации экспертов, например, по видам продукции, технологических процессов и т. д.

Достоинствами децентрализованной организации нормоконтроля являются:

- высокий уровень квалификации экспертов в области проектирования объектов, подлежащих экспертизе;
- повышенный уровень оперативности экспертизы.

Недостатки децентрализованной экспертизы состоят в наличии административной подчиненности экспертов руководителям разработки и в более низком уровне квалификации экспертов в области собственно экспертной деятельности.

Административная зависимость экспертов от руководителей разработки не имеет принципиального значения, если экономическое стимулирование обеспечивает заинтересованность исполнителей и их руководства в высоком качестве разработки. Если реальной целью субъекта хозяйствования является удержание и расширение своего сегмента рынка, разработчик будет сам заинтересован в выявлении дефектов и скорейшем их устранении. Только высококачественная продукция может повысить конкурентоспособность предприятия, следовательно, его прибыль и доходы персонала. Провал на рынке может означать не только снижение выплат, но и банкротство предприятия, потерю работы его сотрудниками.

Поскольку первичную экспертизу фактически всегда осуществляет сам разработчик, можно утверждать, что необходимым условием любой современной разработки является достаточный уровень стандартизационной грамотности разработчика. Он должен самостоятельно решать тривиальные задачи и выделять те, для решения которых необходима совместная работа с квалифицированным экспертом. Стандартизационная квалификация экспертов-разработчиков должна быть выше, чем у рядовых разработчиков. Эксперт-разработчик, находящийся рядом с другими сотрудниками подразделения-разработчика, всегда может оперативно оказать помощь в решении стандартизационных задач, возникающих непосредственно в процессе разработки. К нему не надо обращаться с официальным письмом, нет необходимости в комплектном представлении документации и в подробных разъяснениях. Его работа – решение тривиальных экспертных задач, выделение более сложных задач и подготовка материалов для их постановки перед экспертом из соответствующей службы.

При такой организации стандартизационной экспертизы основная функциональная экспертиза выполняется разработчиками в ходе проектирования, а для завершающего этапа остается только

формальная экспертиза, которая по необходимости может проводиться независимыми экспертами.

При экспертизе могут приниматься множество решений, связанных с оптимизацией норм точности, обеспечением контролепригодности параметров объекта и т. д. К сожалению, значительная часть промежуточной информации не включается в экспертное заключение, а используется только для представления разработчикам. В результате идет в архив или вообще исчезает информация, которая могла бы принести будущим (особенно начинающим) разработчикам значительную пользу.

Информационная база, которую используют при стандартизационной экспертизе (нормоконтроле), включает два вида источников:

- нормативные документы по стандартизации;
- справочники, конструкторская и технологическая документация, научно-техническая литература и другие информационные источники.

При формальном нормоконтроле информационная база, как правило, ограничивается актуализованными нормативными документами по стандартизации. Не допускается использование в ходе формального нормоконтроля «вторичной документации», такой как справочники, учебная и иная техническая литература, содержащая перепечатанные из стандартов данные. Такие материалы устаревают, они не подлежат актуализации (служба стандартизации не обязана вносить в них официально утвержденные изменения). Кроме того, при перепечатке материалов из документов по стандартизации возможны ошибки (поэтому и возникло запрещение перепечатки стандартов). Подобные проблемы могут возникнуть при использовании незарегистрированных экземпляров стандартов, неофициальных компьютерных копий документов по стандартизации и целых баз данных.

При функциональном нормоконтроле кроме документов по стандартизации привлекают любые другие информационные источники. За результаты привлечения таких источников отвечает нормоконтролер. Разработчик имеет право не соглашаться с нормоконтролером, если он предлагает позаимствовать решения из таких источников.

Замечания нормоконтролера подлежат анализу для последующей классификации и типизации ошибок. В случае если при нор-

моконтроле однотипных объектов неоднократно встречаются сходные ошибки, может быть создана система цифрового кодирования замечаний, фиксирующих типовые ошибки. Наличие классификатора типовых ошибок сокращает техническую работу нормоконтролера, но свидетельствует о пробелах разработчиков в конкретной области, которые могут и должны быть ликвидированы. Диалектика классификатора типовых ошибок заключается в том, что проще фиксировать их наличие и можно предложить типовые методы ликвидации последствий, но поскольку возникновение типовых ошибок обусловлено одинаковыми причинами, наилучшим способом их устранения является выявление и устранение причин, их вызывающих.

Наличие типовых ошибок и их включение в классификатор могут рассматриваться как оправданные в нескольких случаях:

- введение нового стандарта (у разработчиков проявляются устаревшие стереотипы из отмененных документов);
- неоднозначные положения стандарта, которые разработчик и нормоконтролер могут трактовать по-разному;
- наличие большого числа новых разработчиков, не имеющих достаточного опыта работы.

Мероприятия, направленные на профилактику типовых ошибок разработчиков, могут предлагать руководители служб стандартизации и отделов-разработчиков, технический руководитель предприятия. Такие мероприятия могут включать повышение квалификации разработчиков в ходе технического обучения, семинары, собираемые для обсуждения нововведений в стандартах или типовых ошибок, связанных с многочисленными однотипными нарушениями. Кроме того, полезна разработка и публикация учебно-методических материалов, разработка стандартов организации и специальных методических указаний.

Комплекс замечаний и предложений нормоконтролеров по конкретному проекту может служить исходным материалом для оценки качества проекта.

Сложность экспертных работ слишком велика для того, чтобы обеспечить их объективное нормирование, однако некие нормы все-таки были разработаны. Так, в литературе приведены следующие типовые нормы, выраженные в количестве времени на нормоконтроль документов:

- лист текста (формат А4) – 0,2 часа;
- чертеж формата А4 – 0,15 часа.

Типовые нормы предусматривают включение подготовительно-заключительного времени, времени на обслуживание рабочего места, времени на отдых, личные надобности и физкультурные паузы (в размерах около 10 % от оперативного времени). В результате за 8 часов работы нормоконтролер должен проверить около 40 страниц текстовых документов, или «объем» чертежей, соответствующих по площади 48 чертежам формата А4.

В документации для нормировщиков трудозатрат рекомендовались разработанные в СССР следующие нормы по видам работ (на один рабочий день в листах формата А4):

- общий унификационный контроль – 40...45;
- контроль чертежей, спецификаций, ведомостей – 45...50;
- контроль схем, перечней элементов и т. п. – 45...50;
- контроль текстовых документов – 40...45;
- контроль технологических документов – 40...45;
- контроль проектно-строительных документов – 40...50.

Эти нормы предлагалось применять при нормоконтроле оригиналов («белков»). Если с оригинала вручную (копирующими) делались подлинники на кальке, они тоже подлежали нормоконтролю. Для нормоконтроля подлинников после проверки оригиналов теми же экспертами нормы увеличиваются в 2 раза, если разрыв во времени не превышает трех месяцев.

#### **4.4. Особенности нормоконтроля проектов нормативных документов**

Подготовка отзывов на проекты государственных стандартов и других нормативных документов по стандартизации (НД) – обычная работа подразделений стандартизации. Отзыв на проект государственного стандарта должен быть отправлен не позднее чем через месяц после получения проекта НД. Общие требования к оформлению отзыва содержатся в нормативной документации. Сначала приводят общие замечания и предложения по проекту НД, затем – частные, а в заключительной части дают выводы о приемлемости проекта, необходимости внести технические или

радикальные изменения, либо даже отказаться от дальнейшей разработки. Подготовка отзыва на проект НД представляет собой типичную экспертную работу.

Формальная стандартизационная экспертиза направлена, прежде всего, на проверку соблюдения требований системы технического нормирования и стандартизации к структуре и оформлению стандарта. В проекте должны присутствовать все необходимые для данного вида документов структурные элементы, расположенные в установленном порядке. Допускается исключение необязательных элементов и разрешенное объединение некоторых обязательных. Требования должны быть сформулированы однозначно, т. е. не должны допускать двоякого толкования, которое может привести к возникновению конфликтов между поставщиком и пользователем. Все устанавливаемые требования должны быть выполнимыми и проверяемыми. Особое внимание следует обращать на логичность построения и грамотность изложения текстовых материалов. Поскольку в НД текст обычно играет основную роль, при нормоконтроле следует обращать особое внимание на его корректное представление. Корректное использование стандартной терминологии и грамотность применения нестандартных терминов, стандартных наименований и обозначений физических величин и их единиц, соблюдение требований общетехнических стандартов к условным обозначениям – все это свидетельство стандартизационной грамотности разработчиков.

При экспертизе можно использовать положения стандартов ЕСКД, определяющие требования к документам, содержащим, в основном, сплошной текст. Хотя эти требования формально не распространяются на нормативные документы по стандартизации, использование таких информационных источников будет полезным, если оно повысит уровень корректности изложения документа.

В ТКП 1.5 содержатся требования к формулам, рисункам, таблицам, соблюдение которых в стандарте обязательно. При экспертизе проектов технических условий, которые представляют не как проект государственного стандарта, а как самостоятельный нормативный документ, следует руководствоваться требованиями ТКП 1.3.

Определенные особенности экспертизы НД могут быть связаны с целевой установкой документа или проекта документа более низ-

кой категории при наличии вышестоящего по иерархии НД. Так, стандарты организации на объекты, уже нормированные государственными стандартами, разрабатывают либо в виде ограничительных, либо в виде «расширяющих». Очевидно, что несоответствия требованиям новых документов содержанию стандартов более высоких категорий недопустимы. Но в стандартах, которые продолжают и уточняют положения НД более высоких категорий, такие противоречия могут иметь неявный характер, и их выявление требует квалифицированной экспертной работы.

Особенностью формальной экспертизы стандартов организации является то, что требования к их структуре документом ТКП 1.5 формально не определены и субъект хозяйствования может устанавливать для них свою структуру. Однако с позиций унификации НД полезно максимально использовать для таких документов структуру, установленную для государственных стандартов.

Примеры стандартизационной экспертизы нормативной документации представлены в прилож. 4.

Вопросы комплексной экспертизы НД и проектов НД и технических условий рассмотрены в разделе 8 «Особенности экспертизы нормативной документации».

#### **4.5. Оформление результатов нормоконтроля**

В нормативных документах, регламентирующих нормоконтроль, разрешается использовать наиболее простую форму фиксации результатов – замечания эксперта в виде пометок на полях документа. После исправления ошибок и согласования с разработчиком решений по предложениям, принятие которых не является обязательным, эксперт визирует оригиналы или подлинники документов. Этот метод работы можно с достаточным основанием назвать контролем (собственно нормоконтроль). Однако опыт проведения экспертизы сложных объектов показывает, что область применения такого метода работы и оформления результатов весьма ограничена.

Для оформления результатов стандартизационной экспертизы чаще используют общепринятый подход – разрабатывают и представляют экспертное заключение. Общие требования к такому заключению – оно должно соответствовать цели экспертизы и отве-

чать на поставленные перед экспертами вопросы. Форма заключения может быть произвольной, но оно в обязательном порядке должно содержать констатирующую часть (включая критику недостатков объекта) и резюмирующую часть (итоговую оценку объекта). Предложения эксперта по результатам работы, если они являются результатами функциональной экспертизы, не являются обязательными для исполнения.

Все предложения эксперта можно разделить на два вида:

- предложения по устранению ошибок разработчика;
- рекомендации, направленные на повышение уровня качества объекта.

Предложения первого вида подлежат неукоснительному исполнению, но их подробное оформление представляется избыточным. Формулировки слишком очевидны, чтобы вносить их в серьезный документ («привести в соответствие с требованиями стандарта», «заменить неправильное требование на корректно оформленное») и могут быть сведены к простейшей: «исправить ошибку».

Предложения второго вида могут обсуждаться и отвергаться, поскольку уровень компетентности разработчика по положению достаточно высок, а компетентность эксперта должна проявляться, прежде всего, в области его профессиональной деятельности, а не в области разработки экспертируемых объектов. Рекомендации эксперта на стадии проектирования могут оказаться полезными, поскольку позволят предупредить нежелательные ситуации. Однако следует учитывать, что за качество проектируемого объекта отвечает его разработчик, он и должен принимать соответствующие решения.

Табличные формы списков замечаний и предложений нормоконтролера были включены в приложение ГОСТ 2.111. В разделе 5 стандарта указано: «Нормоконтролер в проверяемых документах наносит карандашом условные пометки к элементам, которые должны быть исправлены или заменены. Сделанные пометки сохраняют до подписания подлинников, и снимает их нормоконтролер. Способ нанесения и снятия условных пометок устанавливает организация».

В перечне (или журнале) замечаний нормоконтролера номера каждой пометки кратко и ясно излагается содержание замечаний и предложений нормоконтролера. В организациях, где установлена система кодирования замечаний нормоконтролера, взамен изложения содержания замечаний проставляется соответствующий код по классификатору».

Стандартная форма «перечня замечаний» с примерами заполнения в виде предложений (а не замечаний), заимствованная из справочного приложения ГОСТ 2.111, представлена в табл. 4.1. Если на предприятии имеется перечень (классификатор) типовых замечаний нормоконтролера, то типовые замечания кодируются номерами. Это не только дисциплинирует эксперта, но и сокращает объем механической работы в процессе экспертизы. Таблицы с кодовыми номерами типовых замечаний доступны разработчику, поскольку он должен принимать меры по устранению отмеченных экспертом недостатков.

Таблица 4.1

Стандартная форма перечня замечаний

Перечень замечаний нормоконтролера по _____ (наименование и обозначение изделия)			
Обозначение документа	Документ (оригинал – О, подлинник – П)	Условная пометка	Содержание замечаний (или цифровой код по классификатору*)
	О	①	Специальный винт заменить стандартным по ГОСТ
	П	①	Специальный допуск заменить на Е8
		②	Конусность заменить на нормальную по ГОСТ...
		③	Размер «под ключ» выполнить по ГОСТ...
	О	①	Оригинальное исполнение червяка заменить типовым по ограничительной номенклатуре наличных червячных фрез
*Для организаций, где принята система цифрового кодирования замечаний нормоконтролера			
Дата _____ Нормоконтролер _____ (личная подпись) (расшифровка подписи)			

В стандарте также сказано, что «комплект всех перечней замечаний и предложений нормоконтролера по проекту служит исходным материалом для оценки качества выполнения проекта». Именно «комплекты перечней замечаний» служат исходным материалом

для составления таблиц кодировки типовых замечаний. Кодирование типовых замечаний, с одной стороны, свидетельствует о проведении службой стандартизации определенной аналитической работы, но с другой, – о наличии повторяющихся ошибок разработчиков, о пробелах в их профессиональных знаниях. Для устранения таких недостатков необходимо проводить семинары, техническое обучение или использовать иные формы повышения квалификации разработчиков. Однотипные ошибки могут допускать начинающие разработчики, например молодые специалисты, поэтому на них следует ориентироваться при разработке кодовых таблиц типовых замечаний.

Характерными причинами типовых ошибок опытных разработчиков может быть внесение изменений в стандарты или появление новых нормативных документов, существенно отличающихся от ранее действовавших. На сегодняшнем этапе могут сравнительно часто встречаться ошибки в обозначениях шероховатости поверхностей и общих допусков. Для профилактики ошибок, связанных с пересмотром стандартов, полезно заранее предусмотреть повышение квалификации разработчиков в любой удобной форме.

## **5. НЕКОНТРОЛЕПРИГОДНОСТЬ ТРЕБОВАНИЙ. ВОЗМОЖНЫЕ ПРИЧИНЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИХ УСТРАНЕНИЮ**

Одной из главных задач метрологической и стандартизационной экспертиз любого объекта является подтверждение контролепригодности требований к его параметрам и характеристикам или доказательство их неконтролепригодности. При функциональном нормоконтроле (стандартизационной экспертизе объекта) следует проверять исполнимость и контролепригодность любых требований, включая характеристики, выраженные нефизическими величинами, а при метрологической экспертизе рассматривают требования к параметрам объекта, представленным физическими величинами.

Неконтролепригодность требования, установленного нормативной или другой технической документацией, может быть обусловлена недостатком изложенной в документе информации, неудачной формулировкой или некорректной постановкой задачи контроля. Так, неконтролепригодными следует признать требования типа «Острые кромки притупить» (непонятно, какие кромки следует считать острыми и насколько их следует «притупить»), а также требование «Крышку надежно закрепить», поскольку нет критериев для определения надежности закрепления).

Примером неконтролепригодного требования является одно из положений ГОСТ 26433 «Система обеспечения точности геометрических параметров в строительстве. Правила выполнения измерений. Общие положения». В п. 5.4 стандарта записано: «При выборе методов и средств измерений следует учитывать необходимость обеспечения минимальных затрат на выполнение измерений и их обработку и наиболее полного исключения систематических погрешностей». Непонятно, какое исключение систематических погрешностей можно считать «наиболее полным», кроме того, исключение потребует тем больших дополнительных затрат, чем полнее оно реализуется. Неконкретна формулировка «учитывать необходимость обеспечения минимальных затрат», поскольку неизвестно, как учитывать эту необходимость, и невозможно проверить, являются ли затраты минимальными.

Кроме того, одновременная минимизация затрат на выполнение измерений и их обработку могут войти в противоречие: так, при контроле погрешностей формы и расположения поверхностей усложнение МВИ часто не избавляет от сложной обработки результатов.

Неудачно изложен п. 5.6.1 в ГОСТ 7.32 «Межгосударственный стандарт. Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Отчет о научно-исследовательской работе. Структура и правила оформления». В нем сказано, что «структурный элемент «Определения» содержит определения, необходимые для уточнения или установления терминов, используемых в НИР». Отчет не может содержать определения, «для уточнения или установления» всех использованных в отчете терминов, к тому же нет механизма, позволяющего отличить «необходимые» определения от остальных.

Любой подлежащий исполнению документ должен содержать только контролепригодные требования. Это в одинаковой мере относится к требованиям, проверяемым экспертными и аппаратурными методами. Для того чтобы требование было контролепригодным, его формулировка должна обеспечивать однозначное истолкование и содержать в явном или опосредованном виде критерии проверки (если эти критерии не являются общепринятыми в данной конкретной области). Требования к параметрам, которые являются физическими величинами, эксперт-метролог может считать корректно сформулированными только в том случае, если они содержат однозначно установленные ограничения (например, два предельных значения параметра или его номинальное значение с предельными отклонениями). Такие требования позволяют корректно поставить задачу измерительного контроля и оценить правильность предложенного решения этой задачи.

Контролепригодность непараметрических требований оценивают в ходе стандартизационной экспертизы, при этом могут понадобиться элементы квалиметрии. Без достаточных знаний в области экспертного оценивания свойств объекта установить контролепригодность/неконтролепригодность непараметрических требований в ряде случаев невозможно, и стандартизационная экспертиза остается неоконченной.

## 5.1. Причины неконтролепригодности параметров и пути их устранения

Контролепригодность параметров объекта (свойств, выраженных физическими величинами) устанавливаются в ходе метрологической экспертизы. Такие параметры контролируют с применением средств измерений (применяют измерительный контроль). В случае обнаружения неконтролепригодности параметра эксперт может наметить и предложить метод устранения этого недостатка.

Неконтролепригодность параметра может быть следствием завышенных требований к его точности или его инструментальной недоступности из-за особенностей конструкции объекта – носителя измеряемой физической величины. Обе причины могут иметь условный либо безусловный характер. Так, невозможно обеспечить требуемую точность измерения, если заданная точность параметра конкурирует с точностью первичного эталона. Во всех остальных случаях требуемый уровень точности измерений формально может быть обеспечен. Однако встречаются ситуации, когда требуемую точность измерения не удается обеспечить из-за «шума», искажающего или полностью перекрывающего полезный сигнал измерительной информации. Такие ситуации характерны для параметров слаботочной электроники, для геометрических (линейных и угловых) размеров. В частности, неконтролепригодность геометрических параметров может возникать из-за некорректно выбранных баз, неправильных соотношений между допусками размеров, формы и расположения поверхностей, соизмеримости норм точности параметров микро- и макрогеометрии поверхностей и т. д.

Условная инструментальная недоступность параметра может быть связана с особенностями конструкции конкретного изделия (нет доступа чувствительных элементов к месту «съема» сигнала измерительной информации, нет возможности должным образом установить чувствительные элементы средства измерений из-за ограниченного пространства). Например: измерительные наконечники не входят в узкую канавку детали, электрический щуп нельзя подвести к изолированному участку цепи, контактные площадки соединены несколькими параллельными участками электрической цепи и т. д. В подобных случаях можно предложить несколько путей обеспечения контролепригодности:

- модернизация средств измерений, и в частности – чувствительных элементов (например, уменьшение размеров измерительных наконечников, применение бесконтактных средств измерений температуры или длины), или проектирование специальных средств измерений;

- «открытие параметра», например, путем частичной разборки изделия, выпаивания элементов электрической цепи и др.;

- переход к косвенному контролю (вместо параметра контролируется техпроцесс, технологический инструмент или оценка параметра осуществляется по качеству функционирования готового сложного изделия, сборочной единицы, детали).

Полная инструментальная недоступность параметра может быть обусловлена неразъемностью конструкции изделия, в которое «не заложены» чувствительные элементы. Например, нельзя проконтролировать давление в герметично закрытой полости, геометрические и электрические параметры элементов, залитых компаундом электронных схем изделий, и т. п.

Неконтролепригодность из-за инструментальной недоступности параметра в некоторых случаях можно устранить изменением конструкции изделия либо созданием новых средств измерений. При безусловной инструментальной недоступности параметра можно предложить переход к косвенному контролю или использование так называемых «методов неразрушающего контроля», позволяющих «проникать вглубь» конструкции без вскрытия поверхности (например, «рентгеновское просвечивание»). В случае серийного и массового производства можно также использовать методы выборочного (статистического) разрушающего контроля.

При контроле изделий машиностроения и приборостроения большинство из всей номенклатуры измерений составляют линейно-угловые измерения параметров деталей и сборочных единиц. Одной из возможных групп причин, приводящих к неконтролепригодности геометрических параметров, является «шум». Например, невозможно установить точное значение координаты оси номинально цилиндрического отверстия, если его неправильная форма приводит к возможной материализации нескольких не совпадающих друг с другом «осей». В таких ситуациях за оси аппроксимирующих поверхностей можно принимать ось вписанного цилиндра, ось описанного цилиндра, ось среднего цилиндра или другие. При

построении каждой из принятых аппроксимирующих поверхностей по ограниченному числу контрольных точек возникают дополнительные расхождения в разных реализациях. Из сказанного ясно, что для оценивания контролепригодности геометрических параметров изделий следует более подробно рассмотреть соотношения между нормами точности их геометрических параметров.

## 5.2. Соотношения между допусками размеров, формы и расположения поверхностей

Допуски размеров практически полностью определяют точность формы и расположения поверхностей. Поскольку «разнотолщинность» призматической детали ограничена размерами  $h_{\min}$  и  $h_{\max}$  (рис. 5.1), очевидно, что форма и расположение противоположных граней годной детали ограничиваются полем допуска размера. При этом несущественно, обусловлено непостоянство размера отклонением граней от параллельности  $E_{\text{расп}}$  (рис. 5.1, а) или отклонением грани  $E_{\text{ф}}$  (граней) от плоскостности (рис. 5.1, б), или наличием комплекса отклонений формы и расположения рассматриваемых поверхностей.

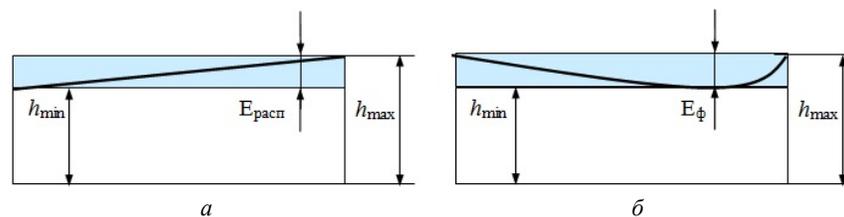


Рис. 5.1. Взаимосвязь допуска размера с отклонениями расположения и формы: а – отклонения расположения (отклонения от параллельности); б – отклонения формы (отклонения от прямолинейности, плоскостности)

В практике машиностроения и приборостроения встречаются ситуации, когда ограничения отклонений формы и расположения поверхностей, определяемые допусками размеров, оказываются слишком грубыми для обеспечения нормального функционирования деталей. В таких случаях на форму и (или) расположение поверхностей накладываются более жесткие ограничения в виде специально организованных полей допусков. Допуски формы и распо-

ложения поверхностей появились значительно позднее, чем допуски размеров, причем значения этих допусков, как правило, составляют определенную часть от допуска размера, регламентирующего те же отклонения (уровни относительной геометрической точности *A*, *B* и *C*).

Примеры случаев, в которых дополнительно к допускам размеров нормируют допуски формы и (или) расположения поверхностей:

- натяжные ролики ременных передач (точность размеров имеет не столь существенное значение, как круглость рабочей поверхности и ее соосность базовой поверхности);
- накладные призматические направляющие (важна не точность размеров, а прямолинейность рабочих поверхностей);
- колонки измерительных стоек и штативов, которые обеспечивают перемещение и фиксацию кронштейнов с измерительными головками (ось направляющей поверхности должна быть прямолинейной, а для колонок с двумя ступеньками, одна из которых запрессовывается в основание, важным параметром является также параллельность осей посадочной и направляющей поверхностей);
- поверочные плиты, для которых точные размеры практически не нужны, но необходимы очень жесткие требования к плоскостности рабочих поверхностей;
- кронштейны, крышки и другие детали с привалочными плоскостями (при относительно грубых допусках размеров необходимы жесткие допуски плоскостности, параллельности, перпендикулярности функционально важных элементов).

Между допусками макрогеометрии существуют очевидные и неявные связи. Очевидно, что допуск высоты призматической детали ограничивает отклонения от параллельности верхней и нижней граней и их отклонения от плоскостности (рис. 5.1). Кроме того, он лимитирует отклонения от прямолинейности любых профилей этих поверхностей (в произвольных направлениях). Допуск диаметра цилиндрической детали ограничивает отклонения от круглости и отклонения профиля продольного сечения поверхности, которые не могут быть больше допуска ее цилиндричности.

В нормативном документе РТМ 2 НЗ1-4-81, определяющем взаимосвязи между допусками, приводят перечень допусков, «ограничиваемых допусками на размеры», и допусков, «не ограничиваемых полями допусков размеров». Такой подход принципиально неверен,

поскольку допуски размеров ограничивают любые отклонения формы и расположения поверхностей. Подтверждение можно найти в ретроспективе разработки систем допусков и посадок. В период нормирования сравнительно низких требований к точности деталей вовсе обходились без допусков формы и расположения поверхностей. Первые ограничения появились в виде предельно допустимых отклонений формы и расположения поверхностей, затем стали нормировать допуски формы и расположения поверхностей, числовые значения которых стали увязывать с допусками размеров через так называемые уровни относительной геометрической точности «нормальный», «повышенный» и «высокий» (*A*, *B* и *C*).

«Независимость» некоторых допусков формы и расположения поверхностей от допусков размеров обосновывают некорректными выводами, ошибочность которых легко обнаруживается. Например, «независимость» допусков перпендикулярности граней призматической детали от допусков размеров «подтверждают» невозможностью выявления отклонений от перпендикулярности при контроле параметров детали накладными приборами, однако отсутствие информации – не доказательство. Недостаток таких измерений заключается в использовании двух не связанных друг с другом линейных однокоординатных систем. Недоразумение устраняется при измерительном контроле в фиксированной двухкоординатной системе, где связь между размерами и расположением становится явной.

Положение о «независимости» следует рассматривать как некорректное, поскольку любые отклонения формы и расположения поверхностей фактически ограничены полями допусков размеров. Причинами кажущегося отсутствия связей могут быть либо их неочевидность, либо недостаточная строгость методик выполнения измерений. В частности, не столь очевидны связи между нормированной точностью размеров и отклонениями от перпендикулярности, соосности, пересечения осей, симметричности, а также радиального и торцового биений.

Для проявления связей следует анализировать номинальные значения функционально важных размеров. Например, по умолчанию угловой размер между номинально перпендикулярными элементами равен  $90^\circ$ ; номинальный линейный размер между осями двух номинально соосных поверхностей равен нулю; нулю равны

также номинальные размеры между пересекающимися осями в точке их пересечения, размеры между осями или плоскостями симметрии номинально симметричных элементов. Торцовое биение (даже если допуск биения непосредственно не задан) всегда ограничено допусками соответствующих продольных размеров вала или втулки.

Приведенные примеры показывают, что при анализе связи допусков макрогеометрии поверхностей особое внимание следует обращать на номинально нулевые размеры и на возможности координатного контроля геометрических параметров в фиксированной системе координат. При экспертизе согласованности допусков макрогеометрии между собой можно воспользоваться приведенными ниже зависимостями, которые выведены специально для анализа контролепригодности геометрических параметров и обеспечения этой контролепригодности.

Для определения соотношений между нормами точности параметров введем понятие «лимитирующий допуск». Лимитирующим будем называть допуск макрогеометрии, который ограничивает возможности увеличения других связанных с ним допусков и (или) высотных параметров шероховатости поверхностей. При наличии нескольких взаимоувязанных допусков лимитирующим является тот, который накладывает самые жесткие ограничения на остальные допуски макрогеометрии или на высотные параметры шероховатости поверхностей.

Соотношения между частными и интегральными допусками формы можно рассмотреть на примерах допусков формы номинально плоских и номинально цилиндрических поверхностей. Очевидно, что допуск прямолинейности номинально плоской поверхности  $T_{пр}$  (частный допуск) не может быть больше, чем лимитирующий его интегральный допуск плоскостности  $T_{пл}$  той же поверхности:

$$T_{пр} \leq T_{пл}.$$

Допуски круглости  $T_{кр}$  и профиля продольного сечения  $T_{пс}$  номинально цилиндрической поверхности (частные допуски) не могут быть больше, чем лимитирующий интегральный допуск цилиндричности  $T_{цил}$  той же поверхности:

$$T_{кр} \leq T_{цил} \text{ и } T_{пс} \leq T_{цил}.$$

Для вывода соотношений между допусками формы и лимитирующими допусками расположения, необходимо учитывать наличие следующих связей:

- допуски прямолинейности и плоскостности номинально плоских элементов ограничиваются любыми допусками расположения этих поверхностей (допусками параллельности, перпендикулярности, наклона и симметричности номинально плоских элементов деталей);
- допуски круглости, профиля продольного сечения и цилиндричности номинально цилиндрических элементов ограничиваются всеми допусками расположения этих элементов (допусками соосности, пересечения осей, позиционными, допусками симметричности номинально цилиндрических элементов деталей, а также допусками параллельности, перпендикулярности и наклона осей номинально цилиндрических элементов по отношению к базовым осям или плоскостям);
- допуски прямолинейности осей номинально цилиндрических элементов ограничиваются всеми допусками расположения этих элементов;
- допуски профиля поперечного сечения (круглости) и допуски прямолинейности осей номинально нецилиндрических элементов, являющихся поверхностями вращения (таких, как конусы, параболоиды, резьбовые поверхности) ограничиваются всеми допусками расположения этих элементов.

Для любого из этих случаев можно предложить общее соотношение допусков формы  $T_F$  и лимитирующего допуска расположения  $T_W$ . Если лимитирующий допуск ограничивает отклонения формы двух поверхностей или двух противоположных элементов одной поверхности, то

$$T_F \leq (k T_W) / 2,$$

где  $k$  – коэффициент использования лимитирующего допуска, значение которого рекомендуется принимать в пределах от 0,2 до 0,6.

Коэффициент использования лимитирующего допуска  $k$  вводится для того, чтобы оставить некоторую гарантированную часть этого допуска, не занятую отклонениями формы, на отклонения собственно расположения и размера. Поскольку «независимость» допусков формы, расположения и размеров весьма условна, ограничения

значений отклонений формы вызваны тем, что фактически они будут комплексироваться с отклонениями собственно расположения и отклонениями размера.

Аналогами являются уровни относительной геометрической точности  $A$ ,  $B$  и  $C$ , введенные в стандартах допусков формы и расположения поверхностей, где предлагается использовать на допуски формы или расположения от 12 до 60 % допуска размера.

Рекомендации к выбору допусков формы как доли лимитирующих их допусков расположения представлены в табл. 5.1.

Определенные особенности встречаются при нормировании допусков параллельности, перпендикулярности и наклона осей (для элементов типа тел вращения) относительно номинально плоских базовых элементов деталей. Поле допуска в этом случае представляет собой цилиндрическое пространство, и допуски могут быть представлены в радиусном или в диаметральной выражении.

Для обоснования рекомендуемых соотношений допусков формы с лимитирующими их интегральными допусками формы и расположения (допусками биений) следует корректно определить, какие допуски входят в состав этих интегральных допусков.

Таблица 5.1

Соотношения допусков формы  $T_F$  и лимитирующих допусков расположения  $T_W$ 

Вид назначаемого допуска формы	Виды лимитирующих допусков расположения	Рекомендуемое соотношение между $T_F$ и $T_W$	Примечания
		$T_F \leq (k T_W) / 2$	$T_F$ – допуски прямолинейности номинально плоских рассматриваемых и базовых элементов
			$T_F$ – допуски плоскостности номинально плоских рассматриваемых и базовых элементов

Вид назначаемого допуска формы	Виды лимитирующих допусков расположения	Рекомендуемое соотношение между $T_F$ и $T_W$	Примечания
		$T_F \leq (k T_W) / 2$	$T_F$ – допуски прямолинейности «оси симметрии» элементов типа тел вращения (значение в диаметральной выражении)
			$T_F$ – допуски плоскостности «плоскости симметрии» призматических элементов
			$T_F$ – допуски круглости элементов типа тел вращения, а также все допуски формы номинально цилиндрических элементов (значение в диаметральной выражении)

Рекомендуемые соотношения определяют на основе взаимосвязи реальных отклонений расположения и формы поверхностей:

- радиальное биение включает в себя отклонения от соосности и отклонения от круглости в каждом из сечений;

- полное радиальное биение включает в себя отклонения от соосности и отклонения от цилиндричности;
- торцовое биение включает в себя отклонения от перпендикулярности и отклонения от плоскостности кольцевой зоны исчезающе малой ширины;
- полное торцовое биение включает в себя отклонения от перпендикулярности и отклонения от плоскостности всей торцовой поверхности.

Рекомендации соотношений допусков формы с лимитирующими их интегральными допусками формы и расположения представлены в табл. 5.2.

Таблица 5.2

Соотношения допусков формы  $T_F$ , допусков расположения  $T_W$  и лимитирующих суммарных допусков формы и расположения  $T_W (T_{lim})$

Вид назначаемого допуска	Виды лимитирующих допусков $T_{lim}$	Рекомендуемое соотношение между $T_{F, W}$ и $T_{lim}$	Примечания
		$T_{F, W} \leq (k T_{lim}) / 2$	Лимитирующие допуски $T_{lim}$ – допуски радиального биения и полного радиального биения
			Лимитирующие допуски $T_{lim}$ – допуски радиального биения и полного радиального биения
			Лимитирующие допуски $T_{lim}$ – допуски торцового биения и полного торцового биения
			Лимитирующие допуски $T_{lim}$ – допуски торцового биения и полного торцового биения

Примечание. Расчетные зависимости приведены в таблице для допусков в диаметральном выражении, поскольку они распространяются на поле допуска в целом.

В случае если допуски расположения специально не нормируются, лимитирующим допуском является допуск размера. Значит, допуски формы (и высотные параметры шероховатости поверхностей), ограничиваемые лимитирующим допуском размера, также должны «укладываться» в лимитирующий допуск с некоторым запасом. Для допусков расположения лимитирующими допусками всегда являются допуски соответствующих размеров.

Соотношения допусков формы или расположения ( $T_F, T_W$ ) и лимитирующих допусков линейных или угловых размеров  $IT, AT$  представлены в табл. 5.3, из данных которой понятно, что при ограничении угловых размеров допусками углов в качестве лимитирующего допуска принимается значение допуска угла в линейном выражении  $AT_h$ .

В дополнение к рекомендациям, представленным в табл. 5.3, следует учитывать, что если разработчик решил дополнительно назначить допуски формы  $T_F$  базовых и рассматриваемых элементов после назначения допусков их расположения  $T_W$ , это необходимо делать в соответствии с фактически введенным новым требованием к точности  $T_{lim} = T_W$ .

Таблица 5.3

Соотношения допусков формы или расположения ( $T_F, T_W$ ) и лимитирующих допусков линейных или угловых размеров  $IT, AT$

Вид назначаемого допуска	Лимитирующие допуски размеров линейных ( $IT$ ) или угловых ( $AT$ )	Рекомендуемое соотношение между $T_F$ и $IT, AT$	Примечания
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>
	$IT$ $AT$	$T_F \leq (k IT) / 2$ ; $T_F \leq (k AT_h) / 2$	$T_F$ – допуски формы номинально плоских рассматриваемых и базовых элементов
	$IT_d, IT_D$	$T_F \leq (k IT) / 2$ ;	$T_F$ – все допуски формы номинально цилиндрических элементов и круглости элементов типа тел вращения (в диаметральном выражении)

1	2	3	4
	$IT_l, IT_L$ или $IT_{l1}, IT_{l2}; IT_{L1}, IT_{L2}$	$T_W \leq k (IT_1 + IT_2) / 2$	$IT_l, IT_L$ – допуски одинаковых по длине охватываемых и охватывающих элементов, $IT_{l1}, IT_{l2}, IT_{L1}, IT_{L2}$ – допуски различающихся по длине элементов (в этом случае лимитирующим является самый жесткий допуск $IT$ )
	$IT_{l1}, IT_{l2}; IT_{L1}, IT_{L2}$ или $AT$	$T_W \leq k (IT_1 + IT_2) / 2$ $T_W \leq k AT_h$	Лимитирующим является допуск угла ( $AT_h$ ), либо «комплексный» допуск линейных размеров, ограничивающих элементы угла ( $IT_1 + IT_2$ )
	$IT_{l1}, IT_{l2}; IT_{L1}, IT_{L2}$ или $AT$	$T_W \leq k (IT_1 + IT_2) / 2$ $T_W \leq k AT_h$	Как и в предыдущем случае лимитирующим является допуск угла в линейной мере ( $AT_h$ ), либо «комплексный» допуск линейных размеров, ограничивающих элементы угла ( $IT_1 + IT_2$ )
	$IT_{d1}, IT_{d2}; IT_{D1}, IT_{D2}$	$T_W \leq k (IT_{D(d)} + IT_{D(d)2}) / 2$	Лимитирующими являются допуски размеров рассматриваемых элементов ( $IT_{d1}, IT_{d2}; IT_{D1}, IT_{D2}$ )
	$IT_{l1}, IT_{l2}$ и $IT_d, IT_D$	$T_W \leq k \{ (IT_1 + IT_2) + (IT_{D(d)}) \} / 2$ $T_W \leq k (AT_h + IT_{D(d)}) / 2$	Лимитирующими являются допуски координирующих размеров ( $IT_{l1}, IT_{l2}$ ) и допуски размеров рассматриваемых элементов ( $IT_d, IT_D$ )

1	2	3	4
	$IT_{l1}, IT_{l2}$ и $IT_{l3}, IT_{l4}; IT_{D1}, IT_{D2};$ или $AT$	$T_W \leq k \{ (IT_1 + IT_2 + IT_3 + IT_4) + (IT_{D1} + IT_{D2}) \} / 2$ $T_W \leq k \{ AT_h + (IT_{D1} + IT_{D2}) \} / 2$	Лимитирующим является допуск угла ( $AT_h$ ), либо «комплексный» допуск линейных размеров, ограничивающих угловые координаты осей ( $IT_1, IT_2, IT_3, IT_4$ ) и диаметральные размеры его элементов ( $IT_{D1}, IT_{D2}$ )
	$IT_k, IT_{l1}$ и $IT_{l2}$	$T_W \leq k (IT_k + IT_1 + IT_2) / 2$	Лимитирующими являются допуск координирующего размера ( $IT_k$ ) и размеров рассматриваемых элементов ( $IT_{l1}, IT_{l2}$ )

Включенные в табл. 5.1–5.3 рекомендации могут быть полезны при разработке конструкторской документации. Их можно использовать при проведении метрологической экспертизы объектов на базе конструкторской и технологической документации, а также при разработке методик выполнения измерений геометрических параметров. Предварительная разработка методик выполнения измерений геометрических параметров фактически является составной частью метрологической экспертизы объектов, поскольку для оценивания контролепригодности параметров следует проверить возможность обеспечения требуемой точности измерительного контроля.

Примеры экспертизы согласованности некоторых из рассматриваемых допусков макрогеометрии:

1. Допуск параллельности двух номинально плоских граней призматической детали  $T_{\text{расп}}$  (рис. 5.2) является лимитирующим допуском для отклонений от прямолинейности и плоскостности этих граней.

Из допусков (рис. 5.2) следует, что обязательно должно соблюдаться условие:

$$T_{\phi} \leq T_{\text{расп}} / 2,$$

поскольку при значениях отклонений формы, близких к этим значениям, отклонения от параллельности прилегающих плоскостей практически равны  $h_{\max} - h_{\min}$ , что является предельным случаем, вне зависимости от того, нормирован ли допуск параллельности или только допуск размера между номинально плоскими и параллельными гранями.

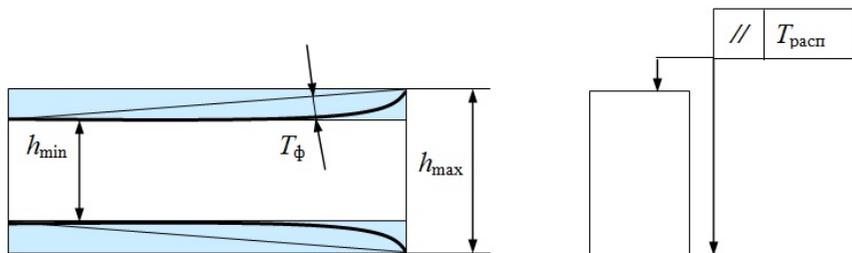


Рис. 5.2. Соотношение между допусками формы (прямолинейности, плоскостности) и допусками расположения (параллельности) и допуском размера

Реальное соотношение, как было показано выше, следует принимать с учетом коэффициента использования лимитирующего допуска  $k$ :

$$T_F \leq (k T_W) / 2 .$$

2. Допуск соосности двух номинально цилиндрических элементов вала (рис. 5.3) является лимитирующим по отношению к допускам круглости, профиля продольного сечения и цилиндричности, которые фактически не могут быть больше него. На рис. 5.3, а видно, что предельные контуры двух ступеней вала, заданные допусками размеров и соосности, ограничивают любые отклонения расположения и формы ступеней в продольном сечении (реальный профиль годной детали должен вписываться в тонированные поля допусков). При этом допуски формы и соосности фактически являются функционально зависимыми допусками, поскольку при максимальном отклонении от соосности (рис. 5.3, б) любые отклонения формы становятся недопустимыми (поля допусков по краям профилей могут «сжаться» до нулевой ширины). При максимальных размерах обеих ступеней вала (рис. 5.3, в) их допустимые отклонения формы и отклонение от соосности не могут быть больше нуля (поля допусков формы профиля и соосности имеют нулевую ширину).

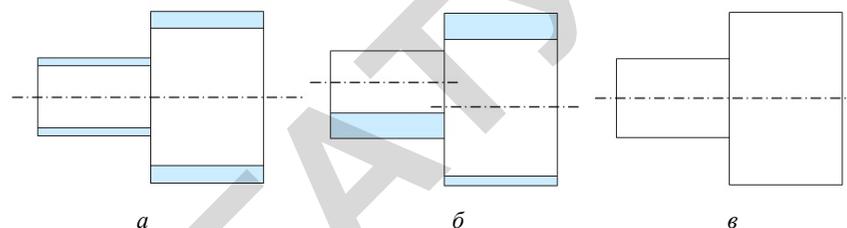


Рис. 5.3 Соотношение между допусками формы (профиля продольного сечения, цилиндричности) и отклонениями расположения (соосности) и допуском размеров

Несмотря на то, что на рис. 5.3 графически представлены только продольные сечения вала, проведенный анализ легко экстраполировать на поперечные сечения номинально цилиндрических ступеней.

Соосность внутренних номинально цилиндрических поверхностей типа отверстий в корпусных деталях и др. отличается только тем, что положение осей отверстий вместо номинально нулевых координат определяют координатами с отличными от нуля значениями, допуски которых тоже нормированы.

При нормировании допусков пересечения осей (как и в случаях с допусками соосности отверстий) номинальные размеры между элементами равны нулю, а их фактические значения регламентированы допусками координирующих размеров, определяющих положение осей. Конкретное решение этой и остальных возможных задач оценки соотношений между допусками формы и лимитирующими допусками расположения после приведенного анализа не представляет особых трудностей и потому не рассматривается.

### 5.3. Соотношения между допусками макрогеометрии и высотными параметрами шероховатости поверхностей

Связь между допусками макрогеометрии и высотными параметрами шероховатости поверхностей формально отсутствует, поскольку в стандарте ГОСТ 24642 сказано, что шероховатость не входит в погрешности формы. Разные системы отсчета отклонений (от прилегающих элементов для формы поверхностей и от среднего профиля для высотных параметров шероховатости) как будто подтверждают такой подход. Однако в том же стандарте отмечено, что при высотных параметрах шероховатости, соизмеримых с отклонениями

формы, их необходимо учитывать. Если расстояния между впадинами и выступами микрорельефа при неудачном нормировании окажутся большими, чем значения допусков формы, то при контроле отклонений формы и (или) расположения поверхностей могут быть забракованы годные по макрогеометрии детали, из-за чего возникает неоднозначная ситуация. Для повышения определенности принимаемых решений о годности по макрогеометрии высотные параметры шероховатости следует ограничить, увязав их с лимитирующими допусками макрогеометрии поверхностей. Под лимитирующим допуском тут понимается наименьший по значению допуск макрогеометрии, который фактически ограничивает высотные параметры шероховатости.

Максимальные значения высотных параметров шероховатости, ограничиваемые такими лимитирующими допусками макрогеометрии, как допуск размера, расположения или формы, должны быть меньше лимитирующего допуска в 1,5–3 раза. Лимитирующий допуск, как правило, ограничивает шероховатость двух противоположных поверхностей или двух противоположных элементов одной поверхности, с высотными параметрами которых дополнительно будут комплексироваться отклонения формы, расположения и размера. Если лимитирующим является допуск формы номинально цилиндрической поверхности, представленное количественное соотношение сохраняется. Как исключение можно рассматривать ситуацию, когда шероховатость однократно накладывается на реальные отклонения формы и (или) расположения, а параметры шероховатости могут превышать половину лимитирующего допуска (например, если лимитирующими высотные параметры шероховатости являются допуски формы плоской поверхности, торцового или полного торцового биения).

Исходя из предложенного основополагающего правила, следует критично подходить к рекомендациям, представленным в РТМ 2 НЗ1-4–81, где соотношения между высотными параметрами шероховатости и допусками размера, формы или расположения поверхностей представлены обезличенно. В этом документе «условия» для назначения параметров  $Ra$  и  $Rz$  оговорены, исходя из допусков размеров и относительной геометрической точности допусков формы или расположения поверхностей. В результате при назначении высотных параметров шероховатости по данным рекомендациям можно ошибиться в два раза из-за неоднозначного соотношения допуска размера и уровней относительной точности  $A$ ,

$B$ ,  $C$  (соотношения 60, 40 и 25 % или 30, 20 и 12 %). Нормы, приведенные в документе, и фактические соотношения, заданные этими нормами, представлены в табл. 5.4.

Анализ взятых из документа РТМ 2 НЗ1-4–81 данных подтверждает принятый в нем неудачный подход к нормированию. Для нормальной, повышенной и высокой относительной геометрической точности допусков формы или расположения заданы соотношения между допуском размера и параметрами шероховатости. Очевидное неудобство выбранного подхода в том, что он скрывает реальные соотношения между высотными параметрами шероховатости и лимитирующим допуском. Следствие принятого подхода – неоправданное разнообразие не представленных в документе в явном виде фактических множителей в соотношениях.

Формальное повышение требований якобы вдвое на каждой более высокой ступени (табл. 5.4, колонки 2 и 3) фактически приводит к ужесточению высотных параметров только на 37,5 % на всем диапазоне, что видно из данных в колонках 4 и 5.

Таблица 5.4

Рекомендуемые РТМ 2 НЗ1-4–81 соотношения высотных параметров шероховатости и допусков макрогеометрии поверхностей

Уровни относительной геометрической точности допусков формы или расположения	Соотношения высотных параметров шероховатости поверхностей и допусков макрогеометрии, не более				Примечание
	$Ra$	$Rz$	$Ra$	$Rz$	
A (нормальная)	0,050 IT	0,20 IT	0,08 $T_{lim}$	0,33 $T_{lim}$	–
B (повышенная)	0,025 IT	0,10 IT	0,06 $T_{lim}$	0,25 $T_{lim}$	–
C (высокая)	0,012 IT	0,05 IT	0,05 $T_{lim}$	0,20 $T_{lim}$	–
Особо высокая	–	–	0,15 $T_{lim}$	0,60 $T_{lim}$	Выше уровня C
Без указания уровня	–	–	0,10 $T_{lim}$	0,40 $T_{lim}$	При заданных допусках биения

Примечания: 1. IT – допуск размера;  $T_{lim}$  – лимитирующий допуск формы или расположения. 2. Выделенные двойной рамкой соотношения в РТМ 2 НЗ1-4–81 не представлены.

Так как повышение требований к параметрам шероховатости в два раза фактически приводит к их ужесточению всего на 25 % при переходе от уровня *A* к уровню *B*, или на 16,7 % при переходе от уровня *B* к уровню *C*, можно утверждать, что принятая в данном документе методика нормирования высотных параметров шероховатости является неоправданно усложненной и приводит к избыточному разнообразию рекомендуемых для нормирования соотношений.

В качестве соотношений, приемлемых для нормирования высотных параметров шероховатости поверхностей по лимитирующим значениям допусков макрогеометрии, можно предложить: для тривиальных случаев

$$Ra \leq 0,10 T_{\text{lim}} \quad (5.1)$$

или, исходя из того, что для традиционных технологических процессов *Rz* примерно в 4 раза превышает *Ra*:

$$Rz \leq 0,40 T_{\text{lim}}, \quad (5.2)$$

а для случаев с особо жесткими лимитирующими допусками

$$Ra \leq 0,15 T_{\text{lim}}, \quad (5.3)$$

или

$$Rz \leq 0,60 T_{\text{lim}}. \quad (5.4)$$

Использование предложенных соотношений (5.1–5.4) существенно упрощает назначение высотных параметров шероховатости поверхностей и избавляет от решения частных задач в избыточно усложненной постановке.

Особым случаем выбора высотных параметров шероховатости поверхностей является нормирование параметров поверхностей, сопрягаемых с подшипниками качения. Рекомендации по выбору норм точности для этих поверхностей приведены в ГОСТ 3325. Эти рекомендации не вполне корректны как в отношении значений допусков формы и биений, так и в отношении значений *Ra*, которые не согласованы с лимитирующими допусками макрогеометрии (рекомендуемые стандартом значения *Ra* в ряде случаев превышают рациональные значения).

Предлагаемые значения допусков формы и биений не согласованы со значениями соответствующих допусков по ГОСТ 24643, который

нормирует числовые значения допусков формы и расположения поверхностей. Так, среди рекомендуемых допусков встречаются полученные на основе формальных расчетов значения (мкм): 0,7; 4,5; 7,5; 9,0; 11,0; 13,0; 15,0; 21,0; 39,0, которые не соответствуют стандартным значениям, приведенным в ГОСТ 24643.

Если в ходе метрологической экспертизы обнаружены неконтролепригодные параметры, появляется необходимость либо корректировки параметров объекта (его перепроектирования), либо разработки новых средств измерений или методик выполнения измерений. Функциональная метрологическая экспертиза обеспечивает возможность получить положительный результат проектирования объекта, если все его экспертируемые параметры стали контролепригодными.

## 6. МОДЕЛИРОВАНИЕ В МЕТРОЛОГИИ, ВИДЫ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ

### 6.1. Метрологические модели

Понятие «метрологическое моделирование» пока не нашло широкого применения в метрологии, несмотря на исключительно важную роль моделирования в измерениях и измерительном контроле. Прилож. А «Конечные цели измерений и рекомендации по выбору измеряемых величин» нормативного документа МИ 1317 содержит описание моделей объектов измерений:

«А.2 Для обоснованного планирования измерений и правильной интерпретации результатов и погрешности измерений на начальном этапе решения задачи измерений (например, при разработке МВИ) принимают определенную модель объекта измерений, достаточно адекватную (для решения данной технической задачи) свойствам объекта измерений. В качестве измеряемой величины выбирают такой параметр модели, который также наиболее близко соответствует данной цели измерений. Значение параметра модели, т. е. значение измеряемой величины, может быть выражено числом, функцией или функционалом. Это учитывают при разработке МВИ и при выборе средств измерений.

*Пример А.1* Объект измерений – вал. В соответствии с конечной задачей, решаемой путем измерений, и с априорной информацией о свойствах объекта в качестве модели вала принимают прямой круговой цилиндр. Параметр модели – измеряемая величина – диаметр окружности цилиндра в любом его поперечном сечении; его значение выражают числом.

*Пример А.2* Объект измерений – поршень грузопоршневого манометра. Цель измерений – определение эффективной площади поршня. В соответствии с априорной информацией о том, что поперечное сечение поршня может незначительно отличаться от круга, в качестве модели поршня принимают прямой цилиндр, поперечное сечение которого близко к кругу. Эффективную площадь поршня в некоторых случаях определяют по среднему диаметру его поперечного сечения. Соответственно цели измерений в качестве параметра модели – измеряемой величины – принимают средний

диаметр поперечного сечения поршня. Значение измеряемой величины в данном случае можно выразить, например, функционалом вида

$$1/6 \sum_{i=1}^6 d(a_i),$$

где  $d(a_i)$  – диаметр, имеющий угловую координату  $a_i = 30(i - 1)$ , т. е. функция аргумента  $a_i$ , в угловых градусах».

Анализ первого примера показывает, что предложена не «физическая модель объекта измерений», а идеализированная геометрическая модель номинально цилиндрической поверхности. Она не обеспечивает проектирования эффективной МВИ. Для второго примера не предложена даже такая модель, например, в виде прямого кругового цилиндра или прямого эллиптического цилиндра.

Очевидно, что проблема моделирования измеряемых объектов в данном документе только поставлена, но не рассмотрена во всей ее сложности. Представляется необходимым различать идеальную (в данных случаях геометрическую) модель и более близкую к реальному объекту модель, отличающуюся от нее некоторыми искажениями, которые вызваны возмущающими воздействиями. Особую роль играет формальная модель, необходимая для установления соответствия ей реального объекта. Могут понадобиться и другие модели.

Пока значение и возможности метрологического моделирования теоретически не раскрыты и, как правило, недостаточно используются в практике.

Для разработки методики выполнения измерений необходимо создать модели и объекта, и параметра (реализации той физической величины, которую требуется измерять). Для создания средства измерений необходимо использовать модели преобразования сигналов измерительной информации, а от них переходить к моделям измерительных преобразователей и приборов.

Любые измерения «физических величин», «объектов», «параметров объектов», если их рассматривать с позиций моделирования, сводятся к использованию результатов измерений для построения модели, которая адекватно (в рамках поставленной задачи) отражает интересующее свойство исследуемого объекта. Модель может отражать отдельную реализацию физической величины (параметр), их совокупность (комплекс параметров) или определен-

ным образом построенную систему физических величин (параметров), принадлежащих одному объекту (изделию, процессу). Модель объекта может создаваться на основании априорной информации, но, как правило, корректируется по результатам измерений. Процесс создания модели показан на рис. 6.1.

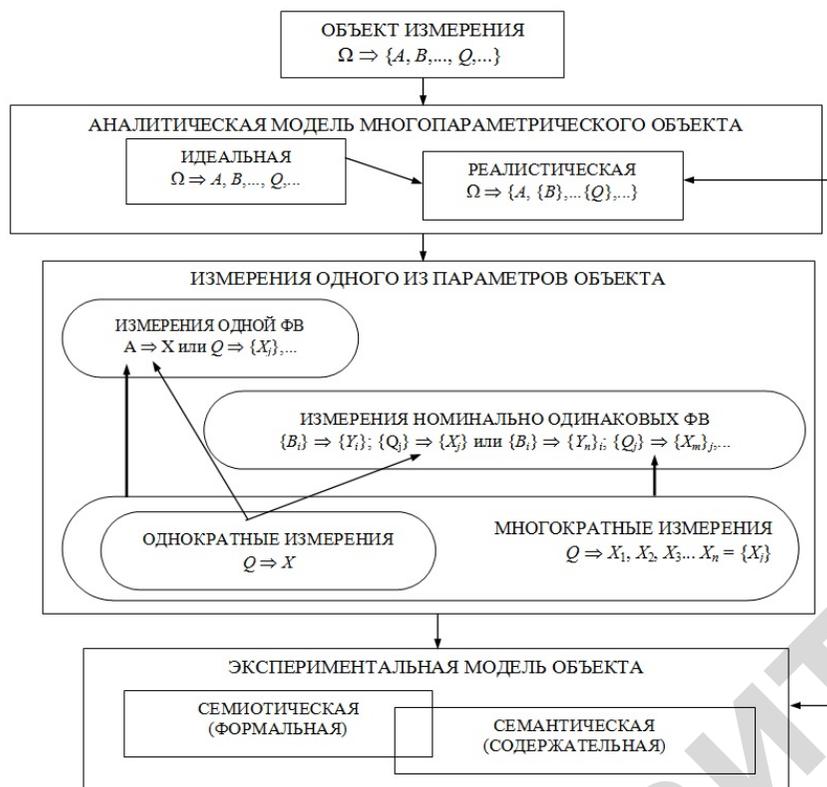


Рис. 6.1. Создание экспериментальной модели по результатам измерений параметров объекта

Построение модели объекта следует осуществлять на базе системного подхода, который предусматривает стратификацию систем как по уровням (макроскопический и микроскопический уровни), так и по «срезам» системы (морфологический, функциональный, информационный, процессуальный и прагматический). Хотя приведенные классы систем рассматривают как независимые, они не обладают полной обособленностью, их взаимосвязь и взаимовлияние

необходимо иметь в виду при составлении предназначенной для практического использования модели объекта. Структурные и функциональные свойства любой системы взаимно дополняют друг друга, поскольку без знания структуры сложной системы нельзя представить ее как целое, а с другой стороны, невозможно определить структуру системы без опоры на закономерности ее функционирования.

Когда модель (например, структурная схема) построена, необходимо проверить справедливость принятых при ее построении допущений как общих, так и конкретных. Как правило, для одной и той же системы можно предложить несколько конкурирующих моделей (схем). Какая из них будет лучше, зависит от множества факторов, определяющих соответствие (адекватность) предложенной модели и исследуемой системы.

Аспекты, в рамках которых может рассматриваться адекватность модели:

- цель (модель соответствует целям исследования);
- исходные данные (необходимая для использования в качестве исходных данных информация может быть получена в достаточном объеме с удовлетворительной точностью);
- полнота (модель включает все необходимые для исследования переменные, а также учитывает связи между переменными);
- управление (модель включает все необходимые регулируемые переменные и такие возможности их изменения, которые обеспечивают эффективное управление ходом исследования);
- результативность (исследование модели позволяет в приемлемые сроки получать решения, при переносе которых на реальную систему прогнозируемые эффекты воспроизводятся с достаточной точностью и представительностью).

Очевидно, что главным свойством модели является адекватность по результативности, и что она может быть обеспечена только при соблюдении всех предыдущих условий адекватности.

## 6.2. Модели объектов измерений

В метрологии фактически используют множество моделей объектов измерений, основными из которых можно считать *нормативную* модель объекта, *аналитические* модели (идеальную и реалистическую) и *экспериментальную* модель объекта.

Нормативная модель объекта создается в процессе проектирования и оформляется технической документацией (чертеж, техническое описание, технические условия и т. д.). Она содержит параметры объекта и предназначена для его создания. Эта же модель используется для контроля параметров созданного объекта (результатов или режимов технологических операций и (или) технологического процесса в целом). В соответствии с последним утверждением, метрологическая нормативная модель объекта полностью соответствует общей нормативной модели, а единственным ее отличительным признаком является функциональное назначение (ее применяют при контроле). Контроль объекта включает построение его экспериментальной модели и сопоставление ее с нормативной моделью для заключения о соответствии (годности).

Нормативная модель объекта представляет собой область существования годного объекта с допустимыми отклонениями параметров. Следовательно, нормативная модель объекта не совпадает с идеальной моделью, которая строится по однозначно определенным параметрам (например, номинальным). Так, в качестве идеальной модели шара можно рассматривать сферу определенного радиуса, идеальной моделью ролика или диска является прямой круговой цилиндр с фиксированными значениями диаметра и длины между торцами.

Цилиндрическую поверхность ролика можно представить нормативной моделью в виде пространства между двумя идеальными цилиндрическими поверхностями, в которое должна вписаться реальная поверхность. Цилиндры могут быть концентрическими либо расположенными друг относительно друга иным образом, а пространство между ними называют полем допуска диаметра.

Истолкование предельных размеров вала по Тейлору, принятое в международных и национальных стандартах, дает достаточно сложную нормативную модель: прилегающий к поверхности реального вала геометрически правильный цилиндр не должен превышать заданного (наибольшего предельного) размера, а толщина реальной поверхности вала в любом сечении не должна быть меньше второго заданного (наименьшего предельного) размера. Следовательно, нормативная модель наружной цилиндрической поверхности (рис. 6.2) включает в себя один цилиндр наибольшего предельного размера  $d_{\max}$  и бесконечное множество цилиндров

меньших размеров, фрагменты которых произвольным образом располагаются внутри большего цилиндра.

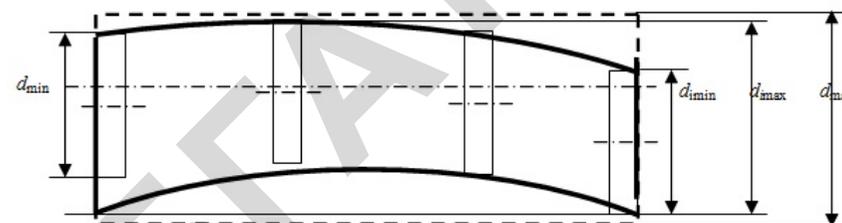


Рис. 6.2. Нормативная модель наружной цилиндрической поверхности.

Условие годности:  $d_{i\min} \geq d_{\min}$ ;  $d_{i\max} \leq d_{\max}$

Формальное условие годности реальной цилиндрической поверхности:

$$d_{i\min} \geq d_{\min} \text{ и } d_{i\max} \leq d_{\max},$$

где  $d_{i\min}$  и  $d_{i\max}$  – наименьший и наибольший действительные размеры, полученные при измерении реальной поверхности;

$d_{\min}$  и  $d_{\max}$  – наименьший и наибольший предельные размеры поверхности.

Как видно из приведенного примера, нормативная модель отличается от идеальной наличием полей допусков, которые добавляются к номинальным параметрам (поля допусков часто задаются в виде предельных отклонений). В результате образуется конвенциональная координированная система предельных контуров. В частности, в тейлоровской модели поле допуска диаметра «плавает» по нормали к оси цилиндра (см. рис. 6.2, расположение отрезков  $T = d_{\max} - d_{\min}$ ).

Составляющими частями нормативной модели данного объекта являются:

- значения параметров ( $d$ ,  $L$  и др.) с допусками  $T$  (формальная составляющая);
- поля допусков параметров (содержательное оформление нормированных допусками параметров в координатную систему, которая определяет область существования годных объектов контроля).

Нормативная модель объекта разрешает рассеяние значений параметров в пределах поля допуска, т. е. допускает некое разнообра-

зие реализаций нормированных объектов. Например, номинально цилиндрическая поверхность из-за несовершенства технологических процессов может быть изготовлена как конусообразная, бочкообразная или седлообразная (если рассматривать простейшие искажения поверхности вдоль ее оси). Можно также представить более сложную комбинированную поверхность, объединяющую несколько вариантов искажений (изогнутость оси и конусообразность – на рис. 6.2), которые дополняются искажениями формы в поперечном сечении.

Из данных рассуждений вытекает необходимость построения реалистической аналитической модели поверхности, которую кладут в основу разработки методики выполнения измерений. Поскольку даже для одной простейшей поверхности может существовать некоторое количество вариантов реалистической аналитической модели, разрабатываемая методика выполнения измерений должна покрывать все возможные варианты.

Если такую методику разработать нельзя из-за инструментальных или операционных ограничений, приходится использовать несколько взаимно дополняющих друг друга методик. Например, при проектировании процесса измерений номинально цилиндрических поверхностей можно рассматривать два диаметрально противоположных варианта реалистической аналитической модели поперечного сечения с регулярными искажениями (четная огранка, включая овальность, и нечетная огранка). Нечетная огранка двухточечными измерениями не выявляется, поэтому «двухконтактные» средства измерений в подобных случаях принципиально не могут обеспечить адекватность экспериментальных моделей. В таких случаях необходима разработка минимум двух дополняющих друг друга методик выполнения измерений.

Экспериментальную метрологическую модель объекта создают на базе информации о фактических значениях параметров контролируемого объекта. Информацию получают с помощью измерений соответствующих физических величин, носителем которых является объект. Модель реализуема только в том случае, если принять три основных постулата:

- каждый объект следует рассматривать как упорядоченное множество (систему) разноименных и одноименных физических величин;

- каждая из физических величин, принадлежащих данному объекту, может воспроизводиться на этом объекте однократно либо многократно – как бесконечное множество номинально одинаковых величин;

- любое бесконечное множество номинально одинаковых величин объекта может быть представлено конечным множеством результатов измерений, выполненных в минимально необходимом числе рационально распределенных контрольных точек (контрольных сечений).

Экспериментальная модель всегда является редуцированной по отношению к бесконечному множеству значений параметров реального объекта. Первоначальные варианты экспериментальной модели создаются по данным измерений, проводимых на основе использования реалистической аналитической модели. При необходимости характер экспериментальной модели можно уточнить в соответствии с результатами выполненных измерений и настолько приблизить к реальному объекту, насколько это требуется для решения поставленной задачи измерений. Таким образом, экспериментальную модель фактически создают методом проб и ошибок, причем для получения адекватной экспериментальной модели в сложных случаях уточняют или принципиально трансформируют методику выполнения измерений.

Построение экспериментальной метрологической модели объекта необходимо при решении любой задачи измерений, вне зависимости от того, существует ли нормативная модель объекта (с ее наличием связаны задачи измерительного контроля деталей, процессов, технологического оборудования и средств измерений, идентификации объектов и др.) или нормативной модели нет (например, при решении задач измерений, возникающих в ходе экспериментальных исследований).

Формальная метрологическая модель любого объекта может быть описана математическим выражением, представляющим собой множество физических величин:

$$\Omega \Rightarrow \{A, B, \dots, Q, \dots\}, \quad (6.1)$$

где  $\Omega$  – объект измерения;

$A, B, \dots, Q$  – физические величины, принадлежащие объекту измерения.

Если иметь в виду, что некоторые из физических величин, входящих в множество  $\{A, B, \dots, Q, \dots\}$ , сами могут быть представлены в виде множеств, которые являются подмножествами более общего множества, можно записать:

$$\Omega \Rightarrow \{A, B, \dots, \{L\}, M, \dots, \{Q\}, \dots\}. \quad (6.2)$$

Или  $\{\Omega\} = \{A, B, \dots, \{L\}, M, \dots, \{Q\}, \dots\}$ , где  $A, B, M$  – элементы множества всех физических величин, принадлежащих объекту  $\Omega$  и являющиеся единичными физическими величинами;

$\{L\}, \{Q\}$  – подмножества множества  $\{\Omega\}$ , являющиеся множествами физических величин.

Формально это можно представить следующими выражениями:

$$A \in \{\Omega\}, B \in \{\Omega\}, M \in \{\Omega\}, \\ \{L\} \subseteq \{\Omega\}; \{Q\} \subseteq \{\Omega\}.$$

Подмножество  $\{Q\}$  можно считать множеством физических величин только в том случае, если на объекте воспроизводится не одно фиксированное значение  $Q$ , а бесконечное множество номинально одинаковых физических величин (в отличие от формального математического подхода, где рассматриваются множества с одним элементом, а также пустые множества). В качестве подмножества  $\{Q\}$  можно рассматривать множество высот призматической детали, но не комплекс длин разных граней призмы типа «высота + толщина + ширина», поскольку каждая из этих длин реализована отдельным множеством номинально одинаковых величин.

Под единичными физическими величинами понимают те, которые реализованы на объекте однократно, например: масса детали, ее объем, отклонение выбранной поверхности от цилиндричности (максимальное) или радиальное биение этой поверхности.

Каждая из величин (как единичная, так и входящая в множество номинально одинаковых величин) может быть измерена однократно либо многократно. Для первого случая

$$Q \Rightarrow X,$$

где  $Q$  – измеряемая физическая величина;  
 $X$  – результат измерения физической величины.

При измерениях с многократными наблюдениями

$$Q \Rightarrow X_1, X_2, \dots, X_n,$$

где  $Q$  – измеряемая физическая величина;  
 $X_2, \dots, X_n$  – результаты повторных наблюдений при измерении физической величины.

При этом в соответствии с накладываемыми на процесс измерений ограничениями последнее выражение подразумевает, что

$$n \neq \infty,$$

причем  $n \ll \infty$ , а в качестве оценки одной многократно измеренной физической величины может быть выбран некий представитель ряда полученных результатов, например, среднее арифметическое значение  $X_{\text{ср}}$ :

$$X_{\text{ср}} = (1/n) \sum_{i=1}^n X_i.$$

Многократные наблюдения при измерении одной и той же физической величины могут быть направлены либо на повышение достоверности измерений за счет обнаружения и исключения результатов с грубыми погрешностями, либо на анализ переменных систематических составляющих погрешностей и случайных погрешностей в серии измерений. Следовательно, многократные измерения одной и той же физической величины не имеют непосредственного отношения к методологии построения экспериментальной модели объекта. Для получения адекватной модели объекта, имеющего множество номинально одинаковых, но фактически различных величин, как правило, приходится измерять  $N$  величин, которые входят в такое множество.

При определении числа  $N$  подлежащих измерению физических величин, входящих в определенное подмножество  $\{Q\}_i$  множества всех физических величин объекта, желательно выбрать минимально

необходимое число распределенных контрольных точек (контрольных сечений). Таким образом, физические величины множества  $\{Q\}_i$  транспонируются на множество результатов измерений  $\{X_N\}$ , причем число подлежащих измерению физических величин  $N$  много меньше бесконечного числа физических величин, составляющих множество  $\{Q\}_i$ :

$$\{Q\}_i \Rightarrow \{X_i\},$$

где  $\{Q\}_i = \{Q_1, Q_2, \dots, Q_j\}$ , при  $j = \infty$ ;  
 $\{X_i\} = \{X_1, X_2, \dots, X_N\}$ , где  $N \ll \infty$ .

К рассмотрению предлагается применение метрологических моделей объектов в таких наиболее часто решаемых задачах, как измерительный приемочный контроль детали. В условия задачи измерения входят *нормативная модель объекта*, заданная чертежом, и *реальный объект*, который по условиям годности должен соответствовать этой модели. Чтобы дать заключение о годности, необходимо получить экспериментальную модель объекта, которую строят на базе измерительной информации о фактических значениях параметров реального объекта.

Например, один из простейших объектов приемочного контроля – деталь в виде цилиндра с диаметром  $d$ , с двумя плоскими торцами на длине  $L$ , нормальными к оси цилиндра, и двумя фасками под углом  $45^\circ$  длины  $l$  вдоль оси (рис. 6.3). Кроме уже упомянутых геометрических параметров, объект несет параметры микрогеометрии поверхностей, твердость, массу, объем, плотность и ряд других.

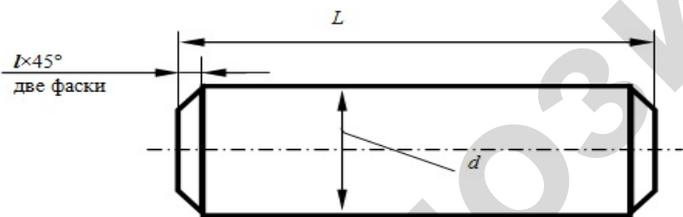


Рис. 6.3. Ролик цилиндрический с фасками

Из всех перечисленных параметров массу, объем и (в предположении компактного материала) плотность детали можно рассматривать как величины, каждая из которых воспроизводится на объ-

екте однократно. Другие параметры следует рассматривать как множества номинально одинаковых физических величин. Очевидно, что деталь имеет бесконечные множества «диаметров»  $\{d\}$ , длин цилиндра  $\{L\}$ , длин фасок 1  $\{l_1\}$  и 2  $\{l_2\}$ . То же можно сказать об углах фасок в разных сечениях, параметрах микрогеометрии поверхностей, твердости разных участков поверхностей и т. д.

Для данной детали выражение (6.2) с учетом конкретных параметров может быть записано в виде

$$\Omega \Rightarrow \{\{d\}, \{L\}, \{l_1\}, \{l_2\}, \{\alpha_1\}, \{\alpha_2\}, \{HB\}, M, V, \dots, \{Q\}, \dots\}.$$

В правой части выражения представлено множество параметров объекта, в которое входят единичные физические величины (масса  $M$ , объем  $V, \dots$ ) и некоторое количество подмножеств ( $\{d\}$ ,  $\{L\}$ ,  $\{l_1\}, \dots$ ), каждое из которых представляет собой множество номинально одинаковых величин.

Измерению подлежат все нормированные параметры контролируемого объекта, причем каждая из физических величин (как единичных, так и составляющих множество номинально одинаковых величин) может быть измерена однократно либо многократно. В производственных условиях практически всегда стараются ограничиться однократными измерениями.

Для разработки предварительной методики измерительного контроля, для выбора минимально необходимого числа измеряемых физических величин  $N$  и правильно распределенных контрольных точек (контрольных сечений) составляем реалистическую аналитическую модель объекта, которая отличается от идеальной предполагаемыми технологическими искажениями. Традиционно применяемая типовая схема измерений номинально цилиндрической поверхности (три сечения вдоль оси детали, воспроизводимые с поворотом на  $90^\circ$ ) основана на допущении возможности появления таких элементарных искажений формы в продольном сечении, как конусообразность, седлообразность и бочкообразность, а в поперечном – овальность. Но измерение накладными средствами не позволяет выявить изогнутость оси и нечетную огранку поперечного сечения. Эта же типовая схема окажется непродуктивной, если образующую нужно аппроксимировать синусоидой.

Экспериментальная модель, используемая для принятия решения о годности объекта по одному или нескольким контролируемым параметрам, должна быть адекватна объекту в рамках постав-

ленной задачи измерения (в данном случае – это измерительный приемочный контроль). Возможно построение двух видов экспериментальных моделей:

- формальная (семиотическая) модель, которую можно использовать, например, при заключении о годности объекта по единичной физической величине типа массы детали;
- содержательная (семантическая) модель, которую используют для заключения о годности объекта по некоторому множеству номинально одинаковых физических величин типа «диаметра» номинально цилиндрической поверхности.

Не следует считать, что формальная (семиотическая) модель объекта лишена содержания, просто ее содержание редуцировано до элементарной формы:

$$M_{\min} \leq M_i \leq M_{\max}, \quad (6.3)$$

где  $M_{\min}$  и  $M_{\max}$  – предельно допустимые значения параметра;

$M_i$  – экспериментально определенное (измеренное) действительное значение параметра.

Из выражения (6.3) следует, что для заключения о годности реальную модель объекта сравнивают с множеством  $\{M_{\min} \dots M_{\max}\}$  идеальных аналитических моделей и признают объект годным, если реальная модель входит в это непрерывное (континуальное) множество, ограниченное предельными значениями.

Содержательная экспериментальная модель поглощает формальную. Она отличается от формальной модели тем, что включает в себя множество результатов измерений номинально одинаковых физических величин, выстроенных в определенную систему. Система результатов измерений строится на базе реалистической аналитической модели объекта, уточняемой в ходе получения измерительной информации. Содержание такой модели нельзя ограничить только представлением числовых значений, оно должно включать схему контрольных точек (контрольных сечений) и (или) вербальное описание, а возможно, и другие системные элементы, обязательные для построения заключения о годности объекта по некоторому параметру. (Порядок построения экспериментальной модели

объекта по результатам измерений его параметров с учетом обратных связей см. на рис. 6.1.)

Измерительный приемочный контроль не является единственной задачей измерения объектов. Другими задачами, решаемыми с помощью измерений, являются арбитражная перепроверка результатов измерений, идентификация объектов, экспериментальное исследование объекта или множества однородных объектов (виды задач более подробно описаны в разделе 9). Для каждой ситуации построение метрологических моделей является обязательным этапом решения поставленных измерительных задач. Использование метрологических моделей при экспертизе измерений геометрических параметров представлено в прилож. 5.

### 6.3. Модели средств измерений и измерительных процедур

Метрологические модели не исчерпываются только моделями измеряемых объектов, включая в себя разнообразные модели средств измерений, модели измерительных операций, процессов измерений и других измерительных процедур.

Моделирование средств измерений – особая область метрологического моделирования. Простейшим средством измерений является однозначная мера. Поскольку такая мера ( $\Omega$ ) предназначена для хранения и воспроизведения одной физической величины ( $Q$ ) одного размера, ее идеальная модель записывается простейшим выражением:

$$\Omega \Rightarrow Q. \quad (6.4)$$

Реалистическая аналитическая модель однозначной меры строится в зависимости от характера физической величины, воспроизводимой мерой, и конкретной измерительной задачи, в которой эта мера задействована. Например, реалистическая модель меры массы (гири, разновеса) соответствует идеальной. Отличной будет реалистическая модель плоскопараллельной концевой меры длины ( $\Omega \Rightarrow \{L_1, L_2, L_3, \dots\}$ ), хотя использование такой меры для настройки прибора основано на допущении, что реалистическая модель меры практически совпадает с идеальной.

Напротив, при определении годности самой меры длины (измерительный приемочный контроль) или при ее метрологической аттестации реалистическая модель может предстать как бесконечное множество  $\{Q_1, Q_2, Q_3, \dots\}$  номинально одинаковых величин:

$$\Omega \Rightarrow \{Q_1, Q_2, Q_3, \dots\}. \quad (6.5)$$

Схема построения моделей однозначной меры длины представлена на рис. 6.4. Схему можно распространить на меры угла, твердости, образцы состава и ряд других мер.



Рис. 6.4. Моделирование однозначной меры

Для измерительных преобразователей или измерительных приборов в зависимости от поставленных целей могут разрабатываться весьма разнообразные и сложные метрологические модели, в частности различные структурные и функциональные модели. Широко применяются и представляют значительный интерес модели преобразующих измерительную информацию средств измерений (приборов, преобразователей), построенные в виде функций преобразования (номинальные статические характеристики и градуировочные кривые). Схема, иллюстрирующая построение моделей преобразующего СИ (графическое представление функций преобразования), показана на рис. 6.5.

Идеальная аналитическая модель функции преобразования измерительного прибора соответствует его номинальной статической характеристике. Реалистическая модель функции преобразования измерительного преобразователя или прибора может учитывать

аналитически предполагаемые особенности. Примеры реалистической модели учитывают погрешности схемы преобразования (нелинейность статической характеристики), погрешности изготовления и сборки деталей, вызывающие аддитивную (рис. 6.5, а) или мультипликативную (рис. 6.5, б) составляющие статической характеристики, которые накладываются на нелинейность статической характеристики. Представлена также модель гистерезисной статической характеристики (рис. 6.5, в).

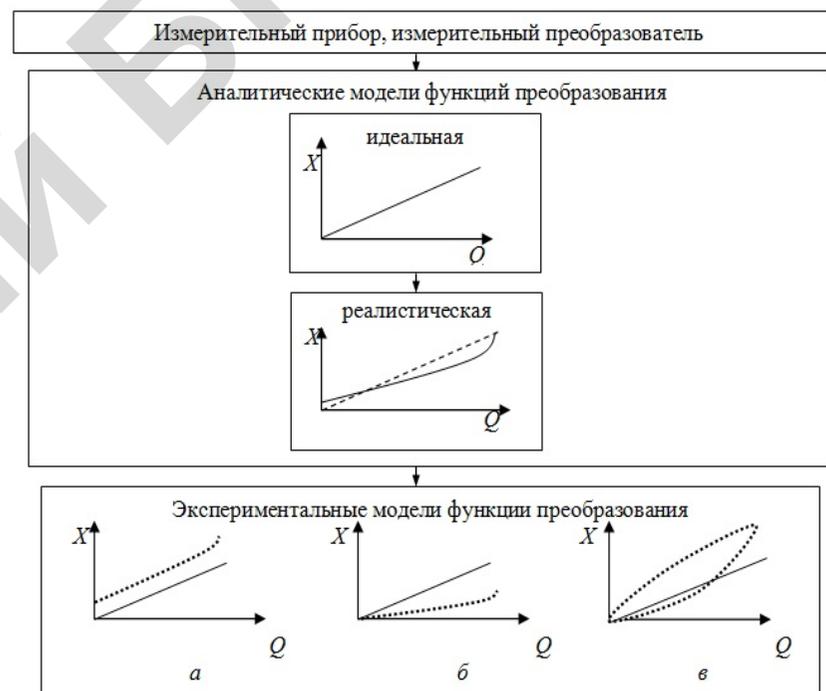


Рис. 6.5. Моделирование функции преобразования средства измерений

Для построения экспериментальной модели функции преобразования необходимо провести исследования, аналогичные выполняемым в ходе поверки, калибровки или метрологической аттестации прибора. Построение экспериментальных моделей может базироваться на исследовании статической характеристики одного средства измерений или на результатах исследований группы однородных средств измерений.

### Моделирование поверки, калибровки и метрологической аттестации измерительных приборов

Нормированный сигнал, необходимый для получения градуировочной характеристики при поверке, калибровке или метрологической аттестации измерительных приборов, можно получать, используя:

- эталонные (образцовые) меры,
- эталонный (образцовый) прибор,
- эталонные меры и эталонный прибор.

Под эталонными СИ в данном случае понимаются такие, которые позволяют получать нормированный сигнал требуемой точности. Это может быть не только эталонное средство измерений, но и рабочее СИ, точность которого обеспечивает возможность градуировки, если такой вариант допускает узаконенная процедура.

Схема градуировки прибора по мерам представлена на рис. 6.6. Для градуировки необходимо иметь однозначные меры (набор мер), либо многозначную меру, позволяющие воспроизводить нормированные значения физической величины.

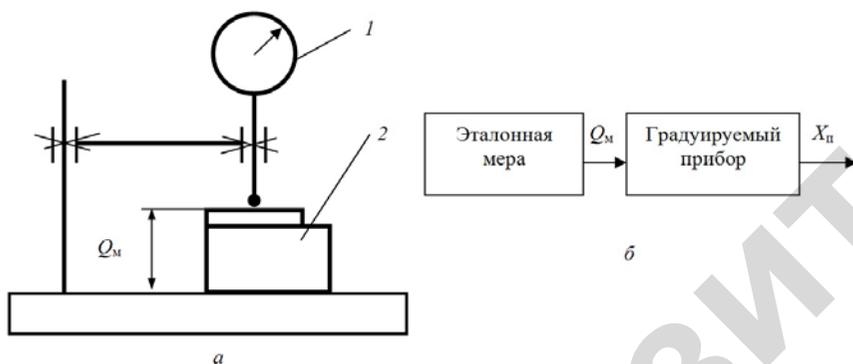


Рис. 6.6. Схема градуировки прибора по эталонным мерам: а – конструктивная схема; б – принципиальная схема; 1 – градуируемый прибор; 2 – эталонная мера

Операцию градуировки прибора в одной контрольной точке можно описать следующим образом: на вход прибора 1 с помощью меры 2 или блока мер, воспроизводящих заданное значение физической величины  $Q_M$ , подают нормированный сигнал измерительной информации  $X_M$ , который должен вызвать соответствующий

отклик на выходе прибора. Погрешность прибора  $\Delta$  в поверяемой точке определяют как разность между реальным откликом прибора  $X_n$  и нормированным откликом  $X_M$ :

$$\Delta = X_n - X_M. \quad (6.6)$$

В такой модели операции градуировки используются две модели средств измерений (меры и градуируемого прибора), причем модель меры рассматривается как идеальная. Значит, принимается, что мера воспроизводит только одно приписанное ей значение физической величины  $Q_M$  (в конкретной операции градуировки блок мер или многозначная мера тоже воспроизводит только одно значение физической величины  $Q_M$ ), причем погрешность меры  $\Delta_M$  принимается равной нулю:

$$\Delta_M = Q_M - Q = 0,$$

т. е. считают, что воспроизводимое мерой значение практически соответствует номинальному:

$$Q_M = Q.$$

Справедливость такой модели в общем случае обусловлена выполнением двух требований к малости погрешности меры:

- погрешность меры должна быть пренебрежимо малой по сравнению с погрешностью градуируемого прибора;
- если мера воспроизводит не одну, а бесконечное множество номинально одинаковых физических величин ( $\Omega \Rightarrow \{L_1, L_2, L_3, \dots\}$ ), отличие каждой из них от номинального значения не должно превышать той же пренебрежимо малой погрешности.

Установление малости погрешностей и выбор критериев пренебрежимо малости представляет собой отдельную задачу (такие задачи рассмотрены в разделе 9).

Для описания результатов процесса градуировки используются семиотические модели поверяемого измерительного прибора в виде функции (точнее, двух функций) преобразования измерительного прибора. Номинальная (приписанная прибору идеальная функция) служит для сопоставления с ней экспериментальной функции преобразования, полученной в процессе градуировки.

Номинальная функция обычно воспроизводится по точкам как линия идеального отклика на выходе прибора  $X_M$ , соответствующего вели-

чине  $Q_m$ , которую воспроизводит мера и измеряет прибор. Для воспроизведения линейной идеальной функции достаточно двух точек, полученных аналитически (без проведения измерений).

При реализации градуировки прибора по дискретным значениям проводят измерения прибором выбранных значений меры (мер) и для каждого измеренного значения  $Q_{mi}$  с известным идеальным откликом  $X_{mi}$  фиксируют реальные отклики на выходе прибора  $X_{pi}$ . Для построения экспериментальной модели может быть получено некоторое множество реализаций в каждой контрольной точке, то есть

$$Q_m \Rightarrow X_{p1}, X_{p2}, X_{p3}, \dots, X_{pN}, \quad (6.7)$$

где  $N$  – число повторных измерений меры, которое может быть реализовано либо полным воспроизведением цикла измерения меры  $Q_m$ , либо воспроизведением цикла измерения без изъятия меры (например, арретированием прибора).

При полном воспроизведении цикла измерения в том случае, если фактически мера воспроизводит множество  $\{Q\}$  номинально одинаковых величин  $Q_i$ , то на прибор при каждом из циклов будут воздействовать разные величины, причем  $Q_i \in \{Q\}$ , а  $Q_1 \neq Q_2 \neq Q_3 \neq \dots \neq Q_N$ . При этом согласно второму допущению

$$Q_i - Q_m \leq \Delta, \quad (6.8)$$

где  $\Delta$  – погрешность меры.

Поскольку градуировка прибора по мере базируется на допущении о пренебрежимо малой погрешности этой меры, то, во-первых, различиями между всеми значениями  $Q_i$  (если  $Q_i \in \{Q\}$ ) можно пренебречь, во-вторых, становится очевидным отсутствие необходимости полного воспроизведения цикла измерения меры для получения повторных результатов в одной поверяемой точке (достаточно арретирования прибора).

При градуировке прибора по более точному прибору эталонный прибор используют для воспроизведения заданной физической величины (если есть такая возможность) или осуществляют измерение градуируемым и эталонным приборами одной и той же входной физической величины  $Y_v$  с последующей оценкой разности результатов измерений (рис. 6.7).

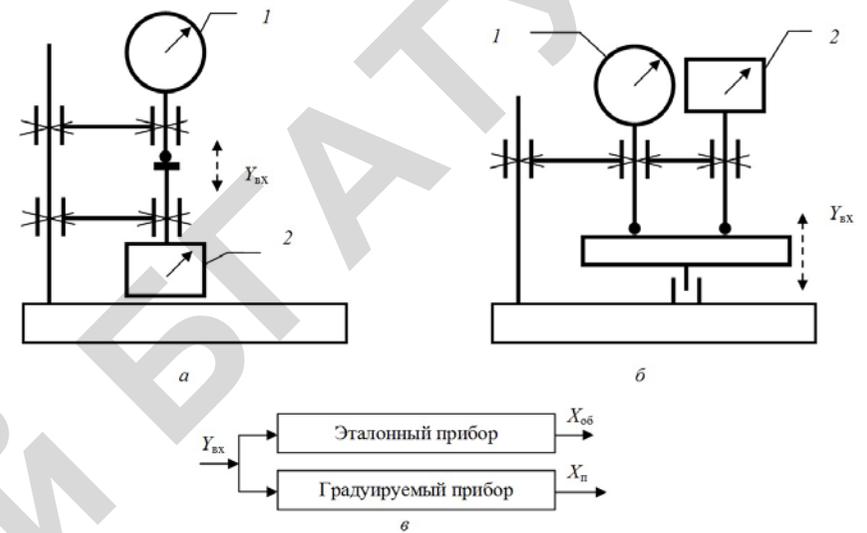


Рис. 6.7. Градуировка прибора по эталонному прибору:  $a$  – непосредственно;  $b$  – с объектом измерения и (или) дополнительными приспособлениями;  $v$  – принципиальная схема; 1 – градуируемый прибор; 2 – эталонный прибор

Градуировка прибора по эталонным прибору и мерам (рис. 6.8) обычно осуществляется с помощью измерений одних и тех же величин эталонным прибором с эталонными мерами и поверяемым прибором методом непосредственной оценки.

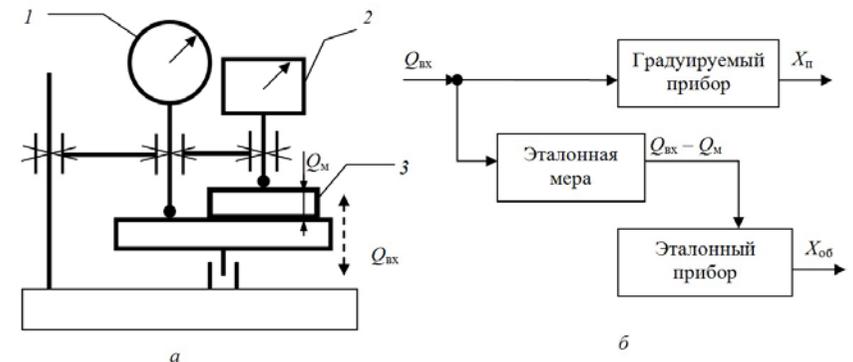


Рис. 6.8. Градуировка прибора по эталонному прибору и эталонной мере:  $a$  – конструктивная схема;  $b$  – принципиальная схема; 1 – градуируемый прибор; 2 – эталонный прибор; 3 – эталонная мера

Оценка разности результатов измерений рассматривается как погрешность поверяемого прибора. Такой метод позволяет эффективнее использовать узкодиапазонные эталонные приборы повышенной точности.

Построение подробных моделей процессов градуировки для двух последних методов представляет собой техническую задачу, которая решается аналогично рассмотренной. Таким же способом можно построить модели процессов градуировки измерительных преобразователей, многозначных и однозначных мер.

Поскольку при градуировке прибора следует определять только инструментальную погрешность, а фактически определяют погрешность измерения, необходимым условием градуировки является обеспечение пренебрежимо малых величин всех не отыскиваемых составляющих погрешности измерения по сравнению с инструментальной погрешностью поверяемого прибора.

Прибором измеряют аттестованную физическую величину, воспроизводимую мерой, например, используют эталонную меру. В качестве меры можно также использовать объект, который воспроизводит величину, аттестованную эталонным прибором. Градуировку прибора можно осуществлять по эталонному прибору, с помощью которого воспроизводят заданный размер измеряемой физической величины.

Следовательно, можно утверждать, что при градуировке всегда используют либо известную с высокой точностью физическую величину, о вещественную в эталонной (аттестованной) мере, либо нормированный сигнал измерительной информации, являющийся имитационной моделью меры.

При градуировке измерительного прибора нормированную физическую величину может воспроизводить:

- мера, воспроизводящая физическую величину одного размера (однозначная мера) или нескольких размеров (многозначная мера) и представляющая собой приближающийся к идеалу аналог реального объекта измерения (идеальная мера воспроизводит номинальную физическую величину);
- один из подлежащих измерениям реальных объектов, с присущими таким объектам несовершенствами (как правило, воспроизводит бесконечное множество номинально одинаковых физиче-

ских величин вместо одной), аттестуемый эталонным прибором в ходе градуировки;

- имитационная модель меры (специальная мера, не являющаяся полным аналогом объекта измерений), воспроизводящая физическую величину в виде, пригодном для измерений при градуировке (поверке, калибровке, аттестации, настройке) прибора;
- симулятивная модель меры, воспроизводящая входной сигнал измерительной информации, который оказывает на чувствительный элемент прибора воздействие, аналогичное воздействию измеряемой физической величины.

Различия в применении меры и реального объекта заключаются в том, что при измерении меры исключаются методические погрешности, связанные со значимыми отличиями реального объекта от его модели, принятой для разработки методики выполнения измерений. В соответствии с названными различиями измерения меры предпочтительны для градуировки прибора, поскольку все погрешности измерений, кроме инструментальных, должны быть сведены к пренебрежимо малым значениям. Аттестованные реальные объекты, позволяющие оценить значения методической составляющей погрешности измерений, желательно использовать для аттестации методик выполнения измерений. При измерении реальных объектов, обладающих такими же несовершенствами, как аттестованные реальные объекты, будут проявляться методические погрешности.

*Имитационные модели* – специальные меры, технические характеристики которых отличаются от характеристик измеряемых объектов, а метрологические характеристики соответствуют заданным, например, образцы шероховатости поверхности для настройки (поверки, аттестации) профилометров и профилографов, шкалы для поверки микроскопов. Применение имитационных моделей для поверки, аттестации и настройки приборов осуществляется значительно чаще, чем эти отличия фиксируются специалистами. Так, прибор для измерения наружных цилиндрических поверхностей дифференциальным методом настраивают по плоскопараллельным концевым мерам длины, нутромер для измерения внутренних цилиндрических поверхностей настраивают по блоку плоскопараллельных концевых мер длины с боковиками, имеющими плоские рабочие поверхности. Для настройки приборов, измеряющих гео-

метрические параметры, часто используют конические поверхности вместо цилиндрических или сферических, ступеньки – вместо нормированных значений радиального и торцевого биения, отклонений от плоскостности, от параллельности и т. д.

Правомерно применение имитационных моделей (специальных мер) при очевидном подобии воспроизводимых параметров. В частности, при измерениях геометрических величин главным является обеспечение точности расстояний, а особенности, связанные с реализацией поверхностей контакта, по возможности опускают. В качестве главных условий здесь выступают удовлетворительные метрологические характеристики применяемых мер, оценка которых при наличии средств измерений соответствующей точности достаточно проста

*Симулятивную модель меры* – устройство для воспроизведения входного сигнала измерительной информации, оказывающего на чувствительный элемент прибора такое же воздействие, как измеряемая физическая величина, – приходится специально разрабатывать, затем доказывать идентичность ее воздействия на прибор воздействию измеряемой физической величины, воспроизводимой мерой. На следующем этапе надо либо обеспечить аттестацию метрологических характеристик этих моделей с требуемой точностью, либо подтвердить соответствие метрологических характеристик симулятивных моделей характеристикам мер, подобных реальному измеряемому объекту.

Примером симулятивной модели меры для динамометра может служить микрометрическое нагружающее устройство, которое позволяет задавать перемещение чувствительного элемента динамометра, соответствующее приложению определенной силы. Симулятивные модели широко применяют в оптике при создании образцов поглощения и пропускания световой энергии, в анализе физических свойств газов и жидкостей и в других случаях.

Можно представить также симулятивные модели в виде устройств для генерирования промежуточных сигналов измерительной информации (как это делают при дифференциальной поверке измерительных каналов). В таких симулятивных моделях используются физические величины, отличные от измеряемых. Например, часть канала измерительной системы или измерительной цепи электрического прибора для измерения неэлектрической величины можно исследовать, подавая на соответствующий измерительный преобразователь

нормированный электрический сигнал, который будет симулировать нормированное значение измеряемой неэлектрической величины на входе прибора. При этом «выключенный» участок прибора не исследуется.

Графическим представлением соответствующих метрологических моделей можно считать принципиальные схемы градуировки приборов (рис. 6.9).

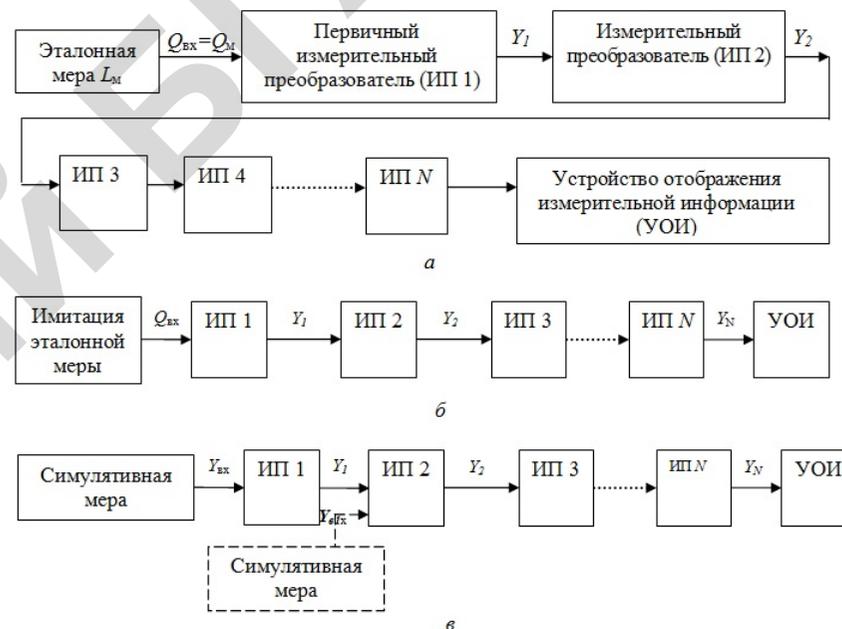


Рис. 6.9. Принципиальные схемы градуировки прибора:  
а – по эталонной мере; б – имитационной мере; в – симулятивной мере

Используя эти схемы и приведенные выше логические рассуждения, позволившие их оформить, можно описать, в частности, модели поверки приборов.

Поверка средств измерений может осуществляться комплексно либо дифференцированно. Например, комплексная поверка, осуществляемая с использованием эталонных мер (набора однозначных мер или многозначной меры), позволяет воспроизвести реальную функцию преобразования измерительного прибора или преобразователя в известных координатах и оценить его погрешности.

Дифференциальная поверка средств измерений включает в себя два взаимосвязанных процесса:

- построение функции преобразования в произвольных координатах;
- «привязка» полученной функции преобразования с исходной системой координат к эталону единицы соответствующей физической величины.

Дифференциальная поверка осуществляется в ситуациях, когда возможности воспроизведения нормированных сигналов и подачи их на первичный измерительный преобразователь прибора реализуются проще, чем с использованием набора эталонных мер. В таком случае на первом этапе можно, например, убедиться в том, что функция преобразования прибора достаточно строго соответствует предписанной зависимости. Скажем, при поверке прибора с равномерной шкалой функция преобразования должна быть линейной.

На втором этапе функцию «привязывают» к единице физической величины, устанавливают реальный масштаб и коэффициент преобразования, затем оценивают погрешности поверяемого прибора по значениям отклонений от построенной в том же масштабе номинальной функции преобразования.

*Обобщенная модель градуировки.* Градуировка включает передачу испытываемому средству измерений сигнала «точной» физической величины и получение отклика испытываемого средства измерений. За оценку погрешности градуируемого средства измерений принимается разность между его выходным сигналом  $X$  и нормированным сигналом на входе  $Q$  (сигнал «точной» физической величины):

$$\Delta = X - Q.$$

Методы генерирования образцового сигнала  $Q$  с использованием мер и приборов рассмотрены выше.

Поскольку градуировка в качестве основного процесса включает измерения, ее можно представить моделью процесса измерения, трансформированной в соответствии с характерными особенностями процесса (рис. 6.10). Главной особенностью процессов градуировки (поверки, калибровки, метрологической аттестации СИ) является наличие «избыточных» средств измерений, обеспечивающих генерирование образцового сигнала  $Q$ .

Следует различать искомую погрешность  $\Delta_{СИгр}$  и погрешность градуировки как специфического процесса измерений. В процессе градуировки как в типовом процессе измерений присутствуют погрешности всех применяемых средств измерений, методические погрешности, погрешности из-за отличия условий измерений от нормальных и погрешности оператора.

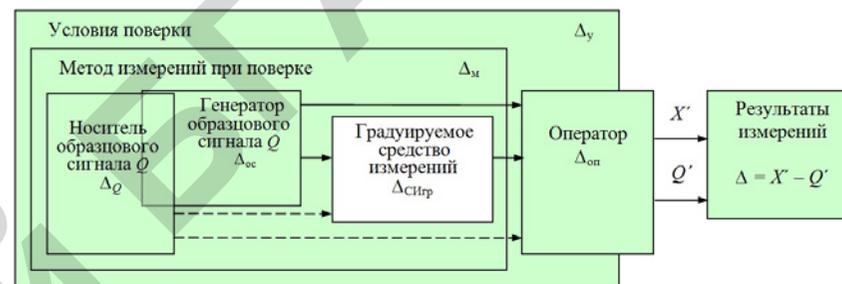


Рис. 6.10. Схема обобщенной модели градуировки средства измерений

Если при градуировке генератором образцовых сигналов являются меры (на рис. 6.10 связи обозначены штриховыми линиями), то в погрешности измерений входят погрешности от всех перечисленных источников, кроме погрешностей эталонных мер. Эти погрешности не являются составляющими погрешности измерений, поскольку «погрешности объекта» не могут быть составляющими погрешности рядовых измерений.

В погрешности градуировки дополнительно входят погрешности образцовых мер, поскольку их отличия от нормированного значения вызовут искажения образцового сигнала на входе градуируемого средства измерений.

Если при градуировке генератором образцовых сигналов является образцовый прибор (на рис. 6.10 связи обозначены сплошными линиями), а носителем образцовых сигналов являются меры или рядовой объект измерений, ситуация усложняется. Так, для случая, когда носителем измеряемой физической величины будет рядовой объект измерений, следует анализировать образование погрешностей в каждой из параллельных измерительных цепей.

Инструментальные и субъективные составляющие будут образовываться независимо в каждой из параллельных измерительных цепей. Важно рассмотреть возможности возникновения методиче-

ских погрешностей, связанных с неидеальностью объекта при его измерениях образцовым и градуируемым средствами измерений. Погрешности, возникновение которых обусловлено отличиями условий измерений от нормальных, при градуировке желательнее предупредить.

Обобщенные уравнения погрешностей измерений в двух ветвях измерений следующие:

$$\Delta_1 = \Delta_{oc} * \Delta_{m1} * \Delta_{y1} * \Delta_{оп1}, \quad (6.9)$$

$$\Delta_2 = \Delta_{oc} * \Delta_{СИгр} * \Delta_{m2} * \Delta_{y2} * \Delta_{оп2}, \quad (6.10)$$

где  $\Delta_1, \Delta_2$  – погрешности измерений в цепи образцового и градуируемого средств измерений;

$\Delta_{oc}$  – погрешность образцового сигнала;

$\Delta_{m1}, \Delta_{m2}$  – методические составляющие погрешности измерений образцовым и градуируемым средствами измерений;

$\Delta_{y1}, \Delta_{y2}$  – погрешности «условий измерений» при градуировке;

$\Delta_{оп1}, \Delta_{оп2}$  – погрешность оператора;

$\Delta_{СИгр}$  – погрешность градуируемого средства измерений (искомая погрешность).

Для достоверной оценки погрешности градуируемого средства измерений необходимо остальные составляющие в правой части уравнения (6.10) исключить из рассмотрения. Этого можно добиться, обеспечивая их пренебрежимо малое значение по сравнению с искомой погрешностью либо обеспечивая равенство этих составляющих в уравнениях (6.9) и (6.10). В последнем случае, вычитая первое уравнение из второго, можно получить искомую оценку.

Картина будет несколько иной, если генератором эталонных сигналов будет прибор, а в качестве носителя эталонных сигналов использовать меры. Отличия будут в практическом отсутствии методической составляющей погрешности измерений. Методическую составляющую погрешности градуировки минимизируют за счет правильности методики выполнения измерений и применения объектов измерений (мер) с «практически идеальными свойствами».

«Погрешности условий» очевидно должны быть пренебрежимо малы, поскольку (кроме редких исключений) при градуировке обеспечиваются нормальные условия измерения. Субъективные

погрешности обычно не превышают приемлемых значений, что должна гарантировать высокая квалификация оператора.

Сложности при моделировании процесса градуировки и возникающих при этом погрешностей заключаются в наличии как минимум двух средств измерений и связанных с ними погрешностей, причем одно средство измерений может играть роль измеряемого объекта. Например, при градуировке прибора по эталонным мерам генератором эталонных сигналов и объектами измерений являются меры, а градуируемый прибор используется для измерения величин, воспроизводимых мерами. Предельно редуцированная модель такой градуировки представлена на рис. 6.11.



Рис. 6.11. Модель градуировки измерительного прибора

Редуцированная модель получена из обобщенной и содержит минимально необходимую информацию: несоответствие отдельного результата измерений значению измеряемой физической величины, воспроизводимой мерой, позволяет оценить погрешность ее измерения. При хорошей организации процесса градуировки мы принимаем ее за погрешность градуируемого средства измерений в данной точке.

На базе предложенной обобщенной модели градуировки преобразующих средств измерений можно построить любые иные модели, которые будут необходимы для проектирования и анализа методики поверки, калибровки и аттестации нестандартизованных средств измерений.

*Особенности моделирования процессов измерений в ходе экспериментальных исследований.* Измерения в ходе исследований осуществляются для решения разных конкретных задач, хотя преследуют общую цель – получение адекватной экспериментальной модели исследуемого объекта. Сложность разработки корректной методики выполнения измерений для построения такой модели определяется как объективными причинами (фактор недостаточности знаний об объекте), так и субъективными (фактор непонимания).

К объективным сложностям относится недостаточность априорной информации. Уменьшить влияние «фактора незнания» помогают теоретические исследования, удачная гипотеза и, обязательно, – корректировка метрологической модели исследуемого объекта и методики измерений, проводимая по результатам, полученным в ходе проведения исследований. «Фактор непонимания» в значительной степени обусловлен недостаточной квалификацией исследователя, который может попытаться сделать выводы при недостатке объективной информации.

Рассмотрены возможности совершенствования экспериментальных исследований за счет использования метрологического моделирования объектов измерений. Метрологические модели объектов исследований, параметры которых подлежат измерениям, строят на основе анализа, причем обязательно различению подлежат:

- измеряемая единичная физическая величина, принадлежащая объекту исследования;
- множество номинально одинаковых физических величин, многократно воспроизводимых на одном объекте исследования;
- множество номинально одинаковых многократно воспроизводимых объектов исследования с множествами принадлежащих им физических величин;
- множество номинально отличающихся объектов исследования с множествами принадлежащих им физических величин.

Один объект исследований (как любой объект измерений) может характеризоваться единичным либо бесконечно наполненным множеством измеряемых величин. Например, максимальная температура некоторого объекта в ходе любого из одиночных экспериментов бывает только одна (по определению), а температурное поле имеет бесконечное число температур, распределенных в пространстве и времени. Если исследованию подлежит максимальная температура деталей после определенной технологической операции, то мы имеем дело с номинально одинаковыми единичными физическими величинами, каждая из которых принадлежит одному из номинально одинаковых объектов. Если же исследованию подлежит температурное поле деталей, то метрологическую модель поля строят в виде ограниченного множества одноименных физических величин в определенных пространственных и (или) временных се-

чениях. Такую модель обычно строят методом проб и ошибок и при необходимости неоднократно корректируют в ходе исследований.

Наибольшую сложность для построения метрологических моделей объектов в анализируемом исследовании будут представлять изменения температурных полей при использовании разных технологических режимов, поскольку при этом могут изменяться не только количественные значения физических величин, но и качественные параметры моделей.

Сложности построения метрологических моделей объектов исследования заключаются в отсутствии нормативной модели объекта, следовательно, в невозможности прогнозировать различия номинально одинаковых параметров или изменения переменных параметров. Знание ожидаемых различий и критериев их значимости позволяет априори выбрать допустимую погрешность измерения и тем обеспечить потенциальную возможность построения экспериментальной модели, которая адекватна исследуемому объекту с точки зрения поставленной задачи. В начале экспериментальных исследований отсутствуют сведения о диапазонах изменений измеряемых величин, их добывают в ходе самих исследований. В соответствии с этим положением обычно сначала проводят предварительные исследования, а после получения определенной информации – основные исследования. Корректные метрологические модели являются обязательным условием достоверности получаемых при экспериментальных исследованиях научных результатов.

Измерения в ходе экспериментальных исследований осуществляются для получения такой модели исследуемого объекта, которая описывает его адекватно поставленной исследовательской задаче. Например, форма Земли для описания климатических явлений может быть представлена сферической моделью, хотя повышение точности измерений позволило предложить более строгую модель (не сферу, а геоид).

Сложность построения метрологической модели объекта, которую можно положить в основу разработки методики выполнения измерений, описана выше. Недостаточно высокая квалификация исследователя, непонимание свойств исследуемых объектов и проблем их измерений могут привести к следующим типовым ошибкам:

- некорректная или принципиально неправильная постановка задачи исследования;

- неправильный выбор готовых или неквалифицированная разработка новых методик выполнения измерений;
- неправильная обработка результатов исследований;
- неправильные выводы (в том числе и из-за неверной интерпретации правильных результатов).

Очевидно, что для успешного проведения экспериментального исследования необходимо разработать правильные методики выполнения измерений, предназначенные для решения корректно поставленной исследовательской задачи.

Неправильная постановка задачи исследования рассмотрению не подлежит, поскольку создает тупиковую ситуацию, в которой метрологические модели бесполезны. Некорректная постановка задачи исследования приводит к ошибкам в разработке метрологических моделей объектов и методик выполнения измерений их параметров или к ошибочному применению добротных, но не подходящих для конкретного случая методик.

Так, при исследовании точности нового технологического процесса обработки длинных цилиндрических поверхностей, прежде чем ставить задачу определения различий между последовательно обрабатываемыми деталями в партии, необходимо убедиться в «одинаковости» геометрических характеристик в пределах обрабатываемой поверхности каждой детали или однотипности искажения этих характеристик. Стабильность качественных характеристик объектов измерений позволит разработать адекватные исследуемым объектам метрологическую модель и методику выполнения измерений. Например, если все детали получаются конусообразными (реалистическая модель объекта измерений), то для характеристики партии деталей можно измерять и сравнивать соответственно минимальные или максимальные диаметры деталей в каждой партии. Сопоставление обезличенных размеров, полученных при измерениях деталей партии в крайних сечениях, может существенно исказить исследуемую картину.

Неправильный выбор методики выполнения измерений может выражаться в неправильном выборе допустимой погрешности измерений и (или) неправильной оценке реализуемой погрешности. Неграмотность в разработке методик выполнения измерений часто приводит к появлению настолько больших погрешностей (методических, субъективных, «погрешностей условий»), что они маски-

руют или существенно искажают исследуемый эффект. Правильному решению задач выбора и разработки методик выполнения измерений способствует разработка и анализ метрологических моделей процессов измерений.

Ошибки при обработке результатов исследований касаются, в первую очередь, неправомерного объединения рассеяния измеряемых физических величин при многократном их воспроизведении и погрешностей измерений этих величин, на что далеко не всегда обращают внимание исследователи. Необходимо помнить, что во всяком экспериментальном исследовании точность результатов обеспечивается как точностью повторно проводимых экспериментов, так и точностью фиксации результатов (погрешностями измерений). Если нет ошибок в выборе и применении методик выполнения измерений, то известные оценки реализуемой погрешности легко сопоставить с изменениями результатов при активных экспериментах (с управляемыми аргументами) или пассивных (с фиксируемыми аргументами). Сама точность управления и (или) фиксации значений аргументов (как всякие результаты измерений) тоже подлежит метрологической оценке.

Неправильные выводы из результатов эксперимента часто делаются из-за недостаточной метрологической грамотности исследователя (искаженные результаты исследований приводят к неправильным выводам), но даже совершенно правильные метрологические модели правильность выводов не гарантируют. Например, можно точно измерять высоту и время падения «тяжелых» и «легких» тел, но, в зависимости от особенностей постановки эксперимента и первоначальной гипотезы, делать разные выводы.

Задачи исследований, которые в значительной мере определяют выбор не только методик исследований, но и методик выполнения измерений параметров объектов исследований, могут включать:

- изучение постоянства свойств объектов (объекта) исследований при многократном воспроизведении, длительной работе или хранении;
- исследование изменения объекта исследования при изменении контролируемых аргументов эксперимента.

«Постоянство объекта» может характеризоваться неразличимостью соответствующих физических величин или же их незначительным стохастическим рассеянием при многократном воспроизведе-

дении. Изменения свойств объектов могут быть плавными (континуальными) или скачкообразными (дискретными). При этом характер изменений может изменяться от простейшего (монотонного) до весьма сложного, раскладываемого на монотонные и периодические составляющие, аппроксимируемые полиномами, рядами Фурье и т. д.

Предложенные выше модели вместе с описанием выбора погрешностей измерений при экспериментальных исследованиях (выбор описан в разделе 9) позволяют не только разрабатывать конкретные модели, но и проводить метрологическую экспертизу результатов экспериментальных исследований.

Рассмотренные метрологические модели могут представить определенный интерес для решения сложных измерительных задач и их метрологической экспертизы. К сложным задачам можно отнести измерительный приемочный контроль многопараметрических объектов, арбитражную перепроверку результатов приемочного контроля, исследование точности технологических операций и технологических процессов и другие экспериментальные исследования. Даже элементарная попытка построить метрологические модели предметов и процессов принесет значительную пользу в части анализа объектов, выявления их сути и получения адекватных экспериментальных моделей.

Анализ проблем метрологического моделирования позволяет сделать следующие выводы:

1. Необходимость метрологического моделирования подтверждается тем, что модели в метрологии используют так же часто, как в любой другой области исследований, хотя в ряде случаев без достаточного критического осмысления. Метрологические модели не исчерпываются только моделями измеряемых объектов, они включают в себя модели средств измерений и модели измерительных операций, процессов и других измерительных процедур.

2. Осознанное проектирование метрологических моделей объектов, средств и процессов измерений позволяет рассмотреть типовые задачи измерений в новом ракурсе.

3. При решении любой задачи измерений необходима экспериментальная метрологическая модель объекта, вне зависимости от того, существует ли нормативная модель (типично для задач измерительного контроля деталей, процессов, технологического обо-

рования и средств измерений, идентификации объектов и др.) или ее нет (задачи измерений при различных экспериментальных исследованиях).

4. Построение метрологических моделей является обязательным условием корректного решения поставленных измерительных задач. Для построения моделей можно использовать приведенные выше типовые и обобщенные модели и приемы их анализа.

5. Обобщенная метрологическая модель градуировки позволяет строить модели, которые необходимы для проектирования и анализа методик поверки, калибровки, аттестации вновь разработанных средств измерений.

6. Метрологические модели могут быть полезны для выявления и оценки методических составляющих погрешности измерений, что представляет собой одну из наиболее сложных задач метрологии.

7. Моделирование процессов измерений, проводимых в ходе экспериментальных исследований, должно опираться на корректные модели исследований, причем квалифицированная метрологический анализ в ряде случаев позволяет обеспечить требуемую точность исследований, повысить объективность и достоверность их результатов.

## 7. МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ СХЕМЫ

Метрологическая схема есть графически оформленная модель объекта, отражающая его наиболее важные метрологические свойства. Целевым назначением схемы может быть:

- исследование объекта (его структуры, функционирования и др.);
- объяснение заинтересованным лицам.

Схема может сопровождаться текстом. Распределение информации между схемой и сопроводительным текстом (написанным, предполагаемым для озвучивания) может значительно различаться в зависимости от целевого назначения схемы и используемой в ходе ее построения контекстной информации. Диаметрально противоположными вариантами представления материала можно считать схемы, «содержащие всю необходимую информацию» (не нуждающиеся в письменных или устных пояснениях), и схемы, представляющие собой наборы опорных сигналов, понятные без пояснений только профессионалам.

Реально схемы первого вида не существуют, но в некотором приближении можно представить себе достаточно полную схему, рассчитанную на специалиста, владеющего известным объемом определенной контекстной информации. Схемы второго вида (очевидно, неполные) могут не полностью отражать логику связей между элементами, поскольку логика привносится в них извне – специфическими контекстными знаниями читающего или представляющего схему. К неполным схемам относятся предельно редуцированные семиотические модели, схемы с многократно кодированными элементами, схемы «с пропусками» элементов и связей. Пример – блок-схемы средств измерений из прямоугольников.

### 7.1. Порядок построения метрологических схем

Построение схемы осуществляют на базе системного подхода, причем имеют право на существование разные схемы одного назначения, представляющие один и тот же объект. Схему сложного объекта следует рассматривать как модель реальной системы, отражающую ее элементный состав, наличие связей и обладающую свойством инвариантности (неизменности) во времени. В схему

включают только те свойства системы, которые являются существенными с точки зрения проводимого исследования и отражают совокупность свойств системы, необходимую для практического использования.

Построение схемы осуществляется методом проб и ошибок. Сам процесс построения схемы можно рассматривать как первоначальное исследование системы на основе сведений о характере ее функционирования в заданных обстоятельствах. Членение системы на блоки и элементы нужно осуществлять в соответствии с необходимостью детализации описания структуры объекта и наглядности отображения его свойств.

Можно предложить следующий порядок построения схемы:

- определение целевого назначения схемы (цели и задачи исследования объекта);
- определение важнейших функций моделируемой системы в соответствии с целевым назначением схемы;
- определение главных структурных элементов моделируемой системы, обеспечивающих реализацию важнейших функций системы, и выявление связей между элементами;
- выбор системы условных обозначений структурных элементов и связей;
- построение «основной части» схемы (предварительный вариант);
- развитие схемы;
- проверка, критика, оценка, модернизация схемы.

Когда схема (модель) построена, необходимо проверить справедливость всех принятых при ее построении допущений как общих, так и конкретных. Если для одной и той же системы можно предложить несколько конкурирующих схем, то выбор лучшего варианта зависит от множества факторов, определяющих соответствие предложенной модели (схемы) исследуемой системе.

### 7.2. Назначение и виды метрологических схем

Использование схем полезно для описания и объяснения измерительных процедур, методик выполнения измерений и измерительного контроля параметров объектов, методик поверки, калибровки и метрологической аттестации средств измерений,

для представления средств измерений, а также для представления результатов метрологической и стандартизационной экспертизы. Метрологическая схема не только несет концентрированную информацию, но и позволяет строить модели появления составляющих погрешностей, чтобы затем проводить необходимые точностные расчеты.

Сложность применения метрологических схем на сегодняшний день в значительной мере связана с отсутствием их регламентации в нормативных документах и научно-технической литературе. Часто встречающиеся в литературе и технической документации понятия «схема измерения», «схема поверки», «схема контроля», «схема средства измерений» и некоторые другие не имеют четких определений, принципов построения и условных обозначений элементов, чем существенно затрудняется их использование. Прямое заимствование определений из стандартов ЕСКД, регламентирующих схемы, невозможно, а использование имеющихся там условных обозначений в ряде случаев непродуктивно из-за существенных различий в содержании и целевом назначении схем.

Следует определить назначение и состав схем средств измерений, схем измерений физических величин, схем измерительного приемочного контроля объектов, схем контрольных точек (сечений) контролируемых объектов, а также возможности совмещения схем разных видов. Возможна разработка специальных схем поверки, калибровки и метрологической аттестации средств измерений.

В современных условиях часто не обращают внимания на разницу между схемами измерений конкретной физической величины, носителем которой является объект, и схемами измерительного контроля объекта. В отличие от схемы измерения схема контроля, как правило, включает указание числа и расположения контрольных точек (сечений) объекта, необходимых для создания его адекватной экспериментальной модели, которую сопоставляют с нормативной моделью для оценки годности объекта.

Схема измерения может совпадать со схемой контроля, например, в том случае, когда физическая величина воспроизводится на объекте однократно (масса детали, сопротивление высокоомного резистора, объем тела) и контрольные точки (сечения) в принципе отсутствуют. Схемы совпадают также, когда модель объекта строится по результатам измерения в одной контрольной точке/сечении

(оценка наибольшей толщины детали, оценка радиального биения поверхности и т. д.).

Контрольная точка – условное наименование, определяющее «область съема измерительной информации об исследуемой физической величине» с измеряемого объекта средством измерения, например, область «контакта» единичного чувствительного элемента с объектом измерения. «Точка» может иметь значительную протяженность (площадь или объем), как, например, при контроле призматической детали гладким микрометром или при измерениях температуры среды жидкостным термометром. При использовании средств измерений с несколькими чувствительными элементами в одно контрольное сечение может входить соответствующее множество контрольных точек. Термин «контрольная точка» не означает, что осуществляется процесс контроля объекта, это традиционное наименование точек съема информации об измеряемой физической величине, в том числе при экспериментальных исследованиях, когда «контроль» исследуемых параметров не имеет смысла.

В линейно-угловых измерениях под контрольной точкой понимают место взаимодействия чувствительного элемента средства измерений с поверхностью контролируемого объекта, редуцированное на схеме к геометрической точке. Под контрольным сечением понимают сечение объекта плоскостью, проходящей через линию измерения (контролируемое или исследуемое сечение), либо прямую линию между двумя чувствительными элементами средства измерений в месте контакта с поверхностью контролируемого объекта. Контрольное сечение может нести множество номинально одинаковых величин, которые в процессе измерений будут признаны отличными друг от друга (например, множество толщин в поперечном сечении номинально цилиндрической поверхности). Вопрос о получении представительных результатов в таком сечении выходит за пределы информации, представленной в схеме контрольных сечений, и описывается отдельно, например, в методике выполнения измерений или измерительного контроля. При наличии у средства измерений более двух чувствительных элементов конфигурация контрольного сечения включает все контрольные точки, и контрольное сечение может превратиться в плоскую или трехмерную фигуру.

Схемы контрольных точек (контрольных сечений) могут включать:

1. Эскиз объекта контроля (например, детали) с указанием контрольных точек (контрольных сечений) объекта. Элементы объекта, не подлежащие контролю, могут быть показаны упрощенно или вообще исключены из изображения. При необходимости эскиз контролируемого объекта выполняется с указанием параметров расположения контрольных точек или сечений на необходимом для этого числе проекций (разрезов, сечений).

2. Направления и характер вспомогательных относительных перемещений чувствительного элемента СИ и контролируемого объекта (указывают при необходимости, например, в тех случаях, когда контрольное сечение не фиксировано, и его необходимо найти в ходе измерений).

Схемы контрольных точек (контрольных сечений) могут дополняться требованиями к их расположению и идентификации на объекте измерений, например:

- «Контрольные сечения располагать равномерно на всей длине контролируемой ступени вала. Крайние сечения должны находиться на расстоянии не менее 2 мм от торцов, ограничивающих контролируемую ступень».

- «Контрольные точки располагать равномерно, по сетке с одинаковыми шагами на всей площади номинально плоской поверхности. При обнаружении экстремумов провести дополнительные измерения в исследуемой области по более густой сетке и внести в схему измерений новые контрольные точки либо зафиксировать видоизмененную сетку с неравномерными шагами».

- «Перемещение измерительной головки при контроле полного радиального биения в сечениях № 1...N осуществлять с сохранением начала отсчета отклонений в системе координат, связанной с базовой осью».

Примеры схем расположения контрольных точек для случаев исследования прямолинейности и плоскостности, а также примеры указания контрольных сечений при измерении размеров поперечного сечения цилиндрического валика при контроле радиального и полного радиального биений одной из цилиндрических поверхностей детали типа «вал» представлены на рис. 7.1. На схемах не указаны направления измерений, базовые элементы деталей и базисные устройства средств

измерений, поскольку они не являются элементами схем контрольных точек (сечений).

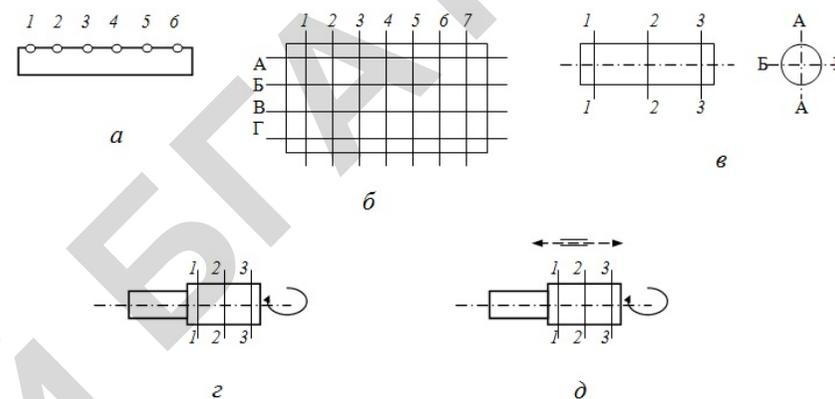


Рис. 7.1. Схемы расположения контрольных точек и сечений:

*a* – для измерения прямолинейности профиля; *б* – для измерения плоскостности (контрольные точки  $A_1, A_2, \dots, A_7$  расположены на пересечении прямых, образующих регулярную сетку); *в* – для измерения поперечных размеров цилиндрического ролика; *г* – для измерения радиального биения наружной цилиндрической поверхности в ряде сечений (показано одно вспомогательное перемещение – относительное перемещение объекта и чувствительного элемента СИ, обычно реализуемое за счет вращения детали); *д* – для измерения полного радиального биения наружной цилиндрической поверхности (дополнительно показана необходимость координированного взаимного перемещения чувствительного элемента и детали в осевом направлении)

Схема контроля (схема измерительного контроля) конкретного геометрического параметра объекта является составной частью методики контроля и должна графически отображать реализацию этого процесса.

Схема контроля объекта по заданному геометрическому параметру должна включать:

1. Эскиз изделия с выделенным контролируемым элементом и базовыми (если базовые не совпадают с контролируемым) элементами. Могут быть показаны упрощенно или вообще исключены из изображения объекта контроля элементы, не подлежащие контролю и не являющиеся базовыми.

2. Указание контрольных точек (контрольных сечений) объекта. При необходимости выполняется отдельная схема контрольных

точек (сечений) или дополнительный эскиз контролируемого объекта со всеми контрольными точками (контрольными сечениями) и указанием параметров расположения контрольных точек или сечений.

3. Схематическое изображение средства измерений в одном или нескольких видах («проекциях») с обязательным включением условных обозначений базирующих элементов средства измерений и его чувствительных элементов. Остальные элементы средства измерений, вспомогательные устройства, установочные меры изображают при необходимости. Чувствительные элементы могут совпадать с базирующими. Так, для накладных приборов типа микрометров гладких и микрометров рычажных базирующие элементы (пятки прибора) одновременно являются его чувствительными элементами.

4. Обозначения направлений и указание характера (непрерывный, дискретный) измерительных перемещений, а также (при необходимости) схематические изображения обеспечивающих эти перемещения кинематических элементов. Не указывают очевидные направления измерительных перемещений, а также кинематические элементы, являющиеся органической частью применяемых СИ, например, направляющие штока измерительной головки.

5. Обозначения направлений и указание характера (при необходимости) всех вспомогательных и установочных перемещений для осуществления контроля (для получения адекватной модели контролируемого объекта), а также схематические изображения обеспечивающих эти перемещения кинематических элементов.

К вспомогательным перемещениям относятся те, которые обеспечивают поиск направления линии измерений на объекте или необходимы для получения значений измеряемой величины в исследуемом контрольном сечении. Например, при измерении размера отверстия поиск направления линии измерения на объекте осуществляют покачиванием нутромера в отверстии для поиска сечения, нормального образующим.

Для получения значений измеряемой величины в исследуемом контрольном сечении необходимы такие вспомогательные перемещения, как вращение детали при измерении биений, перемещение измерительной головки по нормали к линии измерения при измерении полного радиального или торцового биения и т. д.

К вспомогательным перемещениям относят также те, которые обеспечивают перенос линии измерений в новую контрольную точку (сечение) для поиска экстремальных значений контролируемых параметров (например, перемещения нутромера для поиска наименьшего и наибольшего размеров отверстия в контролируемом продольном сечении, перемещение измерительной головки вдоль цилиндрической поверхности для нахождения наибольшего значения радиального биения). Установочные перемещения – те, которые применяются для обеспечения правильной установки прибора в пространстве и при настройке прибора на меру.

В некоторых случаях может понадобиться отдельная схема настройки средства измерений на меру (блок или ансамбль мер). Например, если измерение осуществляется методом замещения и мера не является геометрическим аналогом контролируемого объекта, дополнительное изображение необходимо для указания настроечных и (или) установочных перемещений. Так, при измерении номинально цилиндрического отверстия с настройкой индикаторного нутромера по блоку концевых мер с боковиками установочные перемещения не соответствуют вспомогательным перемещениям, осуществляемым при измерении отверстия. Самостоятельная схема настройки средства измерений может понадобиться, например, для моделирования инструментальных погрешностей при настройке многомерного средства контроля на сложную меру или несколько мер (ансамбль мер).

Схема контрольных точек (сечений) может входить в схему контроля, если такое совмещение не затрудняет чтение. Схема контроля может включать несколько «проекций», если это необходимо для указания установочных и вспомогательных перемещений.

### **7.3. Условные обозначения элементов метрологических схем**

Для изображения контрольных схем и схем измерений следует, по возможности, использовать условные обозначения из ЕСКД. Необходимо также использование специальных обозначений (измерительные головки, стандартные стойки и штативы, чувствительные и базирующие элементы СИ и т. д.).

Примеры возможных условных обозначений различных элементов для схем контроля приведены ниже. На рис. 7.2 даны условные

обозначения контактных чувствительных элементов средств измерений геометрических параметров. Бесконтактные элементы (оптические, пневматические, электрические) обозначаются разработчиком схемы самостоятельно с обязательным указанием соответствующего условного обозначения и необходимых пояснений вне схемы.

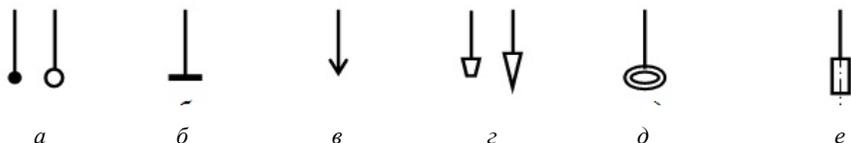


Рис. 7.2. Условные обозначения контактных чувствительных элементов средств измерений геометрических параметров:  
*a* – сферические; *б* – плоский; *в* – ножевой; *г* – конические; *д* – торoidalный; *е* – цилиндрический

Условные обозначения базирующих элементов приведены на рис. 7.3. На последующих рисунках представлены: условные обозначения измерительных головок и первичных измерительных преобразователей (рис. 7.4), условные обозначения промежуточных измерительных преобразователей (рис. 7.5), направляющие продольного перемещения и опор вращательного движения (рис. 7.6), примеры обозначений вспомогательных перемещений (рис. 7.7), а также измерительных, или «отсчетных», перемещений (рис. 7.8).

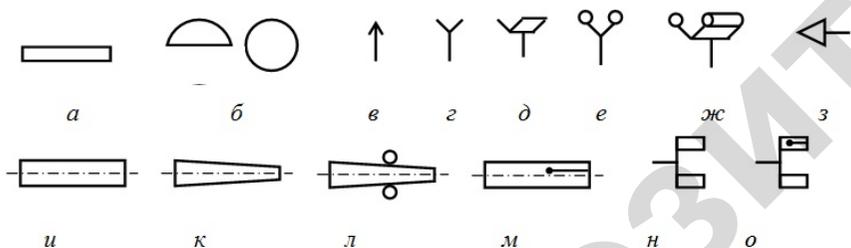


Рис. 7.3. Условные обозначения базирующих элементов средств измерений геометрических параметров:

*a* – плоский; *б* – сферический; *в* – ножевой; *г* – призматический с ножевой призмой; *д* – призматический с плоскими гранями; *е* – призматический с дисковыми роликами; *ж* – призматический с цилиндрическими роликами; *з* – конический (центр); *и* – оправка цилиндрическая; *к* – оправка коническая; *л* – оправка разжимная шариковая; *м* – оправка разжимная цанговая; *н* – патрон кулачковый; *о* – патрон цанговый

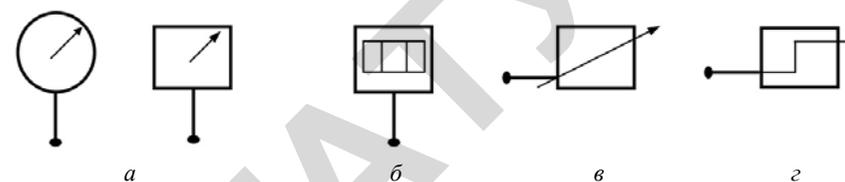


Рис. 7.4. Условные обозначения измерительных головок и первичных измерительных преобразователей:

*a* – аналоговые измерительные головки; *б* – дискретная (цифровая, числовая) головка; *в* – аналоговый первичный измерительный преобразователь; *г* – дискретный первичный измерительный преобразователь

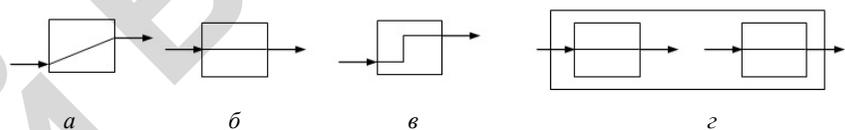


Рис. 7.5. Условные обозначения промежуточных измерительных преобразователей:

*a, б* – аналоговые; *в* – дискретный (цифровой); *г* – сложный (многоступенчатая цепочка измерительных преобразователей)

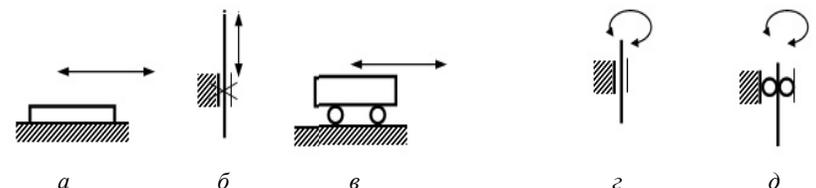


Рис. 7.6. Условные обозначения направляющих и опор:

*a* – продольного перемещения с трением скольжения; *б* – продольного перемещения с трением скольжения и фиксацией; *в* – продольного перемещения с трением качения; *г* – вращения с трением скольжения; *д* – вращения с трением качения



Рис. 7.7. Перемещения вспомогательные (примеры условных обозначений):

*a* – прямолинейное непрерывное; *б* – прямолинейное непрерывное в прямом и обратном направлениях; *в* – прямолинейное дискретное в прямом и обратном направлениях; *г* – прямолинейное непрерывное в двух взаимно перпендикулярных направлениях (двухкоординатное); *д* – круговое непрерывное в прямом и обратном направлениях

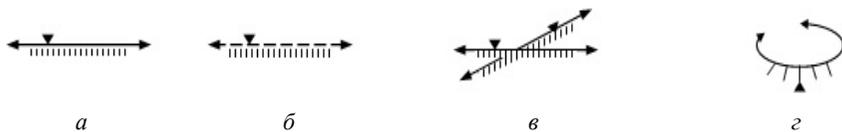


Рис. 7.8. Перемещения измерительные, или «отсчетные» (примеры обозначений): *a* – прямолинейное непрерывное в прямом и обратном направлениях; *b* – прямолинейное дискретное в прямом и обратном направлениях; *в* – прямолинейное непрерывное в двух взаимно перпендикулярных направлениях (двухкоординатное); *г* – круговое непрерывное

На рис. 7.9 представлены примеры схем контроля биений поверхностей деталей типа «вал»: радиального биения при базировании детали в двух призмах (рис. 7.9, *a*) и торцового биения при базировании в одной призме (рис. 7.9, *б*). Показаны также вспомогательные базы у левого торца вала и силовое замыкание (сила  $F$ ), вспомогательное вращательное движение вала, обеспечивающее измерение отклонений радиусов-векторов или осевых отклонений по всему контрольному сечению.

На рис. 7.9, *a* представлены три контрольных сечения (1, 2 и 3), равномерно расположенные вдоль контролируемой поверхности, и показано вспомогательное перемещение измерительной головки (дискретное прямолинейное перемещение вдоль оси детали, которое может осуществляться путем перестановки измерительной головки). На рис. 7.9, *б* показано только одно контрольное сечение, лежащее на радиусе  $R$ .

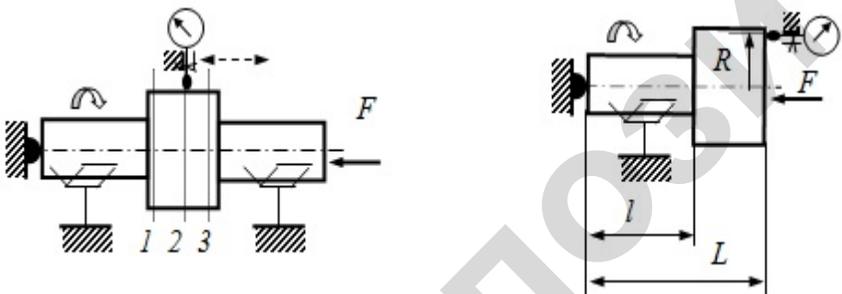


Рис. 7.9. Схемы контроля радиального (*a*) и торцового (*б*) биений поверхностей

Если схема будет использоваться не только для описания МВИ, но и для функционального анализа погрешностей и расчетов составляющих, будут необходимы значения  $R$ ,  $L$ ,  $l$ , которые должны быть приведены непосредственно на схеме или в сопровождающем ее текстовом описании. Отсчетные устройства в соответствии с обозначениями на схемах – аналоговые измерительные головки. Направления измерительных перемещений не указываются, поскольку они очевидны.

## **8. МЕТРОЛОГИЧЕСКАЯ ЭКСПЕРТИЗА ОБЪЕКТОВ НА БАЗЕ КОНСТРУКТОРСКОЙ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ**

### **8.1. Постановка и решение задач метрологической экспертизы изделий на базе конструкторской документации**

Проверка возможности измерения параметров изделия, назначенных при его проектировании, проводилась всегда, поскольку требования к параметрам должны быть выполнимы и проверяемы. Формально такая проверка входила в непосредственные обязанности разработчиков, а также контролирующих и утверждающих документацию лиц. Однако объективно этот процесс не являлся метрологической экспертизой из-за отсутствия систематизированного подхода и недостаточной метрологической подготовки конструкторов. Необходимость введения метрологической экспертизы как особого вида работ появилась в связи с повышением сложности разрабатываемых изделий, ужесточением требований к точности их параметров. Знаний конструкторов оказалось недостаточно для решения сложных задач измерительного контроля, а повышение их квалификации в этой области было менее рационально, чем приглашение экспертов-метрологов. В результате оформления норм такой автономной деятельности появился первый стандарт на метрологическую экспертизу (ГОСТ 8.103–73 в настоящее время отменен).

Эффективность метрологической экспертизы тем выше, чем раньше она начата, так как недостатки метрологического характера и их последствия легче устранить при раннем обнаружении. Метрологическую экспертизу сложного изделия необходимо начинать еще до разработки основной конструкторской документации объекта и проводить на всех этапах разработки, анализируя все документы, начиная с заявки на разработку, технического задания на проектирование и технического предложения. Чем полнее проведена экспертиза объекта, тем грамотнее будет осуществлено его метрологическое обеспечение.

На «предпроектных» этапах в документах фиксируют только основные параметры будущего изделия. Это дает возможность предварительно оценить контролепригодность главных параметров проектируемого изделия и перспективы его метрологического обеспечения на завершающей стадии (стадии производства) с использованием универсальных средств измерений или средств измерений, специально разработанных для контроля параметров изделия-прототипа. Оценки носят предварительный характер, поскольку ни конкретные значения параметров, ни их реализация в будущем изделии точно неизвестны. Вопросы метрологического обеспечения производства на промежуточных стадиях (производство деталей и сборочных единиц) на данном этапе не рассматриваются из-за отсутствия необходимой информации.

Экспертиза изделия на этапах разработки проектной и рабочей документации (технического проекта, сборочных чертежей и чертежей деталей, пояснительной записки, технических условий, программы и методики испытаний) отличается тем, что появляются новые задачи, а условия задач, поставленных на предыдущих этапах, приобретают большее информационное наполнение, значит, принимаемые решения могут быть более конкретными.

Поскольку при метрологической экспертизе изделий на основе проектной и рабочей документации принципиально невозможно решить все задачи, поставленные действующим документом РМГ 63–2003, постановку задач и полноту их решения эксперт определяет самостоятельно в соответствии с доступной ему конкретной информацией.

Например, чтобы оценить рациональность номенклатуры измеряемых параметров, необходимо иметь все нормированные параметры и номенклатуру выбранных для измерений параметров. При формальном подходе контролю подлежат все назначенные параметры, следовательно, рациональность номенклатуры измеряемых параметров оценке не подлежит. Исключение составляют сборочные единицы и более сложные изделия, для которых контролируемые параметры и характеристики выбраны из всех возможных и однозначно определены в технической документации.

Для деталей задача оценивания рациональности номенклатуры измеряемых параметров фактически заменяется задачей рационального

выбора параметров, подлежащих экспертизе. Выбор осуществляют на базе функционального анализа изделия (анализа влияния точности всех нормированных параметров на выходные характеристики изделия). Поскольку решение принимают экспертным методом, строго подтвердить или опровергнуть рациональность выбранной для измерений номенклатуры параметров практически невозможно.

Без достаточно полно разработанных методик выполнения измерений не могут быть решены такие задачи, как анализ оптимальности требований к точности измерений, объективности и полноты требований к точности средств измерений, соответствия фактической точности измерений требуемой.

В обязанности конструктора не входит выбор средств измерений и разработка методик выполнения измерений. Такие задачи решают, когда в конструкторскую документацию включают описания процессов контроля, например, для приемки или испытаний изделия.

Структуру экспертизы изделий удобно рассмотреть на примере экспертизы простейших изделий – деталей. Чертежи деталей представляют собой самый массовый вид конструкторской документации. Привлечение метрологов к экспертизе деталей в большинстве стандартных случаев нецелесообразно. Основной объем метрологической экспертизы деталей должен выполняться самими разработчиками и только при появлении сомнений в достаточности собственной квалификации для решения сложных метрологических задач следует приглашать эксперта-метролога. Практика показывает, что перед исполнителями метрологической экспертизы изделий могут быть поставлены следующие задачи:

- оценка оформления метрологических требований (задача нормоконтроля);
- определение номенклатуры экспертируемых требований и норм;
- выделение из экспертируемых требований и норм очевидно контролепригодных;
- определение требований и норм, контролепригодность которых вызывает сомнения;
- разработка структуры методик контроля сомнительных требований и норм;

- выявление дефектных требований и норм;
- разработка предложений по корректированию дефектных требований и норм;
- разработка методик контроля корректированных требований и норм (при необходимости);
- оформление результатов экспертизы (предварительное);
- контроль результатов экспертизы (самоконтроль);
- окончательное оформление результатов экспертизы.

Примеры проведения метрологической экспертизы деталей представлены в прилож. 6 и 7.

Выявление требований и норм, контролепригодность которых очевидна или сомнительна, в каждом конкретном случае базируется на решении задачи определения контролепригодности параметра. Эта задача, в свою очередь, разделяется на две:

- оценка инструментальной доступности параметра;
- определение возможности обеспечения требуемой точности измерений.

Нормативные документы на чертежи деталей не предусматривают включения в них описаний методик выполнения измерений. Однако без выяснения контролепригодности параметров экспертизу нельзя считать законченной, а это, в свою очередь, требует разработки МВИ.

Специфика экспертизы деталей по их чертежам заключается в том, что для определения контролепригодности необходимо сначала предложить методику выполнения измерений для контроля каждого из исследуемых на контролепригодность параметров, а затем проверить возможность обеспечения контроля с использованием предложенной самим экспертом МВИ. Следует понимать принципиальные различия между официальным описанием МВИ, отвечающим требованиям ГОСТ 8.010, и «виртуальной МВИ», которую эксперт-метролог только обозначает для себя при экспертизе, чтобы убедиться в принципиальной контролепригодности параметра.

В ходе решения задач контролепригодности можно рассматривать использование типовых (аттестованных) МВИ, оригинальных МВИ, предложенных экспертом и предусматривающих применение универсальных средств измерений, а также оригинальных МВИ, основанных на применении специальных средств измерений, которые следует раз-

работать и аттестовать к началу производства изделия. Очевидно, что эксперт не обязан и не может в ходе экспертизы разрабатывать конструкторскую документацию на нестандартное средство измерений, предназначенное специально для обеспечения контролепригодности конкретного параметра. Однако эксперт в состоянии оценить возможность проектирования такого средства измерений и даже предложить его «схемное решение». Такое «схемное решение» может послужить для разработки технического задания на соответствующее нестандартное средство измерений, а также для оценки (прогнозирования) погрешностей измерений с использованием этого средства (с учетом методических составляющих).

При оценке точности измерений геометрических параметров необходимо учитывать погрешности базовых поверхностей деталей. В случае неконтролепригодности из-за неудовлетворительных соотношений между нормами точности геометрических параметров эксперт может предложить корректировку норм до соотношений, которые обеспечат контролепригодность параметров.

Если в ходе экспертизы разрабатывать описание МВИ, ориентируясь на ГОСТ 8.010, то оно должно включать:

- назначение МВИ;
- метод (методы) измерений;
- требования к погрешности измерений и (или) приписанные характеристики погрешности измерений;
- требования к средствам измерений (в том числе к стандартным образцам, аттестованным смесям), вспомогательным устройствам, материалам, растворам или соответствующие ссылки на документы, где имеются требования к средствам измерений (стандарты, технические условия);
- условия измерений;
- требования к обеспечению безопасности выполняемых работ;
- требования к обеспечению экологической безопасности;
- требования к квалификации операторов;
- операции при подготовке к выполнению измерений;
- операции при выполнении измерений;
- операции обработки и вычислений результатов измерений;
- нормативы, процедуру и периодичность контроля погрешности результатов выполняемых измерений;

- требования к оформлению результатов измерений;
- другие требования и операции (при необходимости).

Кроме того, в соответствии с изменением № 1 ВУ ГОСТ 8.010 в МВИ могут быть приведены не только показатели точности (правильности и (или) прецизионности) в соответствии с требованиями СТБ ИСО 5725-1 (раздел 7) и приписанные характеристики погрешности, но и (или) характеристики неопределенности измерения. В этом случае в описание МВИ может включать алгоритм оценивания неопределенности измерения. Процедуры и периодичность контроля точности получаемых результатов измерений при использовании МВИ в аккредитованных лабораториях разрабатывают с учетом требований СТБ ИСО 5725-6 (раздел 6) и СТБ ИСО/МЭК 17025 (пункт 5.9).

Из такого описания МВИ можно сделать вывод о контролепригодности параметров, однако при экспертизе детали столь полное описание представляется избыточным. Кроме того, разработанные материалы не будут включены в экспертное заключение, следовательно, в реальной экспертизе подробное описание МВИ не является необходимым. Оно может представлять интерес как составная часть курсовой работы для представления объема выполненной экспертной работы и уровня ее квалификации. Кроме того, полное описание МВИ полезно начинающему эксперту, а в курсовой работе, где объектом экспертизы не является метрологическое мероприятие, оно позволит полнее продемонстрировать квалификацию исполнителя.

Решение задачи инструментальной доступности параметра при экспертизе детали в стандартных случаях считается очевидным, поскольку выбор средств измерений изначально определяется конструкцией их чувствительных элементов и диапазоном измерений. Неочевидные случаи (нормы, контролепригодность которых вызывает сомнения) эксперт анализирует отдельно. Проверку возможности получения сигнала измерительной информации от объекта (доступа чувствительных элементов средств измерений к контролируемым поверхностям) и возможности манипулирования первичными преобразователями в ограниченном пространстве эксперты проводят на основании информации о конструктивных особенностях средств измерения, в том числе нестандартизованных.

Для анализа контролепригодности параметра по нормам точности из всех разделов МВИ, требующихся по ГОСТ 8.010, можно выбрать те, которые устанавливают нормы погрешностей измерений и оценки значений ожидаемых погрешностей. Следовательно, необходимы краткие описания средств измерений и вспомогательных устройств (если они используются), характеристика метода измерений (для обеспечения возможности оценки значений ожидаемых методических погрешностей), описания условий измерений и требований к квалификации операторов.

Разрабатываемое в этой части экспертизы краткое описание методики выполнения измерений может иметь упрощенную форму и включать:

- наименование и характеристику объекта измерения и измеряемой физической величины с указанием допустимой погрешности измерений;
- характеристику метода измерений;
- наименования и характеристики средств измерений (СИ) и вспомогательных устройств, метрологические характеристики СИ;
- указание погрешности измерений и вывод о ее соответствии требованиям.

При обнаружении экспертом неконтролепригодных параметров детали нормы точности этих параметров могут быть поставлены под сомнение. Если слишком большие погрешности измерений обусловлены неудачным выбором измерительных баз, конструкцию следует корректировать. Конструкторы часто назначают высокие требования к точности параметров расположения по отношению к грубым базам, что приводит к неопределенности результатов измерений, которая может превосходить значения допустимых погрешностей измерений. Поэтому проверка контролепригодности геометрических параметров детали включает в себя контроль точности измерительных баз и контроль правильности соотношений между допусками размеров, формы, расположения и высотными параметрами шероховатости как исследуемых, так и базовых поверхностей.

Для оценки правильности соотношений между допусками размеров, формы и расположения, а также между лимитирующими параметрами макрогеометрии поверхностей и высотными парамет-

рами их шероховатости (параметрами микрогеометрии) можно использовать материал раздела 5.

Формальный подход к экспертизе деталей подразумевает проведение анализа всех без исключения точностных требований, что требует переработки огромного объема информации. Рациональное уменьшение объема работ вполне осуществимо при выполнении метрологической экспертизы только функционально важных параметров изделия (основных параметров) и тех параметров, контролепригодность которых вызывает сомнения. Выделение основных параметров серийно выпускаемых изделий должно осуществляться на основе требований к их функциональной взаимозаменяемости. Метрологическая экспертиза, направленная на обеспечение функциональной взаимозаменяемости, предусматривает назначение на каждый функционально важный параметр экономически оптимального допуска, обеспечивающего качественную работу всего изделия в целом при приемлемых затратах на обработку детали.

Необходимость оптимизации норм точности может возникнуть, если при метрологической экспертизе чертежей деталей будут обнаружены:

- назначенные конструктором недостаточно жесткие допуски, не обеспечивающие нормальную работу сопряжения и изделия в целом;
- избыточно жесткие допуски (высокие требования к точности, не имеющие достаточных обоснований);
- не увязанные между собой допуски, входящие в конструкторские, технологические и (или) измерительные размерные цепи;
- размеры и допуски, назначенные конструктором без учета возможностей современных средств измерения.

Необходимость корректировки норм точности может возникнуть, в частности, если метрологическая экспертиза на предшествующих этапах проектирования не проводилась или при экспертизе на этих этапах были допущены ошибки.

Выделение параметров, контролепригодность которых является сомнительной, требует от эксперта определенного опыта работы с универсальными и нестандартизованными средствами измерений. Анализ подлежат не только возможности применения реально существующих нестандартизованных средств измерений, но и возможность использования «схемных решений» предлагаемых

средств измерений, которые необходимо разработать специально для данной конкретной измерительной задачи.

Важнейшим промежуточным результатом метрологической экспертизы детали является выбор методик измерительного контроля геометрических параметров. К сожалению, эта информация практически нигде не фиксируется, поскольку она не должна входить в экспертное заключение. Поэтому при разработке операций контроля параметров для технологических процессов всю работу по выбору методик измерительного контроля заново выполняет технолог, метрологическая квалификация которого существенно ниже, чем у эксперта-метролога. В результате эксперту-метрологу приходится повторно выполнять ту же работу при экспертизе технологических процессов, устраняя ошибки, допущенные разработчиком операций измерительного контроля. Оптимальным вариантом является фиксация промежуточных результатов метрологической экспертизы и передача их технологу в качестве исходных материалов для разработки операций измерительного контроля в технологических процессах.

Можно предложить такую последовательность действий при разработке методики измерительного контроля:

1. Выбор вида средства измерения, устройств базирования и вспомогательных устройств (накладной или станковый прибор с «двухточечной» или «трехточечной» схемой чувствительных элементов и т. д.).

2. Выбор схем измерений и измерительного контроля (определяют число контрольных точек или контрольных сечений, их расположение на измеряемой детали, вспомогательные манипуляции, например, такие как поиск «точки возврата» при выходе на экстремальный размер и т. д.).

3. Определение числа повторных наблюдений при измерении одной и той же величины (при необходимости), выбор методов математической обработки и форм представления результатов измерений.

4. Установление соответствия погрешности измерения требованиям достоверности и эффективности контроля (необходимо убедиться в том, что погрешность измерения не превышает допустимую, а также в том, что выбранная методика измерения может быть обеспечена наиболее простыми, удобными и надежными средствами измерений).

5. Внесение корректив в методики измерения и контроля (если это необходимо).

6. Фиксация методики измерительного контроля с учетом схемы измерений и средств измерений.

Последнее действие не является обязательным, если ориентироваться на нормативные требования к конструкторским документам. Однако поскольку положительным итогом метрологической экспертизы является подтверждение контролепригодности параметров, приходится решать практически все описанные задачи.

Если метрологическую экспертизу деталей осуществляют с привлечением конструктора-разработчика, то с ним согласуют номенклатуру геометрических параметров, подлежащих измерительному контролю, и при необходимости уточняют требования к точности параметров. Если конструкция изделия не позволяет обеспечить эффективный и достоверный контроль заданных параметров, следует проанализировать возможности коррекции баз, расширения допусков, изменения отдельных размеров, изменения требований к форме и расположению поверхностей, к шероховатости и т. д.

Для обеспечения квалифицированной метрологической экспертизы деталей субъекту хозяйствования желательнее регламентировать конкретные требования к ее проведению в специально разработанном документе (например, в стандарте организации). Эксперта надо снабдить методическими материалами, содержащими описание аттестованных методик выполнения измерений с указанием погрешностей измерений при использовании различных вариантов методик по типу РД 50-98-86 «Методические указания. Выбор универсальных средств измерений линейных размеров до 500 мм (по применению ГОСТ 8.051)». Полезным был бы также альбом применяемых на предприятии нестандартных средств измерений с указанием их метрологических характеристик и конструктивных особенностей. Такой комплект документов является достаточным для проверки контролепригодности большинства норм точности, устанавливаемых в чертежах деталей.

Промежуточные результаты метрологической экспертизы должны включать информацию по каждому из рассмотренных параметров и заключение о контролепригодности. Они могут быть оформлены в виде карточек экспертизы (по одной на каждый параметр), отдельных разделов экспертного заключения, либо строк специально подготовленной таблицы. Состав информации по каждому параметру может быть практически одинаков.

## 8.2. Постановка и решение задач метрологической экспертизы объекта на базе технологической документации

Объектами метрологической экспертизы в технологических процессах должны быть используемые в них процессы измерений и измерительного контроля параметров. Не исключается возможность экспертизы режимов технологических процессов, точности технологического оборудования, но все это, как правило, контролируют косвенно, опираясь на результаты выполнения технологических процессов. Что касается измерительного контроля параметров, то он должен обеспечить объективное заключение о годности полученных результатов, а значит, и о соответствии технологического процесса предъявляемым к нему требованиям. Точность технологического процесса обычно не цель, а средство обеспечения требуемой точности результатов его выполнения.

Метрологическая экспертиза технологических процессов в основном должна быть направлена на операции или процессы измерительного контроля параметров. Следовательно, в теоретическом плане объектом экспертизы должны быть описанные в техпроцессе методики выполнения измерений. Как показывает практика, фактическим объектом экспертизы являются неполные и произвольно представленные описания методик измерительного контроля параметров, получаемых в ходе выполнения технологических процессов. В технологических картах при описании операций или процессов контроля обычно дают ссылку на средства измерений и некоторые вспомогательные устройства, но практически никогда не приводят схемы контроля, допустимые погрешности измерений и оценки реализуемых погрешностей, а также другую необходимую информацию. Следовательно, «описание МВИ» в документации технологических процессов не соответствует требованиям нормативных документов, в частности ГОСТ 8.010.

Теоретически метрологическая экспертиза операций (процессов) технического контроля в технологических процессах в реальных ситуациях должна включать два этапа:

- проверка полноты описания методики контроля;
- экспертиза корректности приведенной информации об операции технического контроля.

Первый этап, казалось бы, носит формальный характер и должен завершиться заключением о достаточной полноте описания или предложениями о необходимых дополнениях, которые могут быть внесены по ходу второго этапа экспертизы. Однако, что касается полноты описания методик контроля, то в этом вопросе пока нет общепринятого подхода. В разных нормативных документах есть несогласованные моменты, имеются также недостаточно конкретные формулировки, которые позволяют «обходить» требования НД. В ГОСТ 8.010 указано, что он распространяется на методики выполнения измерений, характеристики погрешности которых определяются до практического применения МВИ. Данное требование для технического контроля можно считать очевидным (погрешность измерения не должна превышать допустимого значения), значит, МВИ в техпроцессах подпадают под юрисдикцию ГОСТ 8.010. Но поскольку требования ГОСТ 8.010 непосредственно не распространяются на операции измерительного контроля, то в описании техпроцесса подробные сведения об МВИ в соответствии с требованиями ЕСТД представляются избыточными.

В качестве компромисса можно предложить сокращенное описание операции измерительного контроля, которое обеспечивает достаточную полноту информации и может быть представлено в достаточно компактном виде. Как и при анализе контролепригодности параметра, по конструкторской документации из всех разделов МВИ по ГОСТ 8.010 можно выбрать те, которые устанавливают нормы погрешностей измерений и оценки значений ожидаемых погрешностей. В них могут войти краткие описания средств измерений и (при необходимости) вспомогательных устройств, характеристика метода измерений (для обеспечения возможности оценки значений ожидаемых методических погрешностей), описания условий измерений и требований к квалификации операторов.

Краткое описание операции измерительного контроля (упрощенная форма) должно включать:

- наименование и характеристику объекта измерительного контроля и измеряемой физической величины с указанием допустимой погрешности измерений;
- характеристику метода измерений;

- наименования и характеристики средств измерений (СИ) и вспомогательных устройств, метрологические характеристики СИ;
- указание погрешности измерений и вывод о ее соответствии требованиям.

При необходимости в описание следует включать дополнительные элементы:

- схему измерений ФВ,
- схему контрольных точек (контрольных сечений),
- условия измерений.

Работа на втором этапе метрологической экспертизы технического контроля в технологических процессах принципиально не отличается от экспертизы любой МВИ, и ее содержание аналогично работе при экспертизе деталей. Положительным результатом здесь можно считать заключение о соответствии точности экспертируемой методики контроля требованиям получения действительного значения измеряемой физической величины.

В технологических документах могут также встречаться описания методик измерений в составе операций регулировки или наладки технологического оборудования, которые также являются объектами метрологической экспертизы.

## **9. МЕТРОЛОГИЧЕСКАЯ И СТАНДАРТИЗАЦИОННАЯ ЭКСПЕРТИЗА СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ И МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕДУР**

Законодательная метрология своими нормативными документами устанавливает требования к средствам измерений и метрологическим процедурам, в которых они применяются. Кроме того, особую важность имеют метрологические аспекты таких объектов анализа. Поэтому анализ средств измерений и процедур их использования всегда превращается в комплексную метрологическую и стандартизационную экспертизу этих объектов.

Главные особенности экспертизы средств измерений (СИ), методик выполнения измерений (МВИ) и методик измерительного контроля заключаются в проверке соблюдения распространяющихся на эти объекты требований нормативных документов системы обеспечения единства измерений (стандартизационная экспертиза) и анализе погрешностей (метрологическая экспертиза).

### **9.1. Экспертиза средств измерений**

При экспертизе средств измерений максимальное внимание следует уделять указанию их метрологических характеристик (МХ). При представлении метрологических характеристик часто встречаются следующие ошибки:

- отсутствие необходимых характеристик;
- неправильные наименования характеристик, включая приписывание несуществующих характеристик.

Метрологические характеристики определены РМГ 29–99, а назначаемые для средств измерений разных видов комплексы метрологических характеристик определены в ГОСТ 8.009. При использовании интегральных метрологических характеристик следует помнить, что градуировочная характеристика средства измерений (зависимость между значениями величин на входе и выходе средства измерений, полученная экспериментально) отличается от номинальной статической характеристики наличием погрешностей. Каждая из этих характеристик связывает входную и выходную величины преобразующего СИ (измерительного преобразователя,

прибора, измерительного канала) и может быть выражена в виде формулы, графика или таблицы.

Частные метрологические характеристики весьма разнообразны, и часть из них представляет интерес для пользователя, другие принципиально важны только для разработчиков средств измерений. К последним можно отнести следующие:

- длина деления шкалы – расстояние между осями (или центрами) двух соседних отметок шкалы, измеренное вдоль воображаемой линии, проходящей через середины самых коротких отметок шкалы;
- длина шкалы – длина линии, проходящей через центры всех самых коротких отметок шкалы средства измерений и ограниченной начальной и конечной отметками;
- чувствительность средства измерений – свойство средства измерений, определяемое отношением изменения выходного сигнала этого средства к вызывающему его изменению измеряемой величины.

К частным характеристикам, важным и для пользователя, и для разработчиков, можно отнести следующие:

- диапазон измерений средства измерений;
- диапазон показаний средства измерений;
- вариация показаний измерительного прибора;
- порог чувствительности средства измерений (кроме этого термина, на практике применяются также термины «порог реагирования», «порог подвижности», «срабатывание», «порог срабатывания» и «пороговая чувствительность», которые следует рассматривать как синонимы, не подлежащие применению);
- зона нечувствительности средства измерений (иногда эту зону называют «мертвой»).

Номенклатура метрологических характеристик зависит от вида средства измерений, поскольку для разных СИ используют различные МХ и их комплексы. Средства измерений делят на осуществляющие измерительное преобразование (измерительные преобразователи, измерительные приборы и др.) и не осуществляющие измерительное преобразование (меры). В свою очередь, меры могут быть однозначными или многозначными, а последние могут представлять собой механическое объединение однозначных мер (двух-

предельный калибр, угловая мера с тремя или более рабочими углами) или штриховую меру (линейка, транспортир, измерительный сосуд).

Для однозначной меры набор метрологических характеристик включает значение меры  $Y$  и характеристики погрешностей меры, для многозначной штриховой меры, измерительного преобразователя или прибора состав комплекса МХ значительно расширен, сами комплексы нормированных характеристик могут существенно различаться.

Нормируемые метрологические характеристики средств измерений в соответствии с ГОСТ 8.009 делят на следующие группы:

- характеристики, предназначенные для определения результатов измерений (без введения поправки);
- характеристики погрешностей СИ;
- характеристики чувствительности СИ к влияющим величинам;
- динамические характеристики СИ;
- неинформативные параметры выходного сигнала СИ.

При необходимости также могут нормироваться и «характеристики СИ, отражающие их способность влиять на инструментальную составляющую погрешности измерений вследствие взаимодействия СИ с любым из подключенных к их входу или выходу компонентов (таких, как объект измерений, средство измерений и т. п.)».

Две первые группы МХ должны входить в состав комплекса характеристик любого СИ, остальные нормируют по необходимости. Необходимость включения тех или иных МХ в состав представляемого комплекса характеристик оценивают экспертным методом.

Значительное число ошибок, связанных с неправильными наименованиями характеристик или с использованием нестандартных терминов, встречаются при описании средств измерений с дискретным выходом (цифровые СИ).

Так, для приборов с дискретным устройством отображения измерительной информации обычно не нормируют непосредственно диапазон показаний, который определяется видом выходного кода и числом разрядов кода, хотя бывают и исключения. Код может быть десятиричный (десятичный), как у штангенциркулей или мультиметров, либо применяемые в «цифровых» часах двенадцатичный и двойной двенадцатичный (для числа часов в сутках), шестидесятиричный (для числа минут в часе или секунд в минуте),

семиричный код (для дней недели). Могут применяться и другие коды, например, в приборах для измерений углов ( $180^\circ$  для развернутого угла или  $360^\circ$  и более), двоичные, восьмиричные и иные – в дискретных измерительных преобразователях.

Для приборов с дискретным устройством отображения измерительной информации на цифровом табло важно также предельное число знаков на табло, в том числе цифр (число разрядов выходного кода) и других (не цифровых) знаков. Существенными признаками выходной информации являются виды знаков и их содержание, например, наличие фиксированной или плавающей разделительной десятичной запятой (точки), наличие минуса, знака переполнения или неправильного подключения прибора и др.

У приборов с дискретным устройством отображения измерительной информации может отсутствовать цена деления шкалы, тогда ее место занимает цена единицы наименьшего разряда кода, либо номинальная ступень квантования, если она больше цены единицы наименьшего разряда кода. Номинальная ступень квантования – наименьшее изменение измеряемой величины, на которое прибор реагирует сменой показаний на цифровом табло или ином устройстве отображения информации. Наименьшее значение номинальной ступени квантования совпадает с ценой единицы наименьшего разряда, а любое иное должно быть кратно этому значению. В случае десятичного выходного кода применяют множители кратности 2 или 5 (номинальная ступень квантования равна двукратному либо пятикратному значению цены единицы наименьшего разряда кода).

Приборы с дискретным выходом могут иметь устройства отображения измерительной информации типа шкала-указатель со всеми присущими им атрибутами: цена деления шкалы, диапазон показаний, пределы шкалы или диапазон шкалы, длина деления шкалы. Например, часы с шаговым двигателем и центральной секундной стрелкой имеют три указателя для одной шкалы с шестьюдесятью делениями. У таких часов три диапазона показаний (от нуля до шестидесяти – для числа секунд в минуте и минут в часе, плюс от нуля до двенадцати – для числа часов в сутках) и три цены деления (одна секунда, одна минута и одна пятая часа).

Диапазон измерений часто путают с диапазоном показаний, например, в характеристиках измерительных головок для линейных измерений. Диапазон измерений прибора в этом случае определяется

вспомогательными устройствами, в которые устанавливают эти головки (например, стойка, штатив, скоба). В некоторых приборах, предназначенных для измерений методом непосредственной оценки, диапазон измерений меньше диапазона показаний (не на всем диапазоне показаний прибора гарантирована паспортная погрешность). Корректное применение такого прибора возможно только на ограниченном участке диапазона показаний.

Для измерительных преобразователей диапазон и пределы преобразования могут вообще не устанавливаться, если они зависят не от самого преобразователя, а от устройств, с которыми он используется. Например, для тензопреобразователей, используемых в первичных измерительных преобразователях силы и деформаций, диапазон преобразуемых величин зависит не от самого тензопреобразователя, а от свойств упругого элемента, на который он наклеен.

Для некоторых первичных измерительных преобразователей диапазон преобразования может ограничиваться их физическими свойствами. Это касается термодпар, фотоприемников лучистой энергии, емкостных и ряда других преобразователей.

Для преобразователей с дискретной (цифровой, числовой) выдачей сигнала измерительной информации вместо диапазона и пределов преобразований приходится использовать такие МХ, как вид выходного кода и число разрядов выходного кода. Именно эти МХ ограничивают возможности выдачи выходного сигнала сверху и снизу.

Приписывание средствам измерений несуществующих метрологических характеристик, как правило, связано с невнимательностью разработчика. Так, иногда штриховым мерам приписывают диапазон измерений и диапазон показаний. Диапазон измерений многозначной штриховой меры сверху не ограничен (равен бесконечности). Вместо термина «диапазон показаний» для многозначных штриховых мер более корректно использование терминов «диапазон шкалы» и «пределы шкалы», поскольку указатель (как элемент конструкции СИ) в них отсутствует. Термины «диапазон шкалы» и «пределы шкалы» удобны также и для характеристики приборов с несколькими устройствами отображения информации типа шкала-указатель.

В описаниях средств измерений довольно часто представляют диапазон измерений одним (верхним) пределом, порог чувствительности называют «разрешающей способностью», силу действия измеритель-

ного наконечника на объект называют «измерительным усилием». Особенно часто встречаются ошибки в описаниях метрологических характеристик средств измерений с дискретным выходом: пишут о «диапазоне показаний», который для подобных приборов обычно заменяется видом выходного кода и числом разрядов этого кода, номинальную ступень квантования называют «разрешающей способностью», «дискретностью» или «величиной дискретности», а также другими терминами.

В описаниях СИ в технической литературе, паспортах и даже в нормативных документах не всегда различают понятия «погрешность» и «точность». Точность средства измерений как интегральная характеристика может описываться классом точности прибора, например, индикаторы часового типа по ГОСТ 577 могут быть первого или нулевого классов точности.

Во избежание ошибок, связанных с нормированием и описанием МХ СИ, разработчики и эксперты должны при первой необходимости обращаться к таким нормативным документам, как РМГ 29–99 и ГОСТ 8.009.

Пример метрологической экспертизы средства измерения приведен в прилож. 8.

## 9.2. Требования к методикам выполнения измерений и измерительного контроля

Методика выполнения измерений и измерительного контроля должна обеспечить требуемые:

- 1) точность,
- 2) экономичность,
- 3) безопасность измерений,
- 4) представительность (валидность) результатов измерений и контроля.

Поскольку идеальным результатом измерения является истинное значение физической величины (ФВ), которое получить невозможно, то оптимальным результатом измерения будет являться такая оценка измеряемой величины, которая может адекватно заменить недостижимое истинное значение. Этот подход зафиксирован в определении действительного значения физической величины (РМГ 29–99):

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

Цель любого измерения – получение действительного значения измеряемой физической величины, то есть такого значения, которое достоверно представляло бы истинное значение измеряемой ФВ. По-разному поставленным измерительным задачам соответствуют разные действительные значения одной и той же физической величины: одни значения могут быть приняты за действительные при измерительном контроле параметра, другие – при исследовании точности технологического процесса его получения.

Удовлетворительная точность измерений – необходимое условие для использования их результатов. Обеспечение точности измерений заключается в установлении требуемого соотношения допустимой погрешности измерений  $[\Delta]$  и значения предела реализуемой в ходе измерений погрешности  $\Delta$ :

$$\Delta \leq [\Delta].$$

Запас точности при измерении нерационален, поскольку предельное соотношение  $\Delta = [\Delta]$  обеспечивает достоверность измерительной информации, а уменьшение погрешности ведет к росту затрат на выполнение измерений.

При оценке экономичности измерений и измерительного контроля учитывают себестоимость измерительной операции, производительность измерений, необходимую квалификацию оператора, цену универсальных СИ, наличие конкурирующих СИ, пригодных для данных измерений, стоимость разработки и изготовления специального (нестандартизованного) СИ, возможность многоцелевого использования данных СИ и др. Экономичность измерений не рассматривают как абсолютное требование. Можно сравнивать только экономичность конкурентоспособных МВИ, применение которых гарантирует необходимую точность.

При рассмотрении безопасности измерений следует анализировать опасности, связанные с измеряемым объектом, а также те, которые могут нести средства измерений. Опасны такие явления, связанные с измеряемыми величинами и энергонасыщенными объектами измерений, как высокие давления, механические и элект-

трические напряжения, сила электрического тока, радиоактивность и многие другие. Источниками опасности в применяемых средствах измерений могут быть используемые для измерительных преобразований высокие давления и электрические напряжения, когерентные пучки оптических частот и прочие, энергетически насыщенные явления.

Обеспечение представительности (валидности) результатов измерений выходит за рамки разработки МВИ в узком смысле. При измерениях необходимо обеспечить получение действительного значения одной измеряемой физической величины. Следует различать представительность измерений и измерительного контроля. При измерительном контроле представительными можно считать результаты, которые позволяют по измеряемым параметрам создать экспериментальную модель контролируемого объекта, адекватно представляющую его в рамках поставленной задачи контроля. Ситуация усложняется, если контролируемый параметр представляет собой множество номинально одинаковых физических величин, принадлежащих объекту. Если тело имеет только одну массу или один объем, то «диаметров» или площадей поперечных сечений у одной номинально цилиндрической поверхности – бесконечное множество. В таких ситуациях для экспертизы бывает необходимо создание метрологических моделей.

Примерами соответствия «один объект – одна ФВ» являются масса тела, сопротивление резистора, температура плавления вещества. Ситуацию «один объект – множество номинально одинаковых ФВ» можно рассмотреть на примере таких геометрических параметров детали, как расстояние между номинально плоскими гранями, «диаметры» номинально цилиндрической поверхности в разных сечениях, угол между номинально плоскими гранями.

Измерения одной ФВ могут характеризовать объект измерения в целом или одну из величин, составляющих на объекте множество номинально одинаковых ФВ. Представительность измерительного контроля объекта с множеством номинально одинаковых ФВ характеризует результаты принципиально иного процесса исследования объекта. При измерительном контроле очевидная необходимость обеспечить представительность результатов каждого измерения дополняется необходимостью обеспечить представительность (адекватность объекту) экспериментальной модели контролируемого объекта, построенной на основе результатов измере-

ний. Если представительность результатов измерений одного «диаметра» детали связана только с погрешностью измерений, то представительность измерительного контроля детали в поперечном сечении дополнительно определяется числом контрольных сечений и их расположением.

Необходимы совершенно разные подходы к обеспечению представительности при измерительном контроле одного объекта и при измерительном контроле множества номинально одинаковых объектов. Еще более сложная ситуация возникает при выборочном контроле партии однотипных объектов. Представительность выборки должна обеспечить статистически достоверную оценку всей партии объектов, на которую распространяют результаты контроля.

Принципиально отличаются также задачи измерений одной ФВ и разных ФВ или изменяющейся ФВ. При многократных измерениях одной и той же ФВ представительность результата измерений связана с числом наблюдений при измерениях: чем больше (в разумных пределах) наблюдений в серии, тем более четко проявляются систематические составляющие погрешности измерений и тем достовернее становятся статистические оценки средних квадратических значений и доверительных границ случайной погрешности. Представительность результата измерений при многократных наблюдениях одной и той же ФВ зависит также от выбранной доверительной вероятности. Уровень представительности тем выше, чем больше вероятность накрытия истинного значения полученной в ходе измерений интервальной оценкой.

При измерительном контроле объекта, несущего множество номинально одинаковых ФВ, представительными можно считать результаты, которые с достаточной полнотой характеризуют исследуемый объект. Представительность в таком случае обеспечивается числом измерений и правильным выбором контрольных точек (контрольных сечений) и достаточным числом сечений. Число измерений в каждом сечении при измерительном контроле минимально (как правило, одно измерение и только при подозрении получения ошибочного результата, т. е. результата с грубой погрешностью – два-три измерения).

Получение непредставительных результатов при измерении номинально одинаковых физических величин может быть вызвано пренебрежением к неидеальности объекта измерения. Так, реальная

поверхность шейки вала может отличаться от прямого кругового цилиндра, например, наличием овальности или огранки в поперечном сечении, конусообразности или бочкообразности в продольном сечении или другими погрешностями формы. В подобном случае представительность результатов измерительного контроля зависит не только от числа и расположения контрольных сечений, но и находится в непосредственной связи с методическими погрешностями измерений и обеспечивается только при их удовлетворительных (пренебрежимо малых) значениях. Наибольшую опасность представляют невыявленные методические погрешности, например, такие как отклонения от круглости в виде нечетной огранки при двухконтактной схеме измерений.

Примеры множества номинально одинаковых ФВ на множестве однородных (однотипных) объектов – массы однотипных деталей в партии, геометрические размеры и твердость их одинаковых поверхностей, выходные напряжения одинаковых источников постоянного тока (батареек), фокусные расстояния однотипных линз.

Представительность результатов выборочного (не сплошного) измерительного контроля номинально одинаковых ФВ, принадлежащих разным объектам, включает две составляющие: представительность результатов измерительного контроля каждого из объектов и представительность выборки из партии объектов.

Представительность результатов измерений разных ФВ или изменяющейся ФВ можно свести к задачам различения отдельных измеряемых величин, причем различия могут быть вызваны систематическими и стохастическими причинами. Глубина изучения каждой из величин и их различий определяются поставленными задачами исследований.

При инструментальной доступности параметра и наличии нескольких конкурирующих вариантов МВИ выбор конкретного варианта начинают с проверки удовлетворения главных требований – обеспечения достаточной точности и представительности. Затем можно сопоставлять МВИ по неметрологическим свойствам (производительность, себестоимость измерений, уровень безопасности и др.). Выбор зависит от конкретных требований и ресурсов, в соответствии с которыми и определяют критерии для оценки конкурентоспособных МВИ.

*Задачи измерений и выбор допустимой погрешности измерений.* Разные задачи измерений требуют различной точности. Так, погрешности поверки (приемочного контроля) однозначной меры могут быть большими, чем погрешности ее аттестации на определенный разряд. Задачи измерений с позиций требуемой точности необходимо рассматривать в зависимости от предполагаемого использования результатов. Измерительная информация может служить для обеспечения следующих процедур:

- измерительный приемочный контроль объекта по заданному параметру;
- сортировка объектов на группы по заданному параметру;
- арбитражная перепроверка результатов измерений;
- получение ориентировочной (приблизительной) оценки заданного параметра;
- получение информации об исследуемой величине в ходе экспериментального исследования.

К перечисленным классам сводится абсолютное большинство измерительных задач.

Необходимую точность измерения обычно устанавливают, нормируя значение допустимой погрешности измерения  $[\Delta]$ . Погрешность должна быть пренебрежимо малой (не оказывает значимого влияния на достоверность результата измерения и позволяет использовать его как оценку истинного значения измеряемой величины). Устанавливать значение пренебрежимо малой погрешности измерения (измерительного контроля) для некоторых задач метрологии стали при организации серийного производства и внедрении системы допусков.

Особенности измерительных задач состоят в том, что в их условие может входить или не входить нормируемая неопределенность измеряемой физической величины (допуск параметра). Если неопределенность измеряемого параметра нормирована допуском или задана другим способом, такой тип измерительных задач принято называть корректно поставленными, или корректными. Допустимую погрешность измерения  $[\Delta]$  в таких задачах определяют, опираясь на допустимую неопределенность измеряемого параметра. Чтобы адекватно оценить параметр, погрешность измерения  $\Delta$  должна быть пренебрежимо мала по сравнению с допустимой неопределенностью измеряемого параметра.

Наиболее часто встречающимися производственными задачами, решаемыми на основе измерений, являются измерительный приемочный контроль объекта по заданному параметру и сортировка объектов на группы. Несколько реже приходится применять измерения для арбитражной проверки результатов уже выполненных измерений.

К корректным, с позиции выбора допустимой погрешности измерения, можно отнести следующие наиболее часто встречающиеся задачи:

- измерительный приемочный контроль объекта по заданному параметру с назначенным допуском;
- контроль точности средств измерений при поверке (заданная неопределенность параметра представляет собой погрешность средства измерения);
- сортировка объектов по заданному параметру на группы (сортировка на  $N$  групп, причем как минимум на две группы «годные – брак», можно на три группы «годные – брак исправимый – брак неисправимый» либо на большее число групп для последующей селективной сборки).

Корректной можно считать задачу выбора допустимой погрешности измерения для арбитражной перепроверки результатов измерительного приемочного контроля. К числу корректных можно также отнести задачу ориентировочной оценки заданного параметра объекта, если измеряемая величина является нормированной и измерения осуществляются для ее идентификации (например, определение номинального диаметра или шага резьбы, модуля зубчатого колеса, напряжения источника постоянного тока). В случае наличия ряда нормированных параметров можно использовать ступени градации в качестве значения, ограничивающего неопределенность измеряемой ФВ.

Поскольку для решения любой измерительной задачи необходимо выбрать значение допустимой (пренебрежимо малой) погрешности измерения, необходимы критерии пренебрежимо малых погрешностей, для расчета которых можно предложить соотношения, зафиксированные в нормативных документах (ГОСТ 8.051 и ГОСТ 8.207):

$$[\Delta] \leq A / 3 \quad (9.1)$$

$$\text{или} \quad [\Delta_s] \leq 0,8 \overset{\circ}{\sigma}[\Delta], \quad (9.2)$$

где  $[\Delta]$  – пренебрежимо малая случайная погрешность измерения, которую принимают за предел допустимой погрешности измерений;

$A$  – допустимая неопределенность измеряемого параметра (допуск параметра, основная погрешность поверяемого средства измерений и т. д.);

$[\Delta_s]$  – пренебрежимо малая неисключенная систематическая составляющая погрешности измерения, которую принимают за предел допустимой погрешности измерений;

$\overset{\circ}{\sigma}[\Delta]$  – среднее квадратическое отклонение, характеризующее допустимую или реализуемую неопределенность измеряемого параметра.

Критерий (9.1) предложен на основании соотношения, традиционно применяемого в метрологии для измерительного приемочного контроля:

$$([\Delta] \leq T / 3),$$

которое является вполне удовлетворительным при следующих допущениях:

- контролируемые параметры объекта (параметры партии объектов) имеют случайный характер;
- в результатах измерений доминирует случайная составляющая погрешности.

Допустимая неопределенность измеряемого параметра назначается как некоторая норма (например, допуск параметра  $T$ ), ограничивающая его допустимое рассеяние. Реализация неопределенности в партии объектов  $T'$  есть результат комплексирования поля практического рассеяния параметра при реализации технологического процесса и поля рассеяния погрешности его измерений.

Поле практического рассеяния при получении параметра обусловлено технологическими причинами и для годных объектов не превышает значения нормы  $T$ . Поле рассеяния погрешности измерений параметров не должно выходить за границы предельно допустимых погрешностей измерений, которые обычно нормируются предельными значениями  $\pm [\Delta]$ .

Возможное значение поля практического рассеяния параметра  $T'$ , искаженного из-за наложения на допуск  $T$  предельной погрешности приемочного контроля  $[\Delta]$ , при стохастическом характере рассеяния обеих входящих величин можно определить по правилу сложения дисперсий случайных величин:

$$T' = \sqrt{T^2 + [\Delta]^2} . \quad (9.3)$$

Элементарные расчеты показывают, что вероятностное искажение поля допуска по любой из границ (верхней или нижней) для принятого соотношения  $[\Delta]$  и  $T$  (в предельном случае равного  $1/3$ ) не превысит значения 5 % допуска. Такое искажение в технической практике вполне допустимо, поскольку округление значения неопределенности результата расчетов до двух значащих цифр в соответствии с требованиями МИ 1317 вносит большее искажение (до 10 % в сторону увеличения оценки). Следовательно, выбранный критерий можно рассматривать как вполне удовлетворительный.

Критерий (9.2) заимствован из ГОСТ 8.207 и может рассматриваться как стандартный критерий пренебрежимо малых величин неисключенных остатков систематических погрешностей. Его применение необходимо в ситуациях, когда рассеяние контролируемых параметров объектов в партии имеет случайный характер, а в результатах измерений доминирует неисключенная систематическая составляющая погрешности.

Корректное применение одного и другого критериев требует выполнения определенной аналитической работы.

Таким образом, измерения параметра при приемочном контроле, при арбитражной перепроверке результатов приемочного контроля или при поверке (фактически, при приемочном контроле) средств измерений в рассмотренных вариантах представляют собой корректно поставленные измерительные задачи. В ходе решения большинства таких задач допустимую погрешность измерений определяют, исходя из традиционного в метрологической практике соотношения:

$$[\Delta] \leq (1/5 - 1/3) A, \quad (9.4)$$

где  $A$  – допустимая неопределенность измеряемого параметра (допуск контролируемого параметра, погрешность измерения в ходе приемочного контроля, основная погрешность поверяемого СИ, минимальная ступень изменения номинального значения параметра).

Альтернативный тип измерительных задач (некорректно поставленные или некорректные задачи) – те, в условиях которых отсутствует опорное значение неопределенности измеряемой физической величины (нет явно или неявно заданной допустимой неопределенности). В таком случае для выбора допустимой погрешности измерения приходится либо искусственно вводить допустимую неопределенность измеряемой величины, либо выбирать допустимую погрешность измерения, руководствуясь как метрологическими, так и неметрологическими свойствами конкурирующих МВИ.

К некорректным можно отнести следующие группы измерительных задач:

- контроль параметра, ограниченного одним предельным значением (сверху или снизу);
- ориентировочная измерительная оценка ФВ, не являющейся нормированным параметром (измерения осуществляются для получения приблизительной оценки ФВ, которая может иметь произвольные значения);
- задачи измерений при проведении научного исследования, которые в общем случае можно представить следующими вариантами:
  - оценка пределов изменений исследуемой ФВ;
  - оценка характера изменения исследуемой ФВ.

Выбор допустимой погрешности измерения для приемочного контроля объекта по заданному параметру, если заданный параметр ограничен сверху или снизу одним предельным значением, представляет собой достаточно часто встречающуюся задачу. Если нормировано только одно предельное значение контролируемого параметра по типу  $R_{\max} = 0,5$  мм или  $L_{\min} = 50$  мм, задачу приемочного контроля необходимо привести к более корректному виду, для чего можно выбрать одно из двух направлений:

а) выбрать погрешность измерений из экономических соображений, затем принять ее за допустимую. Если пропуск брака не допускается, то контрольную границу смещают «внутрь» контролируемого параметра на ступеньку, равную выбранному значению

погрешности  $[\Delta] = \Delta_{\text{экон}}$ . В результате контрольная граница параметра  $H_k$  устанавливается по типу:

$$H_k = R_{\text{max}} - [\Delta],$$

или

$$H_k = L_{\text{min}} + [\Delta];$$

б) назначить некоторый условный допуск параметра (нормирующий допуск  $T_{\text{norm}}$ ) с полем допуска, ориентированным «внутри» параметра. После назначения допуска задача сводится к тривиальной и решается на основе зависимости, выраженной формулой (9.4):

$$[\Delta] \leq T_{\text{norm}} / 3.$$

В обоих случаях имеет место вероятность пропуска брака, которая теоретически примерно вдвое меньше, чем при измерительном приемном контроле параметра с двухпредельными ограничениями, поскольку нежелательный выход параметра за нормированные границы возможен только с одной стороны.

При ориентировочной (приблизительной) оценке ненормируемой физической величины можно назначить практически любую допустимую погрешность в разумных пределах. В таком случае выбирают первую же доступную методику выполнения измерений с произвольной погрешностью. Реализуемую в процессе измерений погрешность  $\Delta$  принимают за допустимую  $[\Delta]$ . Формальное описание выбора допустимой погрешности в этом случае измерений сводится к зависимости

$$[\Delta] = \Delta.$$

Если оценку ненормируемой ФВ используют для принятия управляющих решений (например, насколько тепло одеваться, можно ли положить определенную массу в пакет с ограниченной «грузоподъемностью»), то иногда возникает необходимость уточнения задачи измерения. В таком случае оценивают не только значение реализуемой погрешности измерений, но и возможные последствия искажений измерительной информации. Уточнение задачи измерения необходимо, если результаты измерений приближаются к некоторым пороговым значениям. Например, информация должна быть более определенной, если при ориентировочных измерениях необходимо однозначно ответить на вопросы о

возможном переходе температуры за точку замерзания (плавления), о возможности установки объекта в ограниченное пространство, близкое к его габаритам и т. д.

Ряд измерительных задач, возникающих при проведении научного исследования, можно рассматривать как некорректные задачи. В такой ситуации допустимую погрешность измерений определяют, исходя из конкретной цели исследований и получаемых при исследованиях результатов.

При многократном воспроизведении экспериментов рассеяние  $R$  результатов повторных измерений складывается из рассеяния результатов многократного воспроизведения ФВ номинально одинаковых размеров  $R_Q$  и удвоенной погрешности измерений  $2\Delta$ .

$$R = R_Q * 2\Delta, \quad (9.5)$$

где \* – знак объединения членов уравнения, поскольку в зависимости от стохастического или детерминированного характера изменений они могут складываться алгебраически, геометрически и т. д.

Задачи исследований могут состоять в нахождении оценок рассеяния  $R$  номинально одинаковых результатов эксперимента, или в получении качественных и количественных оценок изменения номинально одинаковых значений исследуемой ФВ ( $R_Q$ ) при многократном воспроизведении. В первом случае можно говорить об оценке пределов изменений ФВ при ее многократном воспроизведении в некоторых фиксированных условиях эксперимента, а во втором – о выявлении характера и параметров стохастического или управляемого изменения исследуемой ФВ. Рассмотрим выбор допустимых погрешностей измерений для этих двух случаев.

Исследование точности многократного воспроизведения физической величины может проводиться на одном объекте (толщина пластины, высота цилиндра и т. д.) или на множестве номинально одинаковых объектов (диаметры шариков одного типоразмера, массы одинаковых деталей в партии и др.). Задачу исследования можно ограничить получением оценки размаха  $R_Q$  при воспроизведении измеряемых физических величин (оценка порядка, малости или значимости размаха), или расширить вплоть до определения числовых характеристик параметров закономерного изменения величины или качественной и количественной оценок распределения исследуемой случайной величины.

*Оценка пределов изменений исследуемой ФВ.* Если в рамках исследования необходимо убедиться, что рассеяние параметра исследуемого объекта при его многократном воспроизведении не превышает некоторого заранее заданного или искомого значения  $R_{\text{ном}}$ , удовлетворительным решением задачи может быть соотношение

$$R \approx 2\Delta \leq R_{\text{ном}}, \quad (9.6)$$

где  $R$  – оценка рассеяния параметра (оценка размаха), которая включает погрешность воспроизведения величины и погрешность ее оценки;

$\Delta$  – оценка погрешности измерения, которая в таком случае принимается за допустимое значение погрешности измерения ( $[\Delta] = \Delta$ ).

Если размах  $R$ , зафиксированный измерениями при многократном экспериментальном воспроизведении физической величины, не превышает удвоенного значения погрешности измерения, то на основании зависимости (9.5) можно считать доказанным, что поле практического рассеяния ( $R_Q$ ) воспроизводимой ФВ пренебрежимо мало по сравнению с удвоенной погрешностью измерений  $2\Delta$ :

$$R_Q \ll 2\Delta.$$

В значительной части случаев такой результат исследования можно считать удовлетворительным, а исследования – законченными. Например, если при исследовании контактных деформаций недостаточно жесткого объекта линейных измерений размах многократно воспроизводимых результатов не превысил  $2\Delta$ , можно утверждать, что значения деформаций пренебрежимо малы по сравнению с погрешностью измерений, и учитывать такие деформации при аналогичных измерениях нет необходимости.

*Исследование характера изменения ФВ.* Изменение исследуемой ФВ может иметь стохастический либо детерминированный характер. Детерминированное изменение (при контролируемом или управляемом изменении аргументов в ходе исследования) может быть непрерывным либо дискретным, что сказывается на постановке конкретной измерительной задачи.

Примеры стохастического характера изменений исследуемых ФВ вследствие множества одновременных неопределенных малых воздействий на результаты многократного воспроизведения

номинально одинаковых ФВ – технологический процесс получения поверхности шлифованием, процесс поддержания температуры в термokonстантном помещении, стрельба по мишени. Если изменение исследуемой ФВ носит стохастический (случайный) характер, то для получения более полной характеристики изменений необходимо построить гистограмму и полигон распределения исследуемой случайной величины. Для этого следует не только выявить реальное поле практического рассеяния ( $R$ ) при многократном воспроизведении физической величины, но и получить частотные характеристики результатов. Чтобы погрешности измерений не могли значительно исказить гистограмму распределения, они не должны превышать ширину столбца. В таком случае возможно ошибочное попадание данных в соседние столбцы, но «прыжок» через столбец, существенно изменяющий картину распределения, становится невозможным.

Поскольку для построения гистограммы размах результатов исследований  $R'$  желательно разделить на 8...10 или более частей, методом последовательных приближений, выбирая каждую новую МВИ с меньшими погрешностями, добиваются соотношения

$$\Delta = (1/10 - 1/8) R' \quad (9.7)$$

или

$$\Delta \approx (1/10) R', \quad (9.8)$$

после чего достигнутое значение  $\Delta$  принимают за допустимое значение погрешности измерения, т. е.  $[\Delta] = \Delta$ .

При исследовании детерминированного изменения физической величины под действием контролируемых переменных аргументов или неопределенных факторов необходимо назначить такую допустимую погрешность измерений  $[\Delta]$ , которая была бы пренебрежимо мала по сравнению с исследуемым изменением величины ( $\varepsilon_Q$ ):

$$[\Delta] \ll \varepsilon_Q. \quad (9.9)$$

К требуемому соотношению также приходят методом последовательных приближений, при необходимости выбирая следующую МВИ с меньшими погрешностями вплоть до получения удовлетворительного результата.

При исследовании характера монотонного изменения величины под действием управляемого аргумента желаемого соотношения иногда можно добиться не за счет уменьшения погрешности, а за счет увеличения диапазона изменений исследуемой величины. При этом точность измерений может быть не слишком высокой, но неопределенность исходной информации приходится компенсировать увеличением числа экспериментов с расширением их диапазона.

При исследовании детерминированного дискретного изменения физической величины вследствие воздействия контролируемых переменных аргументов необходимо назначить такую допустимую погрешность измерений, которая была бы пренебрежимо мала по сравнению с шагом изменения исследуемой величины ( $\varepsilon_{sQ}$ ):

$$[\Delta] \ll \varepsilon_{sQ}. \quad (9.10)$$

Подводя итог рассмотрению примеров назначения (выбора) допустимой погрешности измерения, можно отметить, что для каждой из поставленных задач оно имеет свои особенности, но всегда основан на определении значения погрешности, пренебрежимо мало влияющей на оценку результата измерения.

### 9.3. Экспертиза метрологических процедур

Объектами метрологической и стандартизационной экспертиз могут быть оформляемые документально метрологические процедуры, включающие:

- измерения параметров объекта, нормированных физическими величинами (представляют как методики выполнения измерений);
- контроль параметров объекта, нормированных физическими величинами (представляют как методики измерительного контроля);
- испытания объекта, предусматривающие выполнение измерений параметров, нормированных физическими величинами (представляют как методики испытаний с описанием методик выполнения измерений);
- поверка средств измерений (представляют как методики поверки СИ);

- калибровка средств измерений (представляют как методики калибровки СИ);
- метрологическая аттестация средств измерений (представляют как методики метрологической аттестации СИ);
- градуировка средств измерений, которая является составной частью поверки, калибровки и аттестации средств измерений (могут быть представлены как методики градуировки СИ или как элементы других метрологических мероприятий);
- метрологическое подтверждение пригодности методики выполнения измерений (представляют как методику метрологического подтверждения пригодности МВИ, которая по ТКП 8.006 как обязательную часть содержит метрологическую экспертизу);
- другие метрологические мероприятия (юстировка средств измерений, метрологическая аттестация методики выполнения измерений и др.).

В основу стандартизационной экспертизы структуры и состава метрологических процедур, документально оформляемых в соответствии с нормативными документами системы обеспечения единства измерений, кладут соответствующие документы, такие как ГОСТ 8.010, уже упоминавшийся ТКП 8.006 и др.

Метрологическая экспертиза процедур должна подтвердить возможность их реализации с требуемой точностью.

Краткое описание метрологической экспертизы методик выполнения измерений содержится в разделе 8 (см. п. 8.1 и 8.2), однако МВИ как документированная процедура требует достаточно подробной совместной стандартизационной и метрологической экспертизы. Отличительной особенностью стандартизационной экспертизы МВИ является необходимость контроля достаточно подробного описания МВИ в соответствии с требованиями ГОСТ 8.010. Если требования не соблюдены, нормоконтролер фиксирует это как нарушение стандарта и предлагает исправить ошибки. Кроме того, нормоконтролер проверяет полноту и корректность представления метрологических характеристик используемых средств измерений.

При метрологической экспертизе методик выполнения измерений основное внимание следует уделять вопросам нормирования допустимой погрешности и оценки погрешности реализуемой (нормирование допустимой погрешности измерений описано

в п. 9.2 «Требования к методикам выполнения измерений и измерительного контроля»). Оценка приписанной погрешности, которую определяют при разработке МВИ, является результатом решения одной из самых сложных задач метрологической экспертизы МВИ.

К метрологическим мероприятиям, включающим описания МВИ, относятся также поверка средств измерений, их калибровка, градуировка и метрологическая аттестация. Поверка, калибровка и метрологическая аттестация средств измерений регламентированы документами Системы обеспечения единства измерений. В соответствии с требованиями этих документов, сначала разрабатываются методики для нестандартизованных средств измерений.

Основное внимание метрологической экспертизы и в этих случаях должно быть направлено на вопросы нормирования допустимой погрешности и оценки погрешности, допускаемой в ходе реализации исследуемой методики.

Несколько специфическим метрологическим мероприятием является градуировка средств измерений (определение градуировочной характеристики средства измерений). До сих пор в литературе и технической документации встречается нереконструируемый термин «тарировка СИ», который следует рассматривать как нарушение стандарта. Определение градуировочной характеристики нестандартизованного СИ и оформление ее на шкале прибора соответствует понятию градуировки как метрологического мероприятия, поскольку в этом случае используют полученные в ходе исследований конкретные реализации зависимостей между величинами на входе и на выходе средства измерений.

Реализация функции преобразования может быть представлена в табличной или графической форме, а иногда в виде аппроксимирующей функциональной зависимости. Функция преобразования может быть характеристикой группы однородных СИ, либо реальной градуировочной характеристикой конкретного СИ. Градуировочная характеристика конкретного экземпляра преобразующего СИ может быть получена в виде единичной реализации, пучка реализаций или оценки, полученной в результате комплексирования пучка единичных реализаций.

Из сказанного ясно, что градуировка средства измерений представляет собой исследование, которое должно сопровождаться всеми атрибутами этого процесса, и экспертиза которого должна осуществляться в соответствии с требованиями к экспертизе исследований.

Аналогичный подход можно предложить для экспертизы метрологической аттестации методик выполнения измерений. При аттестации МВИ особое внимание следует уделить методическим составляющим погрешности измерений. В отличие от процессов поверки или калибровки, в которых объект измерений обычно близок к модели, соответствующей идеальному воспроизведению измеряемой величины, реализация типовой МВИ предполагает наличие производственных объектов, которые могут значительно отличаться от идеальной модели.

Следовательно, при исследовании МВИ необходимо в оценке методической погрешности учитывать прогнозируемое значение погрешности из-за некорректной идеализации объекта измерений.

В определенных ситуациях может появиться необходимость учитывать производственные условия (например, погрешности из-за влияющих величин в рабочих условиях измерений), а также предполагаемую квалификацию оператора, которая может привести к появлению субъективных погрешностей, существенно превышающих погрешности высокопрофессионального оператора.

При экспертизе метрологических мероприятий более сложных, чем МВИ, желательно воспользоваться моделями, представленными в разделе 6 настоящего пособия.

Поскольку все эти мероприятия представляют собой усложненные варианты МВИ, необходимо рассмотреть более подробно требования к МВИ, которые исследуют при проведении ее стандартизационной и метрологической экспертизы.

*Экспертиза методик выполнения измерений.* Методика выполнения измерений должна быть разработана и оформлена в соответствии с требованиями ГОСТ 8.010 «ГСИ. Методики выполнения измерений. Основные положения».

После разработки проекта документа на МВИ он должен подвергаться метрологической экспертизе, причем к проведению метрологической экспертизы документов на МВИ; используемых в сферах и вне сфер распространения государственного метрологического контроля и надзора, могут быть установлены разные требования.

Стандарт определяет структуру и обязательные требования к любой методике выполнения измерений. Он позволяет разработать и оформить любую МВИ, пригодную для измерений физической величины конкретного размера, однородных физических величин в некотором выбранном диапазоне, а также комплекса разноименных физических величин в выбранных диапазонах. В методики выполнения измерений стандарт включает также методики количественного химического анализа (МКХА).

При экспертизе следует учитывать, что на основании представленных в стандарте требований могут быть разработаны существенно различающиеся документы, например, такие как:

- методика выполнения измерений одной физической величины (конкретного размера);
- методика выполнения измерений однородных физических величин в определенном диапазоне;
- методика выполнения измерений одноименных физических величин в определенных диапазонах;
- методика выполнения косвенных измерений, основанная на измерениях разноименных физических величин;
- методика выполнения измерений комплекса разноименных физических величин в определенных диапазонах.

Возможна и разработка иных документов, например, включающих в себя комбинации из ряда представленных вариантов.

Поскольку стандарт устанавливает только основные положения, его использование вызывает ряд сложностей. В результате разработка и экспертиза МВИ обычно требуют творческого подхода и сопряжены с необходимостью решения достаточно сложных метрологических задач, включая назначение допустимой погрешности измерений, оценивание границ возникающих при измерениях погрешностей, метрологическую аттестацию МВИ и ряд других.

Рекомендации по построению и изложению документов на МВИ приведены в прилож. В ГОСТ 8.010.

Структура методики выполнения измерений представлена на рис. 9.1



Рис. 9.1. Структура методики выполнения измерений

В соответствии с требованиями стандарта в назначении МВИ указывают:

- область применения (объект измерений, в том числе наименования продукции и контролируемых параметров, а также область использования – в сферах распространения государственного метрологического контроля и надзора или вне этих сфер);
- наименование (при необходимости развернутое определение) измеряемой величины;
- характеристики измеряемой величины (диапазон и частотный спектр, значения неинформативных параметров и т. п.);
- характеристики объекта измерений, если они могут влиять на погрешность измерений (выходное сопротивление, жесткость в месте контакта с датчиком, состав пробы и т. п.).

В прилож. В к стандарту говорится о «Вводной части», которая устанавливает назначение и область применения документа на МВИ, например: «Настоящий документ (указывают конкретный вид документа на МВИ) устанавливает методику выполнения измерений (далее – наименование измеряемой величины, в необходимых случаях – с указанием ее специфики и специфики измерений)».

При ссылке на конкретную продукцию в вводной части указывают обозначение нормативного документа, распространяющегося на эту продукцию, например: «Настоящий документ (указывают конкретный вид документа на МВИ) устанавливает методики выполнения измерений при определении характеристик магнитно-мягких сплавов по ГОСТ 10160 в любой точке петли гистерезиса. К числу характеристик магнитно-мягких сплавов относят:

- коэрцитивную силу по индукции;
- коэффициент прямоугольности петли гистерезиса;
- коэрцитивную силу по намагничённости;
- температурные коэффициенты вышеперечисленных характеристик».

Метод измерений выбирают в соответствии с действующими документами по выбору методов измерений данного вида величин. Поскольку определение связывает метод со средством измерений, стандарт оговаривает, что если МВИ предназначена для использования в сфере распространения государственного метрологического контроля и надзора, то выбранные средства измерений должны быть узаконены в установленном порядке.

Раздел «Метод измерений» должен содержать описание приемов сравнения измеряемой величины с единицей в соответствии с принципом, положенным в основу метода. Если для измерений одной величины применяют несколько методов или документ устанавливает МВИ двух и более величин, то описание каждого метода выделяют в отдельный подраздел.

Первый пункт раздела (подраздела) предлагается излагать следующим образом: «Измерения (далее – наименование измеряемой величины) выполняют методом (далее следует описание физического принципа метода)».

Требования к погрешности измерений и (или) приписанные характеристики погрешности измерений; подразумевают нормы погрешностей измерений и реализуемые значения (границы) погрешностей.

В стандарте приведено следующее определение: приписанная характеристика погрешности измерений – характеристика погрешности, приписываемая любому результату совокупности измерений, полученному при соблюдении требований и правил данной методики.

В документе, регламентирующем МВИ, должны быть указаны требования к погрешностям измерений (могут быть также указаны ссылки на документы, где эти требования установлены с указанием численных значений). Например: «Пределы допускаемой относительной погрешности измерений по данной методике  $\pm 1,5\%$ » или «Погрешность измерений должна соответствовать требованиям, указанным в...» (ссылка на нормативный документ).

При разработке МВИ на выбранный диапазон измерений величины требования к погрешности измерений могут быть различными для разных значений этой величины, разной продукции, разных условий измерений и разных задач измерений. В этом случае требования к погрешности измерений приводят в форме таблиц, графиков или уравнений. Аналогично поступают при разработке МВИ для нескольких измеряемых величин.

Значения приписанных характеристик погрешности измерений одной и той же величины также могут быть различными по диапазон измерений. В этом случае их значения также приводят в форме таблиц, графиков или уравнений. Для нескольких измеряемых величин приписанные характеристики погрешности измерений также приводят в форме таблиц, графиков или уравнений. Поскольку в реализованных погрешностях всегда имеет место случай-

ная составляющая погрешности измерений, вместе с «пределами» или «границами» приписанных характеристик погрешности измерений обязательно указывают выбранное значение вероятности (например,  $P = 0,95$ ).

Раздел «Средства измерений, вспомогательные устройства, материалы, растворы» содержит перечень средств измерений и других технических средств, применяемых при выполнении измерений. В перечне стандартных средств наряду с наименованием указывают обозначения стандартов или технических условий, обозначения типов (моделей) средств измерений, их метрологические характеристики (класс точности, пределы допускаемых погрешностей, пределы измерений и др.).

В приложении к МВИ могут приводиться чертежи, технические характеристики и описания нестандартизованных средств измерений и других технических средств индивидуального изготовления.

Первый пункт раздела может быть изложен следующим образом: «При выполнении измерений применяют следующие средства измерений и другие технические средства: (далее – перечень)» или «При выполнении измерений применяют средства измерений и другие технические средства (приведены в табл. 9.1).

Таблица 9.1

Применяемые средства измерений и другие технические средства

Порядковый номер и наименование средств измерений, технического средства	Обозначение стандарта, ТУ и типа средства измерений либо его метрологические характеристики или ссылка на чертеж или приложение	Наименование измеряемой величины

В раздел, представляющий условия измерений, включают перечень влияющих величин (номинальных значений и отклонений или границ диапазонов допустимых значений), а также другие характеристики влияющих величин. К числу влияющих величин относят параметры сред (образцов), напряжение и частоту тока питания средств измерений, внутренние импедансы объектов измерений и другие характеристики. При необходимости указывают предельные скорости изменений или другие характеристики влияющих величин, а также ограничения на продолжительность измерений, число

параллельных определений и другие данные. Перечни влияющих величин можно приводить в виде таблицы (пример – табл. 9.2).

Таблица 9.2

Перечень влияющих величин

Наименование измеряемой величины	Наименование влияющей величины	Номинальное значение	Предельные отклонения

Первый пункт раздела излагают следующим образом: «При выполнении измерений соблюдают следующие условия: (далее – перечень)» или «При выполнении измерений соблюдают условия, приведенные в таблице ...».

Если при установлении требований к влияющим величинам заранее известно, что измерения будут выполняться посредством измерительных систем, средства измерений которых находятся в разных местах, то условия измерений указывают для мест расположения всех средств измерений, входящих в измерительную систему.

Требования к обеспечению безопасности выполняемых работ и требования к обеспечению экологической безопасности можно объединить в один раздел, например, «Требования безопасности, охраны окружающей среды», который должен содержать все необходимые требования.

При наличии нормативных документов, регламентирующих требования безопасности, производственной санитарии и охраны окружающей среды, в разделе приводят ссылку на эти документы.

Раздел «Требования к квалификации операторов» должен содержать сведения о необходимом уровне квалификации (профессии, образовании, практическом опыте и др.) лиц, допускаемых к выполнению измерений.

Раздел, регламентирующий выполнение операций при подготовке к выполнению измерений, включает описания подготовительных работ, которые проводят перед выполнением непосредственно измерений. Это могут быть такие работы, как предварительное определение значений влияющих величин, сборка схем (для этого в разделе или приложении приводят схемы), подготовка и проверка

режимов работы средств измерений и других технических средств (установка нуля, выдержка во включенном состоянии, тестирование и т. д.), подготовку проб к измерениям.

Если при выполнении количественного химического анализа предусматривается установление градуировочной характеристики, то в разделе приводят способы ее получения и контроля, порядок применения образцов для градуировки, приготовления образцов в виде смесей и др.

Если порядок подготовительных работ установлен в документах на средства измерений и другие технические средства, то в разделе приводят ссылки на эти документы.

Операции при выполнении измерений описывают в отдельном разделе, который содержит перечень, объем, последовательность операций, описания этих операций, периодичность и число измерений, требования к представлению промежуточных и конечных результатов (число значащих цифр и др.).

Для МКХА в разделе приводят также требования к массе и числу навесок пробы и описание операций по устранению влияния мешающих компонентов пробы, а при необходимости включают указания о проведении «контрольного опыта».

Если для измерений одной величины применяют несколько методов или документ устанавливает МВИ двух и более величин, то описание каждого из измерений выделяют в отдельный подраздел.

При необходимости указывают требования о регистрации результатов промежуточных измерений и значений влияющих величин и формы регистрации промежуточных результатов измерений и значений влияющих величин.

Раздел, описывающий выполнение операций обработки и вычислений результатов измерений, может быть ограничен фразой: «Обработку результатов измерений не выполняют». В случае необходимости обработки (вычисления) результатов измерений (например, при косвенных измерениях или измерениях с многократными наблюдениями) в раздел включают описания способов обработки и получения результатов измерений. В разделе при необходимости приводят данные, требуемые для вычисления результатов измерений (константы, таблицы, графики, уравнения и т. п.). При большом объеме таких данных их указывают в приложении.

При необходимости регистрации результатов промежуточных измерений указывают требования к ним и форму регистрации (на магнитной ленте, распечатке принтера и т. п.).

Если для измерений одной величины применяют несколько методов или выполняют измерения двух и более величин, то описание каждого способа обработки выделяют в отдельный подраздел.

Если способы обработки результатов измерений установлены в других документах, в разделе приводят ссылки на эти документы, например: «Обработка результатов измерений (далее наименование измеряемой величины) – по ГОСТ 8.207».

Раздел МВИ, устанавливающий нормативы, процедуру и периодичность контроля погрешности результатов выполняемых измерений, фактически должен регламентировать метрологическую аттестацию МВИ, о чем свидетельствует приведенное в самом стандарте определение. Аттестация МВИ – исследование МВИ, осуществляемое в порядке, установленном национальным органом по метрологии, с целью подтверждения установленных приписанных характеристик погрешности измерений и определения ее соответствия предъявляемым к ней метрологическим требованиям.

В стандарте также сказано, что аттестация и стандартизация МВИ могут выполняться как самостоятельные работы.

Если в МВИ включают раздел «Контроль погрешности результатов измерений», он содержит указания о нормативах, методах, средствах и плане проведения первичного и периодического контроля погрешности результатов измерений, выполняемых по данной МВИ.

Требования к оформлению результатов измерений предъявляют к форме, в которой приводят полученные результаты измерений, а также к табличным или иным формам их представления в протоколах.

Формы представления результатов измерений установлены документом МИ 1317 «Рекомендация. Государственная система обеспечения единства измерений. Результаты и характеристики погрешности измерений. Формы представления. Способы использования при испытаниях образцов продукции и контроле их параметров».

Нормированные формы представления результатов измерений предусматривают указание погрешностей (с качественными и ко-

личественными характеристиками). Для иллюстрации представлены два примера результатов измерений, позаимствованные из МИ 1317.

*Пример 1.* Запись в протоколе результата измерений расхода жидкости, полученного по аттестованной МВИ:

а) Результат измерений –  $10,75 \text{ м}^3/\text{с}$ ;  $|\Delta_l| = |\Delta_h| = 0,15 \text{ м}^3/\text{с}$ ;  $P = 0,95$ . Условия измерений: температура жидкости  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ , кинематическая вязкость  $1,5 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ .

б) Результат измерений –  $10,75 \text{ м}^3/\text{с}$ . Характеристики погрешности и условия измерений – в соответствии со свидетельством об аттестации МВИ № 17 от 05.07.2003 г.

*Пример 2.* Запись в протоколе результата измерений расхода жидкости, полученного по неаттестованной МВИ. Статистические оценки характеристик погрешности измерений определены в процессе измерений:

а) Результат измерений –  $10,75 \text{ м}^3/\text{с}$ ;  $\tilde{\sigma}[\Delta] = 0,08 \text{ м}^3/\text{с}$ ;  $\tilde{\sigma}[\Delta_s] = 0,10 \text{ м}^3/\text{с}$ . Условия измерений: температура жидкости  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ , кинематическая вязкость  $1,5 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ .

б) Значение измеряемого расхода – в интервале от  $10,50$  до  $11,00 \text{ м}^3/\text{с}$  с доверительной вероятностью  $0,95$ . Условия измерений: температура жидкости  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ , кинематическая вязкость  $1,5 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ .

Если порядок выполнения операций при измерении установлен в документах на применяемые средства измерений, то в разделе приводят ссылки на эти документы.

Кроме того, в разделе может быть указан вид носителя полученной измерительной информации (документ, магнитная лента, лента самопишущего прибора и т. п.). При необходимости в протоколах приводят сведения о применяемых средствах измерений и других технических средствах, дате и времени получения результата измерений. Документ или запись удостоверяет лицо, проводившее измерения, а при необходимости – руководитель организации (предприятия), подпись которого заверяют печатью организации (предприятия).

Первый пункт раздела может излагаться следующим образом: «Результаты измерений оформляют протоколом, форма которого приведена в приложении (номер приложения)» или «Результаты

измерений оформляют записью в журнале по указанной ниже форме (далее – таблица, график или другая форма представления результатов измерений)», или «Результаты измерений хранят (далее – указание о вид носителя и способах хранения)».

Поскольку при необходимости в МВИ могут быть включены и другие требования и операции, они тоже должны пройти экспертизу.

Пример проведения метрологической экспертизы методики выполнения измерений приведен в прилож. 9.

## 10. ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЕРТИЗЫ НОРМАТИВНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ

Подготовка отзыва на проект нормативного документа по стандартизации (НД) – это обычная работа сотрудников подразделений стандартизации в рамках выполнения служебных обязанностей. Ее выполняют по поручению руководства, но, в отличие от ряда других текущих работ, она представляет собой типичную стандартизационную экспертизу.

Экспертизу НД по стандартизации следует начинать с формулирования ее конкретных целей и постановки задач. Как правило, ставится общая цель – совершенствование экспертируемого документа. Однако эта цель не вполне определяет «глубину экспертизы», поскольку совершенствование может иметь конкретное выражение от исправления явных ошибок и до полной переработки документа, включающей оптимизацию нормируемых требований. Поэтому формулировки целей могут существенно различаться. Можно предложить несколько вариантов (каждый последующий поглощает содержание предыдущих):

- обнаружение ошибок проекта (выявляют некорректность структуры и формулировок, нарушения требований других НД, внутренние противоречия);
- совершенствование документа на основе общедоступного опыта (рекомендации эксперта основаны на опубликованных результатах научно-технических разработок и исследований, не использованных разработчиком документа);
- совершенствование документа на основе имеющегося собственного опыта эксперта (эксперт представляет рекомендации, обоснованием которых являются результаты собственных исследований или исследований, проведенных субъектом хозяйствования, в том числе при его участии, включая незаконченные и не опубликованные, а также результаты аналитической работы, проведенной специально для данной экспертизы).

По результатам экспертизы может быть рекомендована радикальная переработка нормативного документа.

Естественно, что постановка цели должна быть согласована с имеющимися ресурсами, включающими сроки, квалификацию эксперта и специалистов, которых можно привлечь для проведения экспертизы, наличие результатов собственных исследований.

Отзыв, который должен быть отправлен не позднее, чем через месяц после получения проекта НД, представляют в соответствии с требованиями к его оформлению, которые содержатся в Государственной системе стандартизации. Сначала приводят общие замечания и предложения по проекту НД, затем – частные, а в заключительной части дают выводы о приемлемости проекта, необходимости внести чисто технические или радикальные изменения, либо даже отказаться от дальнейшей разработки.

При подготовке и оформлении отзыва на проект НД следует руководствоваться теми же правилами, что и при разработке стандарта. Все формулировки должны быть конкретными, четкими, не допускающими двойного толкования. Следует избегать предложений ввода в стандарт дополнительных требований и целых разделов, если необходимость в них не очевидна (острая необходимость возникает, если проект стандарта из-за отсутствия определенных требований не обеспечивает достижения поставленной цели). Дополнительное требование к отзыву – максимальная корректность выражений. Первая редакция проекта НД из-за сложности работы и новизны объекта практически всегда имеет некоторые недостатки и содержит ошибки. Разработчик будет благодарен за деловые замечания и предложения, которые позволят усовершенствовать НД, особенно если они выдержаны в доброжелательном тоне.

### 10.1. Структура экспертизы нормативных документов

Для упорядочения работы эксперта над нормативными документами можно предложить примерный перечень вопросов, на которые должна ответить экспертиза:

1. Общая характеристика документа (категория, принадлежность к системе и др.). Каковы его связи с другими нормативными документами?
2. Является ли НД необходимым (возможно, что его основное содержание уже зафиксировано в других нормативных документах)?
3. Какова была цель разработки НД? Достигается ли она данным НД? Если формулировка цели в явном виде отсутствует, цель воспроизводят по названию, области действия и общим положениям документа.

4. Корректно ли определены область применения НД, область распространения требований НД?

5. Соответствует ли нормам структура НД? Является ли она оптимальной?

6. Правильно ли используются термины? Корректно ли построены определения?

7. В чем состоят иные недостатки экспертируемого НД? Каковы причины этих недостатков?

8. Что можно предложить (рекомендовать) для совершенствования НД?

Предложенный перечень вопросов можно использовать для постановки задач стандартизационной экспертизы НД или проекта НД.

В основу экспертизы НД можно положить принцип моделирования деятельности по выполнению установленных в нем требований. Эксперт ставит себя на место пользователя НД, и если соблюдение тех или иных положений вызывает затруднения, следует проанализировать причины их возникновения и предложить возможные варианты переработки отдельных элементов НД, разделов или документа в целом.

При анализе проекта НД, разработанного взамен действующего, в ходе ответов на данные вопросы желательно провести сравнительный анализ двух документов (экспртируемого и заменяющего).

Определенные особенности экспертизы НД могут быть связаны с целевой установкой документа (проекта документа) более низкой категории при наличии вышестоящего по иерархии НД. Так, стандарты предприятия на объекты, уже нормированные государственными стандартами, разрабатывают либо в виде «ограничительных», либо в виде «расширяющих». Очевидно, что противоречия стандартам более высоких категорий в новых документах недопустимы. Но в стандартах, которые продолжают и уточняют положения НД более высоких категорий, такие противоречия могут иметь неявный характер, и их выявление требует квалифицированной экспертной работы.

Особым вопросом является необходимость проведения метрологической экспертизы рассматриваемого нормативного документа. Для проведения такой экспертизы необходимы соответствующие объекты, входящие в состав НД, а также соответствующая квалификация эксперта. Если сотрудник подразделения стандартизации

не обладает необходимой квалификацией (она ему не требуется), он должен пригласить эксперта-метролога, предварительно обосновав необходимость этого приглашения.

## 10.2. Объекты метрологической экспертизы в нормативных документах

Объектами метрологической экспертизы в нормативных документах, как и в конструкторской документации и документации научных исследований, могут быть:

- параметры объекта, нормированные физическими величинами;
- нормы точности параметров (конкретных физических величин);
- методики выполнения измерений;
- методики измерительного контроля;
- методики испытаний, предусматривающие выполнение измерений;
- методики поверки, калибровки, градуировки средств измерений, методики их метрологической аттестации;
- описания других метрологических мероприятий (юстировка средств измерений, метрологическая аттестация методик выполнения измерений и др.).

Не относятся к метрологической экспертизе (поскольку относятся к нормоконтролю) проверка правильности наименований и обозначений единиц физических величин (соответствие требованиям ГОСТ 8.417 и других), представления метрологических характеристик средств измерений (стандарт ГОСТ 8.009, РМГ 29–99), представления результатов измерений с оценками погрешностей (МИ 1317) или оценками неопределенности измерений (РМГ 43–2001). То же можно сказать о проверке соблюдения требований таких стандартов, как ГОСТ 8.010, ГОСТ 8.207, НД по стандартизации, регламентирующих поверку, калибровку, метрологическую аттестацию и другие метрологические мероприятия. Все это – типичный нормоконтроль, осуществляемый в области законодательной метрологии.

При проведении совместной метрологической и стандартизационной экспертизы можно не устанавливать разделительные границы между этими двумя видами работ.

Объекты, представленные нормативной документацией, можно подвергать формальной и функциональной метрологической экспертизе. Как обычно, формальная метрологическая экспертиза не ставит под сомнение правильность решений разработчика объекта и должна дать ответы на вопросы о контролепригодности назначенных параметров и корректности метрологических требований. В таком случае следует обращать особое внимание на проверку возможности контроля параметров, контролепригодность которых по тем или иным причинам не очевидна. При наличии описаний методов контроля и испытаний следует проверять правильность принятых методов и возможность получения достоверных данных о параметрах и характеристиках испытываемых объектов. Одной из главных проверок в таком случае будет проверка возможности обеспечить требуемую точность измерений и достоверность (представительность) результатов контроля и испытаний.

Функциональная метрологическая экспертиза ставит вопросы о возможности повышения качества объекта средствами метрологии, включая изменение норм точности параметров. Изменение требований к точности параметров может быть локальным, но иногда влечет за собой необходимость кардинального перепроектирования объекта, что не входит в обязанности эксперта.

Функциональный анализ представленного НД объекта затрагивает наиболее важные его параметры, нормы их точности, выходные характеристики продукции, которые эти параметры должны обеспечить. Принципиальная возможность повышения технического уровня объекта существует всегда, но эксперту-метрологу достаточно только поставить перед разработчиком вопросы о рациональности внесения изменений в объект экспертизы.

При анализе правильности установленных в документации методов контроля и испытаний эксперт-метролог должен ответить на следующие вопросы:

- Обеспечены ли важнейшие параметры и характеристики продукции, для которых установлены нормы и требования, достоверным и точным измерительным контролем?
- Обеспечивает ли методика испытаний получение объективных и достоверных данных?
- Достаточна ли полнота изложения требований к методикам испытаний и, в частности, к методикам выполнения измерений?

Частные вопросы, на которые должна ответить экспертиза, касаются правильности выбора допустимых погрешностей измерений, выбора средств измерений, включая используемые при испытаниях, выбора точности воспроизведения входных воздействий на испытываемый объект и их контроля в ходе испытаний и ряд других.

По результатам метрологической и стандартизационной экспертизы нормативного документа может быть рекомендована доработка документа, переработка отдельных разделов или даже радикальная переработка всего документа.

## 11. ТИПОВЫЕ ОШИБКИ, ВЫЯВЛЯЕМЫЕ ПРИ ЭКСПЕРТИЗЕ

Опыт метрологической и стандартизационной экспертиз позволяет утверждать, что при экспертизе ряда объектов часто встречаются однотипные ошибки, на выявление которых следует обратить особое внимание. Перечни типовых ошибок создаются при анализе накопленных материалов многочисленных экспертиз аналогичных объектов. Одним из примеров таких перечней является классификатор типовых ошибок для цифрового кодирования замечаний нормоконтролера, который применяется в подразделениях стандартизации некоторых субъектов хозяйствования.

Наличие перечня типовых ошибок позволяет проводить профилактические работы для их предупреждения или хотя бы для снижения частоты их появления. Тем не менее, даже при активном предупреждении ошибок, как показывает анализ больших массивов экспертной информации, типовые ошибки встречаются всегда.

### 11.1. Ошибки, выявляемые при совместной экспертизе

К общим ошибкам, наиболее часто выявляемым при совместной метрологической и стандартизационной экспертизе, можно отнести:

- неконтролепригодность требований из-за некорректности их выражений, в том числе из-за противоречивости или неполноты информации;
- невозможность обеспечить достоверную оценку из-за отсутствия критериев, методов и доступных инструментальных средств;
- противоречия в нормировании свойств или параметров.

Неконтролепригодность требования из-за некорректности его выражения может рассматриваться как содержательная ошибка в области стандартизации (если требование представлено с нарушением НД по стандартизации) или как комплексная ошибка в области метрологии и стандартизации (неконтролепригодность требования из-за возможной неоднозначности его трактовки). Так, устаревшие формулировки требований «овальность не более

10 мкм» или «бочкообразность не более 10 мкм» следует заменить (можно использовать такие современные требования, как допуск круглости или допуск профиля продольного сечения). Однако замена будет не вполне адекватной, поскольку в первом случае нормируются частные виды погрешностей формы, а во втором ограничены общие отклонения формы в поперечном и продольном сечении. Дополнительные сложности нового нормирования связаны с трактовкой числовых значений заданных отклонений. Числовые значения нормированных предельных отклонений (овальности, бочкообразности, конусности и седлообразности) определяют как разность экстремальных диаметров (при этом разность радиусов составляла примерно половину). Причем допуски круглости или профиля продольного сечения ограничивают колебания радиусов. В итоге для замены неактуальных требований и для переработки устаревших чертежей в подобных случаях нужна функциональная экспертиза изделия, грамотное назначение требований и их корректное (однозначно трактуемое) обозначение.

Неконтролепригодность требований из-за противоречивой информации может быть связана с «двойным нормированием» точности параметров, в том числе при ошибочном повторном обозначении параметров на чертеже (размеры с полями допусков, допуски формы и расположения поверхностей, требования к шероховатости) с разными нормами точности. Именно из этих соображений ЕСКД запрещает дублировать информацию в конструкторских документах. «Скрытым вариантом» противоречивой информации может быть отсутствие рамки для простановки номинальных размеров при назначении позиционных допусков и одновременном нормировании общих допусков расположения в технических требованиях.

Функциональные противоречия при нормировании точности геометрических параметров могут возникать из-за несогласованности назначенных допусков макрогеометрии или несогласованности высотных параметров шероховатости поверхностей и допусков макрогеометрии (см. раздел 5).

Неконтролепригодность требований из-за неполноты информации часто связана с недостаточной номенклатурой требований к поверхностям, сопрягаемым с подшипниками качения. Например, для подшипниковых шеек вала, кроме допусков размеров, обязательно

следует нормировать допуски формы (круглости и профиля продольного сечения), назначать требования соосности каждой шейки по отношению к их общей оси, требования к торцовому биению привалочных торцов валов, к которым прилегают торцы подшипников, и устанавливать стандартное ограничение высотных параметров шероховатости сопрягаемых и привалочных поверхностей. Если какого-нибудь из требований нет – значит, не только нарушен стандарт, но и параметр невозможно проконтролировать.

Невозможность обеспечения достоверной оценки из-за отсутствия критериев, методов и доступных инструментальных средств устанавливают при функциональной экспертизе объекта. Для оперативного выявления таких недостатков эксперт должен использовать опыт работы и опираться на достаточно высокую квалификацию. В противном случае возможно «неожиданное» выявление неконтролепригодности параметра на стадии производства изделий или реализации технологических процессов.

Далее типовые ошибки дифференцированы по видам экспертиз.

### 11.2. Ошибки, выявляемые при стандартизационной экспертизе

К типовым ошибкам, выявляемым при стандартизационной экспертизе, можно отнести следующие:

- несоответствие заглавия содержанию документа или его части;
- использование некорректных терминов и обозначений;
- неправильно использованные корректные термины и обозначения, включая неправильные обозначения требований к точности параметров на чертежах;
  - неоднозначно сформулированные положения, требования;
  - недостаточная информация в документе;
  - избыточная информация в документе;
  - использование нестандартных элементов при наличии стандартных без необходимости;
  - отсутствие стандартных требований к точности параметров;
  - ошибки в оформлении и содержании текстовых документов, ошибки в записях технических требований или технических условий на чертежах.

Наиболее часто при формальной стандартизационной экспертизе (нормоконтроле) чертежей деталей обнаруживаются следующие ошибки:

- неправильное оформление основной надписи (отсутствие необходимой информации, подписей с указанием дат);
- неправильные обозначения материала детали в основной надписи;
- неправильный порядок записи технических требований;
- обозначения единиц физических величин с нарушением требований ГОСТ 8.417;
- некорректные обозначения общих допусков;
- неправильные обозначения допусков формы и расположения поверхностей;
- неправильные обозначения баз при назначении допусков расположения поверхностей, особенно при обозначении допусков биений;
- отсутствие всех установленных стандартом требований к поверхностям, сопрягаемым с подшипниками качения;
- некорректно проставленные размерные цепи, отсутствие размеров, необходимых для разработки чертежей деталей (для чертежа общего вида).

Каждый нормоконтролер может составить подобный перечень для себя, особенно если он работает на конкретном предприятии.

#### *Примеры типовых ошибок и пояснения к некоторым их видам*

Несоответствие заглавия содержанию документа или его части встречаются как в текстовых документах, так и в графических. Оно может быть неполным из-за слишком широкого заголовка, не обеспеченного содержанием текстового материала, либо из-за неполного охвата заголовком его содержания. Возможно также полное несоответствие заглавия содержанию раздела документа в ситуации, когда текст был радикально переработан, а заголовок остался прежним. В текстовых документах такие дефекты легко выявляются сопоставлением заголовка и содержания.

В графических документах довольно часто встречаются некорректные наименования деталей типа «кронштейн», «рычаг», «корпус» и некоторых других.

Некорректные термины, в том числе зафиксированные в стандартах как не рекомендуемые («замер», «забор пробы», «тарировка», «измерительный инструмент», «измерительное усилие» и др.), используются достаточно часто в силу традиций, причем встреча-

ются на протяжении длительного времени в литературе и нормативной документации после отмены или замены терминов. Например, официально называемые «мерными сосудами» средства измерения объема жидкостей (сосуды измерительные), жаргонные наименования средств измерений типа «мерник», «измеритель» (измеритель – не прибор, а субъект, осуществляющий измерения), иные профессиональные жаргонизмы («допусковый контроль», «размер в допуске» и др.).

Часто встречаются ошибки в обозначениях допусков формы и расположения поверхностей при указании их на чертежах условными обозначениями. В условное обозначение входят рамка с двумя, тремя (или более) полями (клетками), в которые помещают:

- условный знак нормируемого допуска (первое поле);
- числовое значение допуска в миллиметрах и (при необходимости) дополнительную информацию (второе поле);
- обозначение базы или комплекта баз (третье и последующие поля).

Рамки при обозначениях допусков формы поверхностей включают не более двух клеток, а при обозначениях допусков расположения могут состоять из трех и более клеток (рис. 11.1). В третьей и последующих клетках помещают обозначение базовых элементов, причем для каждой базы используют свою клетку. Комплект баз может включать две или три базы. Обозначение составной базы (например, общая ось двух цилиндрических поверхностей) вписывается в одну клетку.



Рис. 11.1. Рамки для обозначения допусков формы и расположения поверхностей

Ошибками являются: указание базы при обозначениях допусков формы поверхностей, а также отсутствие обозначения базы или комплекта баз при обозначениях допусков расположения. База может быть обозначена с использованием линии с зачерненным треугольником, соединяющей рамку с базовым элементом, либо с использованием автономного буквенного обозначения в прямоугольной рамке.

Рамку с указанием допуска предпочтительно располагать горизонтально. Пересечение рамки какими-либо линиями не допускается. От рамки (предпочтительно от ее первой части) к нормируемому

элементу проводят соединительную линию, снабженную стрелкой. Направление стрелки должно соответствовать направлению измерения нормируемого отклонения, не должно быть произвольным (рис. 11.2, а), и обозначение должно однозначно определять нормируемый элемент (рис. 11.2, б). Требование на рис. 11.2, в обозначено некорректно, поскольку может относиться к оси любой из цилиндрических поверхностей вала или к общей оси обеих цилиндрических поверхностей.

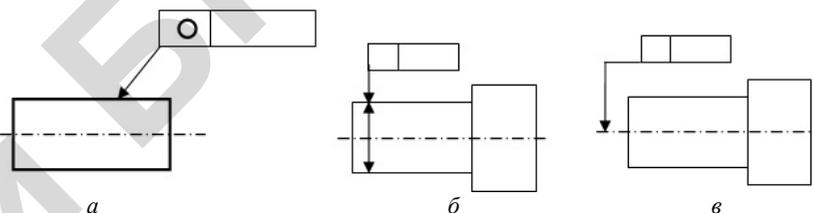


Рис. 11.2. Рамки для обозначения допусков формы и расположения поверхностей на чертеже

Последнее замечание можно распространить и на обозначение базовых элементов (А, Б, В, Г, рис. 11.3). Однозначно читаются обозначения базовых элементов на рис. 11.3, а и б (ось симметрии меньшей из цилиндрических поверхностей вала) и рис. 11.3, в (составной базой является общая ось обеих цилиндрических поверхностей).

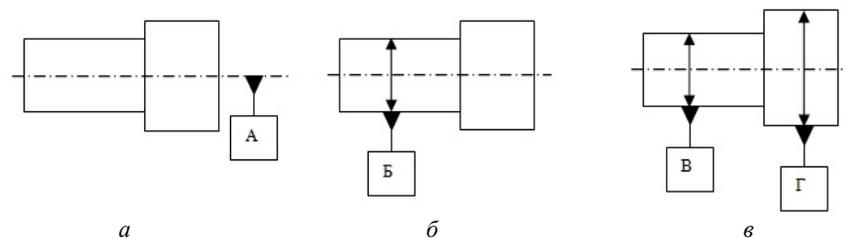


Рис. 11.3. Обозначения базовых элементов

Часто в обозначениях встречаются ошибки, связанные с небрежным отношением к положению стрелки или зачерненного треугольника относительно размерной линии (рис. 11.4). Если стрелка или зачерненный треугольник находятся на продолжении размерной линии, то они входят в обозначение допуска формы или расположения, а нормируемым или базовым элементом является

ось или плоскость симметрии элемента, обозначенного этой размерной линией. Так на рис. 11.4, *а* нормируемым элементом является образующая цилиндрической поверхности ролика, а на рис. 11.4, *б* – его ось симметрии. На рис. 11.4, *в* базовым элементом А является ось симметрии цилиндрической поверхности ролика.

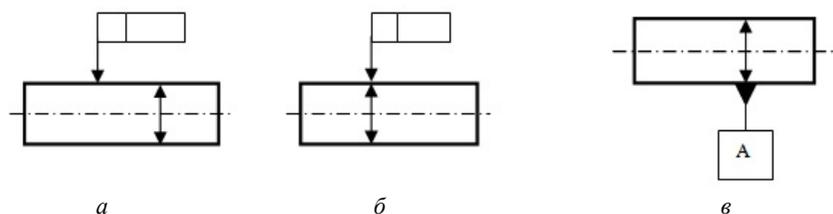


Рис. 11.4. Обозначения нормируемого и базового элементов

Попытка объединить обозначения допусков формы и расположения, один из которых относится к профилю поверхности, а другой – к оси симметрии (рис. 11.5), приведет к неизбежным ошибкам в обозначении. Где бы конструктор ни поставил размерную линию, одно из обозначений будет неправильным.

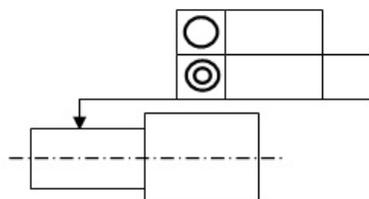


Рис. 11.5. Некорректное обозначение допуска формы и расположения элемента

На рис. 11.6 номинальные размеры, координирующие положение оси отверстия относительно комплекта баз Ж и Е, взяты в прямоугольные рамки. Это обязательно, если в технических требованиях указаны общие допуски, поскольку в противном случае на каждую координату оси отверстия будут установлены два разных вида допусков: общие допуски согласно техническим требованиям и позиционные допуски в соответствии с обозначением.

Каждая из баз Ж и Е, определяющих две координатные плоскости, помещена в отдельную рамку, поскольку они представляют комплект баз. Стрелка от рамки допуска лежит на продолжении диаметра отверстия, следовательно, позиционный допуск, заданный

в радиусном выражении, относится к оси симметрии отверстия. Указание радиусного ( $R$  или  $T/2$ ) или диаметального ( $\varnothing$  или  $T$ ) выражения допуска также является обязательным, поскольку числовые значения различаются в два раза. Нарушение указанных условий в обозначении позиционного допуска будет расцениваться нормоконтролером как ошибка, а обозначение зависимого допуска рассматривается им как право разработчика.

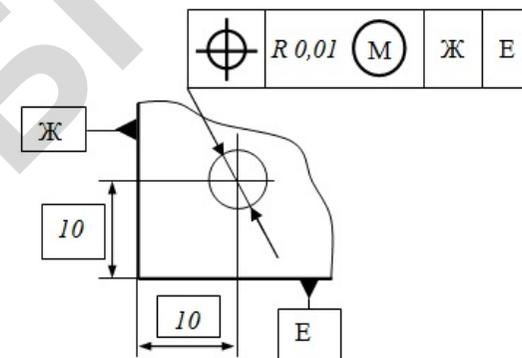


Рис. 11.6. Обозначение позиционного допуска

Перечень может быть продолжен, поскольку составлять его надо для конкретного субъекта хозяйствования с учетом типовых ошибок работающих там специалистов.

В текстовых документах могут встречаться термины и определения. Самостоятельно сконструированные разработчиками определения вводимых терминов часто фактически не являются определениями. К сожалению, примеры неудачного подхода можно найти даже в действующей нормативной документации.

Из РМГ 43: «Неопределенность (измерений) – параметр, связанный с результатом измерений и характеризующий рассеяние значений, которые могли бы быть обоснованно приписаны измеряемой величине».

Неопределенность измерений – сложное явление, включающее характер (закон) распределения случайной величины, а параметр случайного распределения может дать его количественную оценку. В определении смешаны неопределенность (качественная характеристика измерений) и количественные оценки неопределенности.

Из РМГ 29: «Случайная погрешность измерения – составляющая погрешности результата измерения, изменяющаяся случайным образом (по знаку и значению) при повторных измерениях, проведенных с одинаковой тщательностью, одной и той же физической величины».

Если выделить суть данного определения, то станет ясно, что случайная погрешность измерения – та, которая изменяется случайным образом (типичный случай определения через определяемое). Требование одинаковой тщательности невыполнимо из-за неопределенности, отсутствия критериев «одинаковости».

«Погрешность метода измерений – составляющая систематической погрешности измерений, обусловленная несовершенством принятого метода измерений». Снова определение через определяемое, дополненное указанием на систематический характер погрешности, что не является ее обязательным атрибутом. Подтверждение этого факта приведено в примечании к определению: «Иногда погрешность метода может проявляться как случайная».

Недостаток информации в документе может выражаться следующим образом:

- отсутствие на чертеже или рисунке минимально необходимого числа изображений (недостающие схемы, изображения, проекции, разрезы, сечения);
- отсутствие в тексте необходимых выносок, размеров (неполные размерные цепочки, отсутствие размеров на повторяющихся однотипных элементах чертежа, например, одинаковых подшипниковых шейках вала и др.);
- отсутствие логически вытекающих необходимых положений или ссылок на иные источники.

Избыток информации в документе может быть связан с дублированием некоторых положений, видов и размеров на чертежах, наличием информации, которая не является необходимой, не имеет непосредственного отношения к объекту экспертизы.

Неправильное использование терминов и обозначений встречается и в текстовых, и в графических документах. Множество типичных ошибок связаны с метрологическими характеристиками средств измерений, наименованиями физических величин, обозначениями их единиц, формами представления результатов измерений. Часто путают диапазон измерений с диапазоном показаний (у измерительной голов-

ки нет диапазона измерений, нет его и у многозначной меры), обозначают диапазон одним пределом, называют номинальную ступень квантования «дискрета», «дискретность», «величина отсчета», «разрешающая способность».

Весьма распространенными словосочетаниями являются «величина силы», «величина напряжения» и им подобные, в то время как сила и напряжение (электрического тока) сами являются физическими величинами. В обозначениях единиц физических величин часто отсутствуют пробелы между числом и обозначением единицы, обозначение единицы переносят на следующую строку или страницу, некорректно обозначают диапазоны величин. Правила обозначения единиц физических величин представлены в стандартах (например, ГОСТ 8.417) и технических регламентах.

Записи результатов измерений часто не соответствует требованиям обеспечения единства измерений в части представления оценки погрешности или неопределенности с указанием значения доверительной вероятности.

Использование нестандартных элементов конструкции при наличии стандартных обычно обнаруживается на чертежах и включает неприменение нормальных линейных размеров для несопрягаемых элементов деталей, использование нестандартных канавок, заплечиков, нестандартных значений допусков и др.

Среди неправильных обозначений требований к точности параметров на чертежах особенно часто встречаются неправильные указания допусков формы и расположения поверхностей (включая обозначения баз). Из-за устойчивой привычки к устаревшим обозначениям встречаются неправильные обозначения требований к шероховатости поверхностей, к общим допускам размеров, не указанным непосредственно у элемента.

Разработчики часто забывают, что допуск формы не может быть больше установленного по уровню относительной геометрической точности  $A$  (60 % от допуска размера или 30 % для симметричных поверхностей) и что частные допуски формы не могут быть больше интегрального.

Устаревшие обозначения параметров шероховатости поверхностей и допусков размеров, не указанных индивидуально (общие

допуски), в старых документах не являются ошибками, но сегодня это должно фиксироваться как архаизм.

Знание стандартных требований к точности параметров составляет элементарную профессиональную грамотность разработчика. К таким требованиям относятся, например, требования к поверхностям, сопрягаемым с подшипниками качения: обязательное нормирование допусков формы сопрягаемых цилиндрических поверхностей и допусков к их расположению, допуски торцового биения заплечиков валов и корпусов, ограничение высотных параметров шероховатости сопрягаемых и привалочных поверхностей. Не следует забывать также стандартные требования к резьбовым поверхностям деталей, предназначенных для посадок с натягом, требования к точности шпоночных сопряжений, зубчатых колес и передач и пр.

Часто встречаются также ошибки в текстовых записях технических требований или технических условий (нарушение требований ЕСКД), в том числе неправильный порядок записей, наличие неконтролепригодных требований и уже упоминавшиеся ошибки в обозначениях физических величин и их единиц.

### 11.3. Ошибки, выявляемые при метрологической экспертизе

К типовым ошибкам, выявляемым при метрологической экспертизе, можно отнести:

- назначение недостаточно жестких допусков на функционально важные параметры;
- назначение необоснованно жестких допусков параметров (включая функционально важные и второстепенные);
- несогласованные допуски макрогеометрии (размеров, формы и (или) расположения);
- несогласованные с допусками макрогеометрии (размеров, формы и (или) расположения) высотные параметры шероховатости поверхностей;
- назначение в качестве конструкторских (значит, и измерительных) баз конструктивных элементов низкой точности;

- выбор в качестве конструкторских и измерительных баз осей или точек, получаемых геометрическими построениями, в том числе с использованием элементов, положение которых не ограничивается специальными точностными требованиями (допусками формы и расположения поверхностей);

- выбор в качестве измерительных баз поверхностей, не являющихся главными при функционировании детали (нарушение следствия из принципа инверсии).

Выявление таких ошибок требует проведения функциональной экспертизы, реализация которой в каждом конкретном случае имеет свои особенности. Примеры не приводятся, поскольку они рассмотрены в разделах 5–8 настоящего пособия.

В производственных условиях представленный перечень типовых ошибок может быть самостоятельно дополнен экспертом на основании собственного опыта экспертной работы.

Предварительный анализ объекта, направленный на обнаружение типовых ошибок, позволяет выявить подобные недостатки практически любого объекта экспертизы, что в значительной мере определяет дальнейшее направление экспертизы.

## 12. СОВМЕСТНЫЙ МЕТРОЛОГИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ И НОРМОКОНТРОЛЬ

В ситуации, когда процесс проектирования у субъекта хозяйствования отработан и в ходе метрологической экспертизы не ожидается значительного числа замечаний, экспертизу можно заменить метрологическим контролем. Понятие «метрологический контроль» в литературных источниках и нормативных документах трактуют по-разному. Так, в РМГ 63–2003 сказано, что «метрологический контроль осуществляют путем проверки технической документации на соответствие конкретным метрологическим требованиям, установленным в стандартах и других нормативных документах (например, проверка на соответствие ГОСТ 8.417 наименований и обозначений, указанных в технической документации единиц величин или проверка на соответствие РМГ 29 использованных метрологических терминов)». Для специалистов очевидно, что в данном предложении метрологический контроль перепутан с нормоконтролем в области законодательной метрологии.

Нормоконтроль не является составной частью метрологической экспертизы, хотя в определенных ситуациях он может стать необходимостью для ее успешного проведения. Например, при некорректном обозначении требований к точности параметров, возможность проведения метрологической экспертизы связана с исправлением ошибок и устранением нарушений нормативных документов, что формально не входит в обязанности эксперта-метролога. Но поскольку нормоконтроль является завершающей стадией разработки документов, эксперту-метрологу в подобных случаях приходится брать на себя часть работы нормоконтролера, выполняя ее до стадии стандартизационной экспертизы.

Из сказанного ясно, что существует необходимость специальной подготовки экспертов-метрологов в области стандартизации и стандартизационной экспертизы, чем они отличаются от нормоконтролеров, которые могут не разбираться в метрологической экспертизе. Одним из удачных вариантов представляется совместное проведение метрологической и стандартизационной экспертиз одним экспертом, имеющим подготовку достаточно высокого уровня в обеих областях.

Совместное проведение метрологической и стандартизационной экспертизы привело к следующему логичному шагу – в литературе появилось понятие «метрологический контроль и нормоконтроль», которое подразумевало обобщенный контроль в двух областях, проводимый одним экспертом или двумя экспертами практически одновременно. Цель совмещенного метрологического контроля и нормоконтроля – проверка соответствия уровня качества представленных документов и объекта с позиций стандартизации и метрологии предписанному. Как и всякий контроль, совмещенный метрологический контроль и нормоконтроль заканчиваются заключением о соответствии контролируемого объекта поставленным требованиям (альтернативным заключением о «годности» объекта).

Так, при контроле изделия минимально необходимый уровень качества определяется нормосоответствием документов и представляемого ими изделия, а также контролепригодностью параметров изделия. Иными словами, совмещенный метрологический контроль и нормоконтроль по составу аналогичны формальной стандартизационной и метрологической экспертизе, проводимой совместно, и дополненной заключением о «годности» (нормосоответствии и контролепригодности).

В случае признания соответствия («годности») объекта, можно приступить к его реализации, т. е. изделие можно запускать в производство, а технологический процесс – в действие без внесения исправлений и изменений в документацию, которая была представлена на контроль. В случае признания несоответствия, процесс реализации объекта откладывается до внесения в документацию всех необходимых исправлений и изменений, которые обеспечат нормосоответствие документа и представляемого им изделия, а также контролепригодность его параметров.

Если ставится цель повысить уровень качества объекта, то в рамках совмещенного метрологического контроля и нормоконтроля придется проводить функциональную стандартизационную и метрологическую экспертизу. Глубина экспертизы и объем выполняемой экспертной работы будут определяться поставленными перед экспертом целями и задачами.

Внесение в документацию исправлений и изменений, направленных на повышение качества объекта, не входит в задачи экс-

пертизы, значит, эксперт, отметив недостатки объекта, может высказать предложения, направленные на совершенствование объекта, а разработчик имеет право отклонить эти предложения. Речь идет не об устранении нарушений требований стандартов и обеспечении контролепригодности (связанные с этим ошибки исправляются беспрекословно), а о замене оригинальных элементов объекта стандартными или о таких изменениях элементов, которые повысят контролепригодность параметров и качество функционирования объекта. В метрологии подобная деятельность носит название «метрологическая проработка объекта» и может включать в себя как обеспечение контролепригодности параметров, так и оптимизацию назначаемых норм точности. По аналогии можно предложить понятие «стандартизационная проработка объекта», которое подразумевает замену оригинальных элементов объекта стандартными с сохранением или даже с повышением уровня качества объекта.

Для успешного прохождения совместного метрологического контроля и нормоконтроля, если первая попытка оказалась неудачной, необходимо провести стандартизационную и метрологическую проработку объекта и, как минимум, устранить обнаруженные при экспертизе несоответствия, связанные с нарушением требований стандартов и неконтролепригодностью параметров. Очевидно, что для достижения поставленной цели необходимо проведение формальной стандартизационной и метрологической экспертизы и последующей стандартизационной и метрологической проработки объекта. При более широкой трактовке формальную экспертизу можно дополнить элементами функциональной или даже провести полномасштабную функциональную стандартизационную и метрологическую экспертизу.

Проведенный анализ показывает, что для успешного прохождения совместного метрологического контроля и нормоконтроля требуется решение большего числа задач, чем при экспертизе, хотя в РМГ 63–2003 метрологический контроль представлен как упрощенная экспертиза, проводимая с минимальным использованием интеллектуальных и временных ресурсов. Если метрологический контроль заменить проверкой технической документации на соответствие конкретным метрологическим требованиям, установленным в стандартах и других нормативных документах, это действи-

тельно существенно сократит работу. Однако такая трактовка некорректная, поскольку проверка нормосоответствия – задача нормоконтроля, т. е. стандартизационной, а не метрологической экспертизы. Кроме того, в РМГ 63–2003 не рассматривается вопрос о необходимых действиях в случае отрицательного результата контроля.

Требования к квалификации экспертов для проведения совместного метрологического контроля и нормоконтроля очевидны – эксперт должен быть квалифицированным специалистом как в области стандартизации, так и в области метрологии. В РМГ 63–2003 сказано, что совместный метрологический контроль и нормоконтроль могут осуществляться силами нормоконтролеров, прошедших специальную подготовку в области метрологии, что вызывает определенные сомнения. Очевидно, что оптимальным вариантом для проведения такого контроля будет привлечение экспертов, прошедших фундаментальную подготовку в обеих областях в ходе получения инженерного образования по специальности «Метрология, стандартизация и сертификация».

Для стандартизационной и метрологической проработки необходима также высокая квалификация в области проектирования объектов экспертизы. Поскольку высокая квалификация эксперта в данной области представляется сомнительной, оптимальным вариантом можно считать совместную работу эксперта и разработчика.

Для проведения совместного метрологического контроля и нормоконтроля должны быть созданы определенные условия. Кроме специально подготовленных экспертов, на случай отрицательного результата контроля, следует предусмотреть обязательное проведение стандартизационной и метрологической проработки объекта с участием разработчиков. Предпочтительно, чтобы методика совместного контроля, обработки его материалов и рекомендации по проведению стандартизационной и метрологической проработки объекта были оформлены специальным нормативным документом (стандартом организации или методическими рекомендациями). В основу разработки таких документов могут быть положены рекомендации по проведению метрологической экспертизы и нормоконтроля, рекомендации по обеспечению контролепригодности параметров.

Окончательные результаты совместного метрологического контроля и нормоконтроля в случае положительного результата

оформляются подписями эксперта (экспертов) в установленных местах документа. При отрицательных результатах необходимо представить экспертное заключение с перечнем замечаний и предложений для устранения обнаруженных при экспертизе несоответствий. Оформление промежуточных результатов совмещенного метрологического контроля и нормоконтроля не имеет принципиальных отличий от оформления результатов нормоконтроля и метрологической экспертизы. Для их оформления можно воспользоваться формами заключения и таблицами, представленными в настоящем пособии, или самостоятельно разработать иные формы.

Анализ совместного метрологического контроля и нормоконтроля показывает, что такой контроль представляет собой полноценную стандартизационную и метрологическую экспертизы, дополняемые заключением о соответствии объекта установленным требованиям. В случае отрицательного заключения о соответствии обязательно проводят стандартизационную и метрологическую проработку объекта по результатам экспертизы, которая обеспечивает положительное заключение.

Правильное использование совместного метрологического контроля и нормоконтроля с привлечением для последующей стандартизационной и метрологической проработки представителей подразделения-разработчика позволяет существенно повысить уровень качества проектируемых объектов и процессов их разработки.

Примеры совместной метрологической и стандартизационной экспертизы приведены в прилож. 10 и 11.

### **13. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ПРОВЕДЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ**

В данном разделе представлены методические указания к проведению практических занятий, направленных на закрепление знаний, которые получены при изучении теоретических материалов по дисциплине, чем определяется выбор рекомендуемых тем. В зависимости от ситуации некоторые темы могут быть исключены или объединены, допускается дробление тем и введение новых. Подробная разработка методических указаний к каждой практической работе нерациональна, поскольку может стеснять инициативу преподавателя и студентов. Кроме того, специфика дисциплины заключается в отсутствии жесткой регламентации методик экспертизы действующими нормативными документами.

Разнообразие объектов экспертизы и необходимой экспертной работы привело к отсутствию унификации методических указаний – к каждому из практических занятий они индивидуализированы в соответствии с видами объектов экспертизы и предполагаемым направлением и объемом экспертной работы. Общее задание позволяет участвовать в обсуждении результатов экспертизы всей группе и обеспечивает возможности дальнейшей самостоятельной работы над индивидуальным заданием, которое может выдаваться на бригаду из двух-трех человек.

При проведении занятий акцент в работе делается на формальную экспертизу, практическое усвоение навыков которой является достаточным результатом для начинающего эксперта. Элементы функциональной экспертизы демонстрирует преподаватель в ходе обсуждения общей работы. Включение студентов в обсуждение позволит им сделать попытку проведения функциональной экспертизы. На каждую тему практических занятий предполагается отводить два академических часа. В случае значительного объема экспертной работы на занятие может быть отведены две пары (четыре академических часа).

## **Практическая работа № 1. Метрологическая экспертиза и стандартизационная экспертиза как составные части научно-технической экспертизы**

*Цель работы:* определение значения метрологической и стандартизационной экспертиз в обеспечении качества объектов.

*Контроль усвоения:* устный или письменный опрос.

*Объекты экспертизы:* РМГ 63–2003 «Рекомендации по межгосударственной стандартизации. Государственная система обеспечения единства измерений. Обеспечение эффективности измерений при управлении технологическими процессами. Метрологическая экспертиза технической документации»; ГОСТ 2.111 «ЕСКД. Нормоконтроль».

*Методическое обеспечение:* настоящее пособие.

### **Задания и последовательность выполнения работы**

**Задание 1.** Выявить различия между экспертизой, контролем, измерениями и испытаниями. Обнаруженные различия представить в произвольной форме.

**Задание 2.** Оценить взаимосвязи между экспертизой, контролем, измерениями и испытаниями. Результаты представить в произвольной форме.

**Задание 3.** Определить глобальные цели научно-технической экспертизы разных объектов и ее роль в обеспечении качества объектов. Оценить необходимость и рациональность выделения частных видов экспертиз (метрологической экспертизы, стандартизационной экспертизы, технологической экспертизы и др.). Результаты представить в произвольной форме.

По результатам выполнения каждого задания рекомендуется проводить обсуждения.

## **Практическая работа № 2. Общие цели и задачи метрологической и стандартизационной экспертиз**

*Цель работы:* определение общих целей и задач метрологической экспертизы и стандартизационной экспертизы.

*Контроль усвоения:* устный или письменный опрос.

*Объекты экспертизы:* РМГ 63–2003 «Рекомендации по межгосударственной стандартизации. Государственная система обеспечения единства измерений. Обеспечение эффективности измерений при управлении технологическими процессами. Метрологическая экспертиза технической документации»; ГОСТ 2.111 «ЕСКД. Нормоконтроль».

*Методическое обеспечение:* настоящее пособие.

### **Задания и последовательность выполнения работы**

**Задание 1.** Выявить глобальные цели метрологической и стандартизационной экспертиз. Сформулировать частные цели метрологической экспертизы и стандартизационной экспертизы. Результаты представить в произвольной форме.

**Задание 2.** Исходя из поставленных целей, сформулировать основные задачи метрологической и стандартизационной экспертиз. Результаты представить в произвольной форме.

По результатам выполнения каждого задания рекомендуется проводить обсуждения.

## **Практическая работа № 3. Научные принципы подготовки и проведения метрологической и стандартизационной экспертиз**

*Цель работы:* изучение принципов подготовки и проведения метрологической и стандартизационной экспертиз.

*Контроль усвоения:* устный или письменный опрос.

*Объекты экспертизы:* РМГ 63–2003 «Рекомендации по межгосударственной стандартизации. Государственная система обеспечения единства измерений. Обеспечение эффективности измерений при управлении технологическими процессами. Метрологическая экспертиза технической документации»; ГОСТ 2.111 «ЕСКД. Нормоконтроль».

*Методическое обеспечение:* настоящее пособие.

### **Задания и последовательность выполнения работы**

**Задание 1.** Ознакомиться с принципами подготовки и проведения метрологической и стандартизационной экспертиз. Результаты представить в произвольной форме.

**Задание 2.** Оценить возможность распространения зафиксированных принципов на иные виды экспертиз. Результаты представить в произвольной форме.

**Задание 3.** Оценить возможность применения зафиксированных принципов на иные виды работ (изучение объекта, подготовка к экзамену и др.). Результаты представить в произвольной форме.

По результатам выполнения каждого задания рекомендуется проводить обсуждения.

#### **Практическая работа № 4. Стандартизационная экспертиза на базе конструкторской документации**

*Цель работы:* получение практических навыков проведения стандартизационной экспертизы (нормоконтроля) на базе конструкторской документации.

*Контроль усвоения:* устный или письменный опрос.

*Объекты экспертизы:* чертеж детали; комплект конструкторской документации (материалы технического проекта и чертежи деталей).

*Методическое обеспечение:* настоящее пособие. ГОСТ 2.111 «ЕСКД. Нормоконтроль».

**Задания и последовательность выполнения работы (см. прилож. 1)**

**Задание 1.** Выполнить стандартизационную экспертизу по чертежу детали. Результаты (замечания и предложения) представить в табличной форме по ГОСТ 2.111, прилож. 1. (Выдается один чертеж детали на всю группу.)

**Задание 2.** Выполнить стандартизационную экспертизу объекта на базе конструкторской документации в соответствии с индивидуальным заданием. Результаты (замечания и предложения) представить в табличной форме.

Рекомендуется проводить обсуждение по результатам выполнения задания 1.

При выполнении работы рекомендуется проверка следующих элементов:

- 1) внешний вид предъявляемой документации;
- 2) правильность выполнения основной надписи;

3) полнота заполнения атрибутов реквизитной части, включая установленные подписи и даты;

4) правильность выполнения чертежей в соответствии с требованиями стандартов ЕСКД на масштабы, изображения (виды, разрезы, сечения), нанесение размеров, условные изображения конструктивных элементов (резьб, шлицевых соединений, зубчатых венцов колес и звездочек) и т. п.;

5) соблюдение требований стандартов на обозначения шероховатости поверхностей, термообработки, покрытий, простановки предельных отклонений размеров, отклонений формы и расположения поверхностей и т. п.;

6) правильность сокращений примененных слов;

7) наличие и правильность ссылок на стандарты и другие нормативные документы.

#### **Практическая работа № 5. Стандартизационная экспертиза на базе текстовой документации**

*Цель работы:* получение практических навыков проведения стандартизационной экспертизы (нормоконтроля) на базе текстовой документации.

*Контроль усвоения:* устный или письменный опрос.

*Объекты экспертизы:* текстовые документы (пояснительная записка технического проекта, эксплуатационные документы и др.)

*Методическое обеспечение:* настоящее пособие. ГОСТ 2.111 «ЕСКД. Нормоконтроль»; Стандарт организации (прилож. 12).

**Задания и последовательность выполнения работы (см. прилож. 3)**

**Задание 1.** Выполнить стандартизационную экспертизу по текстовому документу. Результаты (замечания и предложения) представить в табличной форме по ГОСТ 2.111. (Выдается один документ на всю группу.)

**Задание 2.** Выполнить стандартизационную экспертизу объекта на базе текстовой документации в соответствии с индивидуальным заданием. Результаты (замечания и предложения) представить в табличной форме.

Рекомендуется проводить обсуждение по результатам выполнения задания 1.

Перед выполнением работы следует уточнить, каким стандартным требованиям должны соответствовать объекты (для конструкторской документации – ГОСТ 2.105 и ГОСТ 2.106, для исследовательской – ГОСТ 7.32, для всех документов, содержащих физические величины, ГОСТ 8.417 и др.).

При выполнении работы рекомендуется проверка следующих элементов:

- 1) внешний вид предъявляемой документации;
- 2) правильность структуры и оформления документации;
- 3) правильность использования терминологии;
- 4) правильность условных обозначений;
- 5) правильность оформления иллюстраций;
- 6) правильность написания формул;
- 7) корректность представления числовых значений;
- 8) правильность представления информационных источников и ссылок.

### **Практическая работа № 6. Анализ задач метрологической экспертизы объектов**

*Цель работы:* получение практических навыков постановки задач метрологической экспертизы объектов.

*Контроль усвоения:* устный или письменный опрос.

*Объекты экспертизы:* изделия, технологические процессы, представленные документами (чертежи, пояснительная записка технического проекта, эксплуатационные документы, нормативные документы и др.)

*Методическое обеспечение:* настоящее пособие; РМГ 63–2003 «Рекомендации по межгосударственной стандартизации. Государственная система обеспечения единства измерений. Обеспечение эффективности измерений при управлении технологическими процессами. Метрологическая экспертиза технической документации».

### **Задания и последовательность выполнения работы**

**Задание 1.** Провести анализ задач метрологической экспертизы объектов, регламентированных РМГ 63–2003. Результаты представить в произвольной форме.

**Задание 2.** Поставить цель экспертизы заданного объекта. Определить основные задачи метрологической экспертизы объекта, наметить возможные пути их решения. Результаты представить в произвольной форме (предпочтительна табличная форма).

**Задание 3.** Сформулировать наиболее общие задачи метрологической экспертизы типовых объектов и представить их в произвольной форме.

Рекомендуется проводить обсуждение по результатам выполнения задания 1.

### **Практическая работа № 7. Метрологическая экспертиза объектов на базе конструкторской документации**

*Цель работы:* получение практических навыков проведения метрологической экспертизы на базе конструкторской документации.

*Контроль усвоения:* устный или письменный опрос.

*Объекты экспертизы:* изделие. Объектом может быть деталь, представленная рабочим чертежом; сборочная единица, представленная комплектом конструкторской документации (например, материалами технического проекта и чертежами деталей).

*Методическое обеспечение:* настоящее пособие; РМГ 63–2003 «Рекомендации по межгосударственной стандартизации. Государственная система обеспечения единства измерений. Обеспечение эффективности измерений при управлении технологическими процессами. Метрологическая экспертиза технической документации»; ГОСТ 2.111 «ЕСКД. Нормоконтроль».

### **Задания и последовательность выполнения работы (см. прилож. 6)**

**Задание 1.** Выполнить метрологическую экспертизу по чертежу детали. Результаты (замечания и предложения) представить в произвольной форме. (Выдается один чертеж детали на всю группу.)

**Задание 2.** Провести метрологическую экспертизу объекта на базе конструкторской документации в соответствии с индивидуальным заданием. Результаты (замечания и предложения) представить в произвольной форме.

**Задание 3.** Изучить рекомендуемые в настоящем пособии формы представления промежуточных и окончательных результатов экспертизы. Представить результаты экспертизы, полученные при выполнении задания 2, в виде экспертного заключения и примеры промежуточных результатов в табличной форме. Рекомендуется проводить обсуждение по результатам выполнения задания 1.

При выполнении работы рекомендуется проверка следующих элементов:

- 1) правильность структуры и оформления документации;
- 2) правильность использования терминологии;
- 3) правильность условных обозначений;
- 4) корректность представления числовых значений;
- 5) контролепригодность функционально важных параметров с позиций инструментальной доступности;
- 6) контролепригодность функционально важных параметров с позиций обеспечения точности.

### **Практическая работа № 8. Метрологическая экспертиза объектов на базе технологической документации**

*Цель работы:* получение практических навыков проведения метрологической экспертизы на базе технологической документации.

*Контроль усвоения:* устный или письменный опрос.

*Объекты экспертизы:* технологический процесс или его часть (форма представления – технологические карты и (или) другие материалы технологического процесса).

*Методическое обеспечение:* настоящее пособие. РМГ 63–2003 «Рекомендации по межгосударственной стандартизации. Государственная система обеспечения единства измерений. Обеспечение эффективности измерений при управлении технологическими процессами. Метрологическая экспертиза технической документации»; ГОСТ 3.1116 «ЕСТД. Нормоконтроль».

**Задания и последовательность выполнения работы (см. прилож. 10)**

**Задание 1.** Выполнить метрологическую экспертизу по материалам технологического процесса. Результаты (замечания и предло-

жения) представить в произвольной форме. (Выдаются одинаковые документы на всю группу.)

**Задание 2.** Провести метрологическую экспертизу объекта на базе технологической документации в соответствии с индивидуальным заданием. Результаты (замечания и предложения) представить в произвольной форме.

**Задание 3.** Изучить рекомендуемые в настоящем пособии формы представления промежуточных и окончательных результатов экспертизы. Представить результаты экспертизы, полученные при выполнении задания 2, в виде экспертного заключения и примеры промежуточных результатов в табличной форме.

Рекомендуется проводить обсуждение по результатам выполнения задания 1.

При выполнении работы рекомендуется проверка следующих элементов:

- 1) правильность структуры и оформления документации;
- 2) правильность использования терминологии;
- 3) правильность условных обозначений;
- 4) корректность представления числовых значений;
- 5) контролепригодность функционально важных параметров с позиций инструментальной доступности;
- 6) контролепригодность функционально важных параметров с позиций обеспечения точности.

### **Практическая работа № 9. Метрологическая и стандартизационная экспертизы средств измерений и документации на них**

*Цель работы:* получение практических навыков проведения экспертизы на базе документации на средства измерений.

*Контроль усвоения:* устный или письменный опрос.

*Объекты экспертизы:* средство измерений, документация на средство измерений (форма представления средства измерений – техническое описание и (или) эксплуатационная документация).

*Методическое обеспечение:* настоящее пособие; РМГ 63–2003 «Рекомендации по межгосударственной стандартизации. Государственная система обеспечения единства измерений. Обеспечение

эффективности измерений при управлении технологическими процессами. Метрологическая экспертиза технической документации»; РМГ 29–99 «Государственная система обеспечения единства измерений. Метрология. Основные термины и определения»; ГОСТ 2.601 «ЕСКД. Эксплуатационные документы»; ГОСТ 8.009 «Нормируемые метрологические характеристики средств измерений»; ТР 2007/003/ВУ «Единицы измерений, допущенные к применению на территории Республики Беларусь».

#### **Задания и последовательность выполнения работы (см. прилож. 8)**

**Задание 1.** Выполнить метрологическую и стандартизационную экспертизы по техническому описанию и (или) эксплуатационной документации средства измерений. Результаты (замечания и предложения) представить в произвольной форме. (Выдаются одинаковые документы на всю группу.)

**Задание 2.** Провести метрологическую и стандартизационную экспертизы объекта на базе документации на средство измерений в соответствии с индивидуальным заданием. Результаты (замечания и предложения) представить в произвольной форме.

**Задание 3.** Изучить рекомендуемые в настоящем пособии формы представления промежуточных и окончательных результатов экспертизы. Представить результаты метрологической экспертизы, полученные при выполнении задания 2, в виде экспертного заключения и примеры результатов стандартизационной экспертизы в табличной форме.

Рекомендуется проводить обсуждение по результатам выполнения задания 1.

При выполнении работы рекомендуется проверка следующих элементов:

- 1) правильность структуры и оформления документации;
- 2) правильность нормирования метрологических характеристик;
- 3) правильность использования терминологии;
- 4) правильность условных обозначений;
- 5) корректность представления числовых значений;
- 6) контролепригодность метрологических характеристик средства измерений.

#### **Практическая работа № 10. Метрологическая и стандартизационная экспертизы методик выполнения измерений и измерительного контроля**

*Цель работы:* получение практических навыков проведения экспертизы методик выполнения измерений и измерительного контроля.

*Контроль усвоения:* устный или письменный опрос.

*Объекты экспертизы:* методика выполнения измерений и (или) измерительного контроля (форма представления – описание методики выполнения измерений или методики измерительного контроля).

*Методическое обеспечение:* настоящее пособие; РМГ 63–2003 «Рекомендации по межгосударственной стандартизации. Государственная система обеспечения единства измерений. Обеспечение эффективности измерений при управлении технологическими процессами. Метрологическая экспертиза технической документации»; РМГ 43–2001 «Применение “Руководства по выражению неопределенности измерений”»; ГОСТ 8.010 «Методики выполнения измерений»; РМГ 29–99 «Государственная система обеспечения единства измерений. Метрология. Основные термины и определения»; ГОСТ 8.009 «Государственная система обеспечения единства измерений. Нормируемые метрологические характеристики средств измерений»; ТР 2007/003/ВУ «Единицы измерений, допущенные к применению на территории Республики Беларусь»; ГОСТ 8.050 «Нормальные условия выполнения линейных и угловых измерений»; ГОСТ 8.051 «Погрешности, допускаемые при измерении линейных размеров до 500 мм».

#### **Задания и последовательность выполнения работы (см. прилож. 9)**

**Задание 1.** Выполнить метрологическую и стандартизационную экспертизы по описанию методики выполнения измерений. Результаты (замечания и предложения) представить в произвольной форме. (Выдаются одинаковые документы на всю группу.)

**Задание 2.** Провести метрологическую и стандартизационную экспертизы объекта (методики выполнения измерений или методики измерительного контроля) на базе документации на методику в соответствии с индивидуально выданным заданием. Результаты (замечания и предложения) представить в произвольной форме.

**Задание 3.** Изучить рекомендуемые в настоящем пособии формы представления промежуточных и окончательных результатов экспертизы. Представить результаты метрологической экспертизы, полученные при выполнении задания 2, в виде экспертного заключения и примеры результатов стандартизационной экспертизы в табличной форме.

Рекомендуется проводить обсуждение по результатам выполнения задания 1.

При выполнении работы рекомендуется проверка следующих элементов:

- 1) правильность структуры и оформления документации на МВИ;
- 2) правильность использования терминологии;
- 3) правильность условных обозначений;
- 4) корректность представления числовых значений;
- 5) правильность нормирования допустимой погрешности измерений;
- 6) корректность требований к представлению результатов измерений.

### **Практическая работа № 11. Метрологическая и стандартизационная экспертизы нормативных документов**

*Цель работы:* получение практических навыков проведения метрологической и стандартизационной (нормоконтроль) экспертиз нормативной документации.

*Контроль усвоения:* устный или письменный опрос.

*Объекты экспертизы:* нормативный документ или проект нормативного документа.

*Методическое обеспечение:* настоящее пособие; ГОСТ 1.5 «Стандарты межгосударственные, правила и рекомендации по межгосударственной стандартизации»; ТКП 1.5–2004 «Правила построения, изложения, оформления и содержания технических кодексов установившейся практики и государственных стандартов»; РМГ 63–2003 «Рекомендации по межгосударственной стандартизации. Государственная система обеспечения единства измерений. Обеспечение эффективности измерений при управлении технологическими процессами. Метрологическая экспертиза технической документации»; примеры отзывов на проект НД и сводки отзывов.

### **Задания и последовательность выполнения работы (см. прилож. 11)**

**Задание 1.** Выполнить экспертизы по нормативному документу или проекту нормативного документа. Метрологическую экспертизу проводят только в том случае, если документ содержит объект метрологической экспертизы (нормы точности, методики измерений и т. д.). Результаты экспертизы представить в произвольной форме. (Выдается один документ на всю группу.)

**Задание 2.** Выполнить экспертизу объекта в соответствии с индивидуальным заданием. Результаты (замечания и предложения) представить в произвольной форме.

**Задание 3.** Изучить формы и сводки отзывов. Представить результаты экспертизы, полученные при выполнении задания 2, в виде отзывов на проект НД и примеры замечаний и предложений в табличной форме, приняв за основу сводку отзывов.

Рекомендуется проводить обсуждение по результатам выполнения задания 1.

При выполнении работы рекомендуется проверка следующих элементов:

- 1) правильность структуры и оформления документации;
- 2) правильность использования терминологии;
- 3) правильность условных обозначений;
- 4) правильность оформления иллюстраций;
- 5) правильность написания формул;
- 6) корректность представления числовых значений;
- 7) правильность представления информационных источников и ссылок;
- 8) контролепригодность функционально важных параметров с позиций инструментальной доступности и обеспечения точности.

### **Практическая работа № 12. Метрологическая и стандартизационная экспертизы материалов научных исследований**

*Цель работы:* получение практических навыков проведения метрологической и стандартизационной экспертиз материалов научных исследований.

*Контроль усвоения:* устный или письменный опрос.

*Объекты экспертизы:* отчет (фрагмент отчета) о научно-исследовательской работе, другой документ, отражающий научное исследование (статья, доклад и т. д.).

*Методическое обеспечение:* настоящее пособие; ГОСТ 7.32–2001 «Отчет о научно-исследовательской работе. Структура, правила оформления»; РМГ 63–2003 «Рекомендации по межгосударственной стандартизации. Государственная система обеспечения единства измерений. Обеспечение эффективности измерений при управлении технологическими процессами. Метрологическая экспертиза технической документации».

#### **Задания и последовательность выполнения работы**

**Задание 1.** Провести экспертизу по документу, отражающему научное исследование. Результаты экспертизы представить в произвольной форме. (Выдается один документ на всю группу.)

**Задание 2.** Выполнить экспертизу объекта в соответствии с индивидуальным заданием. Результаты (замечания и предложения) представить в произвольной форме.

**Задание 3.** Представить результаты экспертизы, полученные при выполнении задания 2, в виде отзыва (рецензии) на документ.

Рекомендуется проводить обсуждение по результатам выполнения задания 1.

При выполнении работы рекомендуется проверка следующих элементов:

- 1) правильность структуры и оформления документации (при экспертизе отчета о научно-исследовательской работе);
- 2) правильность использования терминологии;
- 3) правильность условных обозначений;
- 4) правильность оформления иллюстраций;
- 5) правильность написания формул;
- 6) корректность представления числовых значений;
- 7) правильность представления информационных источников и ссылок;
- 8) контролепригодность функционально важных параметров с позиций инструментальной доступности и обеспечения точности.

#### **Практическая работа № 13. Типовые ошибки, выявляемые при метрологической и стандартизационной экспертизах**

*Цель работы:* изучение типовых ошибок, выявляемых при проведении метрологической и стандартизационной экспертиз.

*Контроль усвоения:* устный или письменный опрос.

*Объекты экспертизы:* документы (конструкторские, технологические, другие), содержащие типовые ошибки.

*Методическое обеспечение:* настоящее пособие.

#### **Задания и последовательность выполнения работы**

**Задание 1.** Ознакомиться с типовыми ошибками, выявляемыми при проведении метрологической экспертизы. Выявить типовые ошибки в предложенных объектах экспертизы. Результаты представить в произвольной форме.

**Задание 2.** Ознакомиться с типовыми ошибками, выявляемыми при проведении стандартизационной экспертизы. Выявить типовые ошибки в предложенных объектах экспертизы. Результаты представить в произвольной форме.

**Задание 3.** Ознакомиться с типовыми ошибками, выявляемыми при проведении совместной метрологической и стандартизационной экспертизы. Выявить типовые ошибки в предложенных объектах экспертизы. Результаты представить в произвольной форме.

По результатам выполнения заданий 1 и 2 рекомендуется проводить обсуждения.

#### **Практическая работа № 14. Оформление результатов метрологической и стандартизационной экспертиз**

*Цель работы:* получение практических навыков оформления результатов метрологической и стандартизационной экспертиз.

*Контроль усвоения:* устный или письменный опрос.

*Объекты экспертизы:* изделие, процесс, представленные любыми документами.

*Методическое обеспечение:* настоящее пособие; РМГ 63–2003 «Рекомендации по межгосударственной стандартизации. Государственная система обеспечения единства измерений. Обеспечение

эффективности измерений при управлении технологическими процессами. Метрологическая экспертиза технической документации»; ГОСТ 2.111 «ЕСКД. Нормоконтроль».

#### Задания и последовательность выполнения работы

**Задание 1.** Провести метрологическую экспертизу объекта. Примеры промежуточных результатов экспертизы и заключение представить в нормированной форме (формы заимствуют из настоящего пособия). Выдается один объект экспертизы на всю группу.

**Задание 2.** Провести стандартизационную экспертизу объекта. Результаты (примеры замечаний и предложений) представить в нормированной форме. (Выдается один объект экспертизы на всю группу.)

**Задание 3.** Провести совместную метрологическую и стандартизационную экспертизу объекта. Представить результаты экспертизы в виде экспертного отчета (в произвольной форме).

Рекомендуется проводить обсуждение по результатам выполнения заданий 1 и 2.

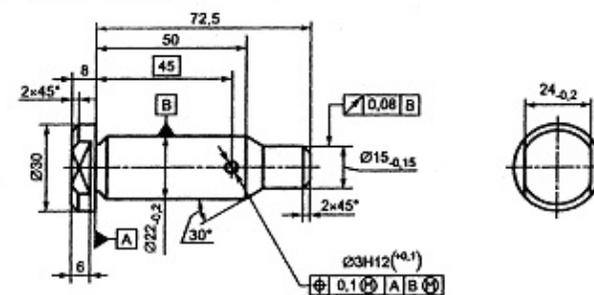
## ПРИЛОЖЕНИЯ

### 1 ПРИМЕР НОРМОКОНТРОЛЯ ПО КОНСТРУКТОРСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ («ЧЕРТЕЖ ДЕТАЛИ»)

Фактическим объектом стандартизационной экспертизы будет деталь, представленная в стандарте ГОСТ 30893.2–2002 (ИСО 2768–2–89) «Межгосударственный стандарт. Основные нормы взаимозаменяемости. Общие допуски. Допуски формы и расположения поверхностей, не указанные индивидуально» (рис. В.1 и В.2 приложения В стандарта).

Пример указания общих допусков на чертеже и их интерпретации

В.1 Пример указания общих допусков на чертеже



Общие допуски ГОСТ 30893.2 – mH1<sup>1)</sup>

Рисунок В.1

<sup>1)</sup> m – обозначение общих допусков размеров по классу точности «средний» по ГОСТ 30893.1, H – обозначение класса точности общих допусков формы и расположения по настоящему стандарту.

Рис. III.1. Фрагмент ГОСТ 30893.2–2002 (рис. В.1)

Поскольку материалы являются копиями стандарта, за все ошибки отвечают его разработчики. Приведенные рисунки являются имитацией чертежей, что не мешает экспертировать их как конструкторскую документацию за исключением основной надписи и иных подробностей оформления (масштабы, формат, требования к микрогеометрии, технические требования и др.).

## В.2 Интерпретация общих допусков

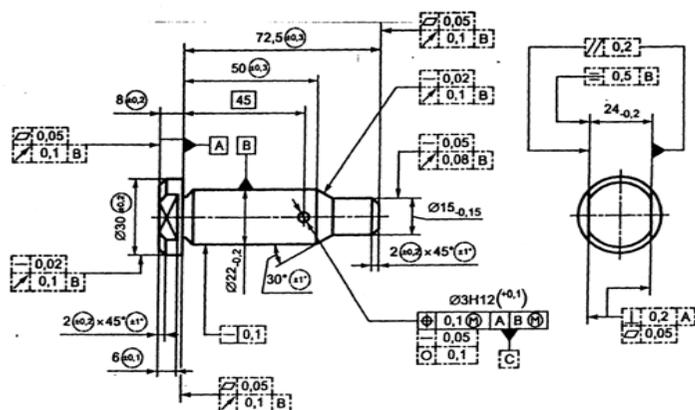


Рисунок В.2

## Пояснения к рисунку В.1

1 Допуски, заключенные в окружности или прямоугольные рамки (изображенные штрихпунктирными линиями с двумя штрихами), являются общими. Эти допуски должны автоматически достигаться при механической обработке в производстве, обычная точность которого равна или выше, чем ГОСТ 30893.2 mH; такие допуски, как правило, не требуют контроля.

2 В интерпретации раскрыты не все общие допуски, в частности, на те виды отклонений формы и расположения, которые ограничиваются указанными или общими допусками на другие виды отклонений, например, допуски радиального биения ограничивают также отклонения от круглости.

Рис. П1.2. Фрагмент ГОСТ 30893.2 (рис. В.2)

Итак, рис. П1.2 появился как иллюстрация требования «Общие допуски ГОСТ 30893.2–mH», предъявленного к детали на рис. П1.1 прилож. В стандарта. Однако в пояснении к рис. П1.2 (ошибочно написано к рис. В.1) написано, что «в интерпретации раскрыты не все общие допуски...», что для примера недопустимо.

При формальном нормоконтроле следует отметить некорректность формулировки «Общие допуски ГОСТ 30893.2–mH», поскольку в ней совмещены два стандарта «Общие допуски ГОСТ 30893.1–m», регламентирующий точность размеров и «Общие допуски ГОСТ 30893.2–H», регламентирующий требования к точности формы и расположения поверхностей. Не оправдано обозначение базы С, которая не только некорректно обозначена, но и нигде не используется. В той же группе обозначений требования

позиционного допуска, допуска прямолинейности и допуска круглости относятся к оси отверстия  $\varnothing 3 \text{ H}12$ , что справедливо для двух и некорректно для третьего. Не указано также, задан позиционный допуск в диаметральном или в радиусном выражении, что может привести к выбору вдвое различающихся значений.

Допуск параллельности «левой» лыски задан относительно «правой», которые меняются местами при повороте детали (следовало задать допуск взаимной параллельности лысок, для чего вместо знака базы надо поставить стрелку. Можно найти и другие формальные ошибки. Например, в пояснении 1 к рис. В.1 (см. рис. П1.2) сказано, что «допуски должны автоматически достигаться...». Допуск – норма, она назначается, достигается точность параметра, причем не обязательно при механической обработке (есть литье, электрохимическая и лазерная обработка и множество других технологических процессов).

Функциональная стандартизационная экспертиза позволяет поставить вопрос о целесообразности назначения для детали позиционного допуска оси отверстия  $\varnothing 3 \text{ H}12$ , поскольку достаточно было бы задать допуск перпендикулярности этой оси к базе В (или допуск пересечения осей) и координирующий размер 45 с указанием допуска.

Вызывает сомнение назначение допуска биения в заданном направлении, назначенного к переходной конической ступени детали – наверно, предполагалось нормировать допуск радиального биения.

Особый интерес может представлять оптимизация норм точности параметров, поскольку часть назначенных общих допусков представляется излишне жесткими. Так, исходя из точности размера  $(72,5 \pm 0,3) \text{ мм}$ , при равном распределении точности на оба торца значение торцового биения каждого из них могло бы составлять до 0,3, а назначены общие допуски биений 0,1, что в три раза жестче. Отсюда следует, что назначение общих допусков формы и расположения поверхностей в данном случае экономически неоправданно. Продолжение анализа покажет, что неоправданным можно считать и назначение ряда других (если не всех) общих допусков формы и расположения. Если где-то для функционально важных поверхностей понадобится назначение допусков формы

и расположения, это следует сделать и оформить в обычном порядке, не прибегая к обобщенному нормированию.

Проведенной экспертной работы достаточно, чтобы сформулировать цель стандартизационной экспертизы и сделать заключение о качестве представленного на экспертизу объекта. Цель экспертизы можно сформулировать так: «Обнаружить существенные недостатки объекта, проанализировать причины их появления и наметить пути устранения». Продолжение экспертной работы в данной ситуации нерационально, поскольку приведет только к увеличению объема механической работы.

Анализ выявленных недостатков объекта позволяет эксперту высказать мнение о причинах их появления:

- недостаточная квалификация конструктора в области оформления документов;
- использование для нормирования общих допусков ГОСТ 30893.2.

Пути устранения ошибок вытекают из обозначенных причин. Ошибки оформления документа следует устранить, прежде всего, на основании стандартных требований к обозначению допусков формы и расположения поверхностей. Принципиальный недостаток, вызванный использованием для нормирования общих допусков формы и расположения поверхностей, стандарта ГОСТ 30893.2, устраняется отказом от этого требования. Если в технических требованиях к детали записать «Общие допуски ГОСТ 30893.1–m», избыточные и нерациональные требования к допускам формы и расположения поверхностей, не указанных индивидуально, исключаются. Более общие рекомендации – повышение квалификации разработчиков и принципиальное усовершенствование ГОСТ 30893.2 или отказ от его применения при конструировании – не входят в обязанности эксперта, хотя будут свидетельствовать о его профессиональном уровне. Не следует забывать, что объектом экспертизы был «чертеж», а не стандарт в целом.

Сделанные замечания и предложения можно кратко сформулировать и, например, свести в таблицу (по типу П1.1), которая может играть обобщающую роль и никак не заменяет предшествующий текст, обязательно включающийся в пояснительную записку.

Перечень замечаний и предложений нормоконтролера

Условная пометка в документе	Содержание	
	замечаний	предложений
1	Неправильно обозначена неиспользуемая база С	Убрать обозначение базы
2	Из-за неправильного обозначения допуск круглости относится к оси отверстия Ø3 Н12	Обозначить допуск круглости отверстия Ø3 Н12
3	Не указано, в каком выражении задан позиционный допуск	Указать позиционный допуск в диаметральном или в радиусном выражении
...	...	...

Таблица П.1.1 приведена в качестве примера возможности концентрированного представления результатов стандартизационной экспертизы и потому не завершена. В таблицу обычно вносят все сделанные замечания.

Поскольку обнаружены принципиальные ошибки объекта экспертизы, требующие обязательного устранения, общее заключение по этой части экспертизы положительным быть не может. Формулировки могут быть разными по жесткости (не допускаются недоброжелательные или оскорбительные), но общее содержание будет отрицательным.

## 2 ПРИМЕРЫ НОРМОКОНТРОЛЯ ПО КОМПЛЕКТАМ КОНСТРУКТОРСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ

Экспертиза выполнялась по заказу реального субъекта хозяйствования. Перед началом работы с руководством заказчика была согласована цель экспертизы: «Обнаружить и зафиксировать явные ошибки объектов и повторяющиеся ( типовые) недостатки».

Для экспертизы были отобраны три комплекта конструкторских документов:

- «Узел шпинделя пилы» 120.16–01.01.000;
- «Привод механизма вращения гильзы» 120.16–01.05.07.000;
- «Опора роликовая» 120.16–01.09.000.

Эксперты рассматривали чертежи сборочных единиц (сборочный чертеж с элементами чертежа общего вида) и нескольких типовых деталей из каждого комплекта документов. По результатам экспертизы были подготовлены экспертные заключения (представлены ниже). Комплекты документов в пособие не включены из-за чрезмерного объема, однако экспертные заключения достаточно информативны и без них. Заключения были выполнены в свободной форме, согласованной с заказчиком. Представленные материалы заказчика удовлетворили. После обсуждения результатов руководство попросило экспертов организовать на предприятии занятия для повышения квалификации разработчиков, направленные на профилактику типовых ошибок.

### 1 ЭКСПЕРТНОЕ ЗАКЛЮЧЕНИЕ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ АНАЛИЗА КОМПЛЕКТА КОНСТРУКТОРСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ СБОРОЧНОЙ ЕДИНИЦЫ «УЗЕЛ ШПИНДЕЛЯ ПИЛЫ» 120.16–01.01.000

Результаты анализа объекта «Узел шпинделя пилы» по чертежу сборочной единицы 120.16–01.01.000 СБ и чертежам деталей

Отсутствие на чертеже сборочной единицы указаний размеров с посадками для значительной части сопряжений привело к неодинаковым сопряжениям однотипных деталей и некоторым несоответствиям между чертежами деталей и сборочной единицы.

- Для однотипных крышек 350.15–01.01.010 и 350.15–01.01.012 выбраны разные посадки ( $\text{Ø}62 \text{ H}7/\text{d}11$  и  $\text{Ø}62 \text{ H}7/\text{f}9$ ).
- Посадки в сопряжении оси 350.15–01.01.021 с корпусом 120.16–01.01.01.000СБ и проушиной 120.16–01.01.004 по  $\text{Ø}16$  на сборочном чертеже приняты  $\text{Ø}16 \text{ H}7/\text{h}6$ , а на чертежах проушины и корпуса заданы размеры отверстия  $\text{Ø}16 \text{ H}8$  и на чертеже оси на размер  $\text{Ø}16$  заданы поля допусков на трех участках:  $\text{f}7$  (два участка по краям) и  $\text{js}7$  в середине, что технологически неэкономично (здесь предпочтительно использовать посадки в системе вала).
- В сопряжениях распорной втулки 350.15–01.01.002 и шпинделя 120.16–01.01.001 назначены разнотипные посадки с зазорами (разнотипность объясняется выбором разных посадок подшипников на шпиндель). Для таких случаев рекомендуют либо назначение переходных посадок, либо использование сопряжения с зазором по номинальным размерам и жесткие требования к параллельности торцов втулки.

#### Результаты анализа чертежей деталей

Встречаются некорректные обозначения допусков формы и расположения поверхностей, например, в обозначениях допусков торцовых биений не указаны базы, что является обязательным элементом обозначения, не везде проставлены базы при обозначениях допусков расположения поверхностей, не всегда корректно указаны требования к шероховатости поверхностей (приведены примеры отдельных конкретных ошибок).

#### *Чертеж корпуса 120.16–01.01.01.000 СБ*

- На отверстия под подшипники в корпусе 120.16–01.01.01.000 СБ в технических требованиях (п. б) записано неоднозначное требование: «Разность диаметров в крайних сечениях поверхностей Д и Е 0,015 мм». В соответствии с требованиями ГОСТ 3325 к поверхностям отверстий, сопрягаемых с подшипниками, должны предъявляться требования к точности формы (допуск цилиндричности или допуски круглости и профиля продольного сечения) и к соосности каждого из отверстий относительно общей оси в соответствии с классом точности подшипников.

Поскольку контроль перпендикулярности торцовой поверхности корпуса относительно общей оси отверстий, сопрягаемых с под-

шипниками, затруднителен из-за малой ширины кольцевой плоскости, более рационально было бы назначить допуск торцового биения.

*Чертеж шпинделя 120.16–01.01.001 СБ*

- В технических требованиях (п. 2) записано неоднозначное требование: «Разность диаметров в крайних сечениях поверхностей В и Г 0,007 мм». В соответствии с требованиями ГОСТ 3325 к поверхностям валов, сопрягаемых с подшипниками, должны предъявляться требования к точности формы (допуск цилиндричности или допуски круглости и профиля продольного сечения) и к соосности или радиальному биению каждой из поверхностей относительно их общей оси в соответствии с классом точности подшипников. Стандарт не предусматривает использование в качестве базы для контроля соосности и (или) биений оси центров, которая является технологической базой.

- Не назначены допуски параллельности плоскостей симметрии шпоночных пазов относительно оси цилиндрической посадочной поверхности, на которой выполнен паз. В обозначении допусков симметричности плоскости симметрии шпоночных пазов не указаны базы.

- Не на всех поверхностях указаны необходимые требования к шероховатости (например, на поверхности Ø28 js6, на боковых поверхностях шпоночных пазов). Для размера Ø28 js6 ошибочно указаны предельные отклонения  $\pm 0,065$  мм.

*Чертеж оси 350.15–01.01.021 СБ*

Параметры следует согласовать с сопрягаемыми деталями (см. раздел 2).

*Чертеж крышки 350.15–01.01.012 СБ*

Допуск торцового биения обозначен неправильно и назначен нерационально, поскольку при посадке с зазором Ø62 Н7/ф9 положение торца, в который упирается подшипник, будет определять не цилиндрическая сопрягаемая поверхность, а торец, прилегающий к корпусу. Представляется более рациональным в качестве базы принять торец крышки, прилегающий к корпусу, на торец, в который упирается подшипник, задать допуск параллельности или параллельности и плоскостности и ужесточить требования к плоскостности и шероховатости базового торца.

Отсутствуют размеры отверстий на проход винтов и требования к их расположению. Эти требования следует согласовать с соответствующими требованиями к компенсатору 120.16–01.01.002.

*Чертеж крышки 350.15–01.01.010 СБ*

Допуск торцового биения обозначен неправильно и назначен нерационально, поскольку торец Ø62 в конструкции ни с чем не контактирует.

Отсутствуют требования к расположению отверстий на проход винтов. Эти требования следует согласовать с соответствующими требованиями к компенсатору 120.16–01.01.002.

Эксперты:

Подписи с расшифровкой и датами:

2 ЭКСПЕРТНОЕ ЗАКЛЮЧЕНИЕ  
ПО РЕЗУЛЬТАТАМ АНАЛИЗА КОМПЛЕКТА  
КОНСТРУКТОРСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ СБОРОЧНОЙ  
ЕДИНИЦЫ «ПРИВОД МЕХАНИЗМА ВРАЩЕНИЯ ГИЛЬЗЫ»  
120.16–01.05.07.000

Результаты анализа «Привода механизма вращения гильзы» по чертежу сборочной единицы 120.16–01.05.07.000 СБ и чертежам деталей

На чертеже сборочной единицы отсутствует обозначение размера с посадкой в сопряжении кронштейна 1 с мотор-редуктором 12.

Не проработаны элементы крепления шкива 4 на валу мотор-редуктора 12 (нет выносок болта и шайбы, шайба не перекрывает отверстие). В результате эти болт и шайба отсутствуют в спецификации.

*Чертеж кронштейна 120.16–01.05.07.100 СБ*

Некорректные обозначения, связанные с позиционным допуском: нестандартный знак допуска и обозначение того, что допуск зависимый. Не указано, задан ли допуск в диаметральном или радиусном выражении. Не указана база и отсутствует ее обозначение в рамке позиционного допуска. Диаметральный размер (Ø130) должен быть в прямоугольной рамке и без отклонений (отклонения  $\pm 0,1$  противоречат значению позиционного допуска 0,16).

Представляется целесообразным назначить на привалочную и базовую плоскости кронштейна допуски плоскостности и более жесткие требования к шероховатости этих поверхностей.

*Чертеж шкива 120.16–01.05.07.001 СБ*

В обозначении допуска симметричности шпоночного паза ошибочно обозначена база А (должна быть В).

Представляется целесообразным назначить допуски параллельности плоскости симметрии шпоночного паза относительно базы В, а также допуск торцового биения привалочного торца относительно той же базы.

Эксперты:

Подписи с расшифровкой и датами:

**3 ЭКСПЕРТНОЕ ЗАКЛЮЧЕНИЕ  
ПО РЕЗУЛЬТАТАМ АНАЛИЗА КОМПЛЕКТА  
КОНСТРУКТОРСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ СБОРОЧНОЙ  
ЕДИНИЦЫ «ОПОРА РОЛИКОВАЯ» 120.16–01.09.000**

Результаты анализа чертежа сборочной единицы  
«Опора роликотая» 120.16–01.09.000 СБ  
и чертежей деталей

На чертеже сборочной единицы отсутствует обозначение размера с посадкой в сопряжении наружного кольца подшипника со стаканом б.

*Чертеж ролика 350.15–01.08.001 СБ*

Допуск радиального биения обозначен неправильно, поскольку формально нормирует биение оси, а не поверхности.

Представляется целесообразным назначить на наружную цилиндрическую поверхность ролика допуски круглости и профиля продольного сечения (или допуск цилиндричности).

*Чертеж стакана 350.15–01.08.006 СБ*

На отверстие под подшипник в стакане 350.15–01.08.006 в технических требованиях (п. 2) записано неоднозначное требование «Разность диаметров в крайних сечениях поверхн. Б 0,015 мм»). В соответствии с требованиями ГОСТ 3325 к поверхностям отверстий, сопрягаемых с подшипниками, должны предъявляться требования к точности формы (допуск цилиндричности или допуски круглости и профиля продольного сечения) в соответствии с классом точности подшипников.

Эксперты:

Подписи с расшифровкой и датами:

**3 ПРИМЕР СТАНДАРТИЗАЦИОННОЙ ЭКСПЕРТИЗЫ  
ОРИГИНАЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ**

Под оригинальными объектами стандартизационной экспертизы здесь подразумеваются научно-технические материалы (рукописи статей, докладов и пр.), а также эксплуатационные документы на продаваемые сложные изделия и другие, которые формально не подпадают под действие стандартов ЕСКД, ЕСТД и СПДС.

Чаще всего такие материалы оформляют в виде текстовых документов с рисунками и схемами, которые не должны отвечать требованиям стандартов. Перед экспертизой таких объектов следует уточнить, каким стандартным требованиям должны соответствовать их элементы.

Очевидными требованиями представляются использование стандартных наименований физических величин, их единиц, обозначений, правильное использование терминов, корректное обозначение НД по стандартизации. Ссылки на стандарты, технические условия и другие документы должны обеспечить их однозначную идентификацию и помогать в поиске документа. Ссылаться следует на документ в целом или его крупные составные части. Ссылки на подразделы, пункты, таблицы и иллюстрации в тексте нежелательны, поскольку эти элементы могут изменяться.

Ждать от документации зарубежного изделия соответствия требованиям ЕСКД не следует, хотя эксперт может отметить несоответствия, особенно если изделие будет эксплуатироваться в производственных условиях.

В качестве примера приведен краткий анализ выдержки из инструкции, общей для нескольких зарубежных цифровых мультиметров.

M830B, M832, M838

Этот инструмент – один из серии карманных 3,5 -разрядных цифровых мультиметров для измерения постоянного, переменного напряжения, постоянного тока, сопротивлений, проверки диодов и транзисторов. Мультиметр снабжен защитой от перегрузки на всех пределах измерений и индикацией разряда батареи. Это идеальный инструмент для использования в лабораториях, цехах, для хобби и для работы дома.

### ПЕРЕДНЯЯ ПАНЕЛЬ

1. Переключатель функций и диапазонов. Этот переключатель используется как для выбора функций и желаемого предела измерений, так и для выключения прибора. Для продления срока службы батареи переключатель должен быть в положении "OFF", когда прибор не используется.

2. Дисплей. 3,5-разрядный 7-сегментный ЖКИ высотой 0.5 дюйма.

3. Разъем "COM/MOM" (общий). Разъем для черного (отрицательного) провода-щупа.

4. Разъем "V, Ω, mA". Разъем для красного (положительного) провода-щупа для измерения всех напряжений, сопротивлений и токов (кроме 10 A).

5. Разъем "10A". Разъем для красного (положительного) провода-щупа для измерения токов в диапазоне до 10A.

### СПЕЦИФИКАЦИЯ

Точность гарантируется на срок не менее 1 года при температуре 23±5°C и относительной влажности не более 75%.

#### ПОСТОЯННОЕ НАПРЯЖЕНИЕ

ДИАПАЗОН	РАЗРЕШАЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ	ТОЧНОСТЬ при 18-28°C
200 мВ	100 мкВ	± 0.25 % ± 2D
2 В	1 мВ	±0,5 % ±2D
20 В	10 мВ	
200 В	0.1 В	
1000 В	1 В	

D - единица младшего разряда

Защита от перегрузок: 200 В эфф. для диапазона 200 мВ и 1000 В или 750 В эфф. для других пределов.

#### ПЕРЕМЕННОЕ НАПРЯЖЕНИЕ

ДИАПАЗОН	РАЗРЕШАЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ	ТОЧНОСТЬ при 18-28°C
200В	0.1 В	±1.2 % ±10D
750В	1 В	±1.2 % ±10D

Защита от перегрузок: 1000 В или 750 В эфф. для всех диапазонов.

Измерение: измерение среднеквадратичного значения переменного напряжения синусоидальной формы. Диапазон рабочих частот: 45 – 450 Гц.

#### ПОСТОЯННЫЙ ТОК

ДИАПАЗОН	РАЗРЕШАЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ	ТОЧНОСТЬ при 18-28°C
200 мкА	100 нА	± 1.0% ± 2D
2000 мкА	1 мкА	
20 мА	10 мкА	
200 мА	100 мкА	± 1.2% ± 2D
10 А	10 мА	± 2.0% ± 2D

Защита от перегрузки: предохранитель 200 мА/250 В. Падение напряжения при измерении: 200 мВ.

#### ТЕМПЕРАТУРА (M838 ПРОБНИК К-ТИПА)

ДИАПАЗОН	РАЗРЕШАЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ	ТОЧНОСТЬ при 18-28°C
-20°C... +1370°C	1°C	±3% ± 2D (до 150°C) ±3% (свыше 150°C)

Защита от перегрузки: 220 В эфф. перем. тока.

#### СОПРОТИВЛЕНИЕ

ДИАПАЗОН	РАЗРЕШАЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ	ТОЧНОСТЬ (1год) 18-28°C
200 Ω	0,1 Ω	±0.8% ± 2D
2 КΩ	1Ω	
20 КΩ	10 Ω	
200 КΩ	100 Ω	
2000 КΩ	1 КΩ	±1.0% ± 2D

Напряжение холостого хода: приблизительно 2.8 В.

#### ПРОЗВОНКА СОЕДИНЕНИЙ (M832, M838)

ДИАПАЗОН	ОПИСАНИЕ
•»)	Звуковой сигнал при сопротивлении менее 1 КΩ

Защита от перегрузки: 220 В эфф. перем. тока в течение 15 сек максимум.

Очевидно, что документ (тут представлена только его часть) не соответствует требованиям ГОСТ 2.601 «ЕСКД. Эксплуатационные документы». В целом он представляет собой объединение паспорта и «Инструкции пользователя». Однако терминология и обозначения единиц физических величин в ряде случаев недопустимы, что свидетельствует о технической безграмотности переводчика и технического редактора (если он был).

Этот «инструмент» – не инструмент, а прибор. 3,5-разрядных цифровых табло не бывает (только с целым числом разрядов). Прибор предназначен для измерения параметров постоянного и переменного тока (напряжения, силы постоянного тока).

«Разъем для черного (отрицательного) провода-щупа» – отрицательных проводов (щупов), как и положительных, не бывает. Разъем предназначен для подключения к отрицательному полюсу источника постоянного тока, для чего рекомендуется использовать щуп черного цвета.

Сопоставление исходных таблиц с переработанными, которые представлены ниже, позволит зафиксировать ошибки и нарушения стандартов.

## Спецификация

Точность гарантируется на срок не менее 1 года при температуре  $(23 \pm 5)^\circ\text{C}$  и относительной влажности не более 75 %.

Напряжение постоянного тока

Верхний предел диапазона измерений, В	Номинальная ступень квантования, В	Основная погрешность при 18–28 °С
$2 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-4}$	$\pm 0,25 \% \pm 2D$
2	$1 \cdot 10^{-3}$	$\pm 0,5 \% \pm 2D$
$2 \cdot 10$	$10 \cdot 10^{-3}$	
$2 \cdot 10^2$	0,1	
$1 \cdot 10^3$	1	

D – единица младшего разряда.

Защита от перегрузок: 200 В эффективно для диапазона 200 мВ и 1000 В или 750 В эффективно для других пределов.

Напряжение переменного тока

Верхний предел диапазона измерений, В	Номинальная ступень квантования, В	Основная погрешность при 18–28 °С
200	0,1	$\pm 1,2 \% \pm 10D$
750	1,0	$\pm 1,2 \% \pm 10D$

Защита от перегрузок: 1000 В или 750 В эффективно для всех диапазонов.

Измерение: измерение среднеквадратичного значения переменного напряжения синусоидальной формы. Диапазон рабочих частот 45–450 Гц.

Сила постоянного тока

Верхний предел диапазона измерений, А	Номинальная ступень квантования, А	Основная погрешность при 18–28 °С
$200 \cdot 10^{-6}$	$100 \cdot 10^{-9}$	$\pm 1,0 \% \pm 2D$
$2000 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-6}$	
$20 \cdot 10^{-3}$	$10 \cdot 10^{-6}$	
$200 \cdot 10^{-3}$	$100 \cdot 10^{-6}$	$\pm 1,2 \% \pm 2D$
10	$10 \cdot 10^{-3}$	$\pm 2,0 \% \pm 2D$

Защита от перегрузки: предохранитель 200 мА/250 В. Падение напряжения при измерении 200 мВ.

Сопротивление

Верхний предел диапазона измерений, Ом	Номинальная ступень квантования, Ом	Основная погрешность при (18–28) °С
200	0,1	$\pm 0,8 \% \pm 2D$
$2 \cdot 10^3$	1	
$20 \cdot 10^3$	10	
$200 \cdot 10^3$	100	
$2000 \cdot 10^3$	$1 \cdot 10^3$	$\pm 1,0 \% \pm 2D$

Напряжение холостого хода: приблизительно 2,8 В.

«Прозвонка» электрических соединений и цепей

Обозначение на панели переключателя	Описание действия
)))	При замыкании цепи раздается звуковой сигнал (если сопротивление менее $1 \cdot 10^3$ Ом)

Защита от перегрузки: 220 В эффективно для переменного тока в течение 15 с максимум.

Температура (при подключении термопары К-типа), °С

Верхний предел диапазона измерений	Разрешающая способность (номинальная ступень квантования)	Основная погрешность при 18–28 °С
–20... +150	1	$\pm 3 \text{ °С} \pm 2D$
+150... +1370	1	$\pm 3 \%$

Защита от перегрузки: 220 В эффективно для переменного тока.

В качестве примера экспертизы научно-технических (научно-популярных) материалов приведен краткий анализ фрагментов статьи о весах. В данном случае, поскольку объект связан со средствами измерений, добавлены некоторые элементы метрологической экспертизы.

**БЫТОВЫЕ ВЕСЫ: ТОЧНОСТЬ И НАДЕЖНОСТЬ, ПРЕЖДЕ ВСЕГО**

*Цифровые весы – дитя научного прогресса. Одни из них полностью электронные, другие больше походят на своих предшественников и содержат механические детали.*<sup>1)</sup> Разумеется, техническая сторона процесса взвешивания у более совершенных приборов сложнее. Самые простые цифровые весы – это весы с так называемым вмонтированным диском.<sup>2)</sup> Техника взвешивания такая же, как у механических весов, только вес отображается на цифровом табло. Иная техника взвешивания, которую также используют в цифровых весах, основана на принципе, согласно которому две механические пластины, находящиеся одна над другой, образуют электрический конденсатор. Малейшее смещение поверхности весов ведет к изменению расстояния между пластинами. Микропроцессор фиксирует данные изменения, обрабатывает информацию и выдает точную цифру.

*Настоящая революция в области техники взвешивания – применение принципа датчика напряжений. Здесь без элементарных знаний из области физики не обойтись. Основная часть механизма – тонкий провод, через который проходит электрический ток.*<sup>3)</sup> Как только поверхность весов испытывает давление, провод вытягивается, и электрический сигнал изменяется. Микропроцессор все запоминает и переводит в числовое значение, а на табло появляется ваш вес.<sup>4)</sup>

*Подводя итоги, необходимо отметить, что чем меньше в весах механических деталей, тем выше точность прибора. Электронные весы обладают точностью в 100 граммов.*<sup>5)</sup>

...Рынок кулинарных весов необычайно разнообразен, поэтому всегда можно подобрать модель по вкусу. Нам же важны детали. Наиболее интересное свойство современных весов – способность обнулять вес (например, у моделей PHILIPS HR 2390 и HR 2387). Скажем, к ужину у нас пирог. Тесто – вещь капризная, и здесь как никогда необходима точность. Итак, берем чашку и ставим ее на весы, разбиваем туда яйца, узнаем вес. Теперь нажимаем на кнопку – и... на табло снова ноль. Муку можно добавить строго по рецепту! Ошибиться сложно. Далее следуют все остальные продукты, и в итоге мы получаем информацию об общем весе теста. Не правда ли, очень удобно?..

*К вопросу о точности. Если говорить о кулинарных весах, то здесь принцип один: чем выше максимум нагрузки, тем больше цена деления, то есть ниже точность. Если речь идет об электронных моделях, то они обычно имеют несколько уровней точности. Это значит, что если максимально допустимая нагрузка составляет 5 килограммов, то до 2,5 килограммов точность – 2 грамма, а от 2,5 – уже 5 граммов. Некоторые модели детских весов также обладают несколькими уровнями точности.*<sup>6)</sup>

[URL:www.shopshops.ru/wmz/221686/html#WHfZ46G/cs](http://www.shopshops.ru/wmz/221686/html#WHfZ46G/cs). Дата доступа: 05.05.2014.

### **Замечания эксперта**

#### **(примеры экспертизы научно-популярных материалов)**

Примеры поразительной технической безграмотности автора:

<sup>1)</sup> Весов без «механических деталей» не бывает, поскольку в любых весах должен быть преобразователь силы (как правило – упругий элемент), платформа, корпус и иные механические устройства.

<sup>2)</sup> Если на отсчетном устройстве есть цифры, значит, прибор «цифровой»? Автор не знаком с различиями непрерывного (континуального) и дискретного (цифрового) сигналов измерительной информации.

<sup>3)</sup>Тензодатчики в данном контексте – резистивные преобразователи, применяемые в силоизмерительных устройствах много десятилетий, – никогда не были датчиками напряжений, что подтверждает дальнейший текст статьи.

<sup>4)</sup>При взвешивании речь идет о силе (не давлении), действующей на поверхность весов, которые проградуированы в единицах массы. Автор абсолютно не разбирается в физических величинах.

<sup>5)</sup>Точность прибора не идентична точности взвешивания. Ни в коем случае не следует путать номинальную ступень квантования весов (цифровых) и погрешность прибора, а тем более точность измерений.

<sup>6)</sup>Точность прибора обычно количественно оценивают погрешностью, которую с ценой деления (в данном случае – с номинальной ступенью квантования) связывают только метрологически неподготовленные люди. Например, если номинальная ступень квантования электронных часов равна одной секунде, это не значит, что за месяц они могут «отстать» или «уйти» не более чем на пару секунд. Не исключается прогрессирующая погрешность в полминуты и более из-за накопленной погрешности задатчика частоты. Прямой связи между погрешностью измерений и ценой деления или номинальной ступенью квантования прибора не существует.

В целом можно сделать вывод о полной метрологической безграмотности текста («для домохозяйки сойдет») и о необходимости проведения профессиональной экспертизы не только научно-технических, но и научно-популярных материалов.

#### 4 ПРИМЕРЫ СТАНДАРТИЗАЦИОННОЙ ЭКСПЕРТИЗЫ НОРМАТИВНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ

Нормативная документация проходит экспертизу на стадии разработки в форме подготовки отзывов на проекты стандартов и иной документации. В качестве индивидуальных экспертов могут выступать не только профессионалы, но и предполагаемые пользователи будущего документа. Конкретные цели экспертизы часто не формулируются, каждый из экспертов акцентирует внимание на наиболее близких ему моментах. Встречаются и достаточно глубокие отзывы, подготовленные стандартизаторами, работающими в данной области. Требования к оформлению отзывов минимальны: сначала общие, затем частные замечания и заключительная часть с общей оценкой. Более полную информацию можно почерпнуть из сводки отзывов, в которую включают все замечания и ответы на них.

##### ЭКСПЕРТИЗА ПРОЕКТОВ НОРМАТИВНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ

Проекты документов в пособие не включены, чтобы не увеличивать объем текста, поскольку отзывы достаточно информативны и без них.

##### ОТЗЫВ

на проект Государственного стандарта Республики Беларусь «Система обеспечения единства измерений Республики Беларусь. Весы для взвешивания автотранспортных средств в движении»

##### Методика поверки

На отзыв представлена первая редакция проекта стандарта. Представленный документ соответствует требованиям к стандартам подобного типа как по содержанию, так и по оформлению. Общих замечаний по проекту нет, но имеются частные замечания, связанные с необходимостью более четкого изложения материалов стандарта:

##### К разделу 1

1. Из первой фразы следует, что классы точности относятся к автотранспортным средствам (АТС), а подразумевается, что к весам.
2. В табл. 1 раздела 3 неправильно указаны все номера пунктов стандарта (по-видимому, остались от первоначальной версии).

К разделу 6

3. Следует редактировать п. 6.3 и 6.6.

4. В п. 6.5 вместо «с точностью до 20 кг» следует написать, например, «с погрешностью не более 20 кг».

К разделу 7

5. Исправить некорректные выражения в п. 7.2: «Проехать АТС произвольного веса через весы с равномерной скоростью...без разгона и торможений», а также «После проезда АТС должна быть распечатана квитанция...».

6. В п. 7.3.1 вместо «тарируют» использовать стандартный термин «градуируют».

7. В п. 7.3.2 неправильно указана нумерация п. 4.5 и 4.3 (см. замечание 2).

8. В том же подпункте следует редактировать выражение «проезжают по ним не менее 9 раз» и расшифровать аббревиатуру ЭД.

9. Там же следует уточнить, что подразумевается под действительным значением массы АТС.

10. Нуждается в редактировании примечание к табл. 3.

Проект после исправления указанных ошибок может быть принят в качестве стандарта.

Отзыв подготовили:

Эксперты:

Подписи с расшифровкой и датами:

## ЭКСПЕРТИЗА ВЫДЕРЖЕК ИЗ ГОСТ 2.111

### 1 Цели и задачи нормоконтроля

1.1 Нормоконтроль – контроль выполнения конструкторской документации в соответствии с нормами, требованиями и правилами, установленными нормативными документами.

1.3 Основными задачами нормоконтроля является обеспечение:

а) соблюдения в конструкторской документации норм, требований и правил, установленных в стандартах ЕСКД и в других нормативных документах, указанных в документации;

б) достижения в разрабатываемых изделиях необходимого высокого уровня унификации и стандартизации на основе широкого использования ранее спроектированных, освоенных в производстве

и стандартизованных изделий, типовых конструкторских и схемных решений;

в) рационального применения ограничительных номенклатур покупных и стандартизованных изделий и их документов, норм (типоразмеров, качеств точности, условно-графических обозначений и др.), марок материалов, полуфабрикатов и т. п.;

г) достижения единообразия в оформлении, учете, хранении, изменении конструкторской документации;

д) соблюдения нормативных требований в условиях выпуска документов автоматизированным способом в бумажной и (или) электронной форме.

ПРИЛОЖЕНИЕ  
Рекомендуемое

### ПЕРЕЧЕНЬ ЗАМЕЧАНИЙ НОРМОКОНТРОЛЕРА

по \_\_\_\_\_  
(наименование и обозначение изделия)

Обозначение документа	Документ (оригинал – О, подлинник – П)	Условная пометка	Содержание замечаний (или код по классификатору *)
	О	7	Специальный винт заменить стандартным по ГОСТ...
	П	1	Специальный допуск заменить на Е8
		2	Конусность заменить на нормальную по ГОСТ...
		3	Размер «под ключ» выполнить по ГОСТ...
	О	1	Оригинальное исполнение червяка заменить типовым по ограничительной номенклатуре наличных червячных фрез

\* Для организаций, где принята система кодирования замечаний нормоконтролера.

Точки после номеров разделов, пунктов и подпунктов не ставятся (по требованию ГОСТ 1.5).

Имеет место противоречие между п. 1.1 и 1.3. Из перечисления в п. 1.3 ясно, что задачи а), г) и д) относятся к документации, а задачи б) и в) – к разрабатываемым изделиям.

Анализ задач нормоконтроля показывает, что фактически они регламентируют контроль на базе стандартизационной экспертизы, направленной на повышение качества объекта методами стандартизации. Подтверждением этого тезиса является и содержание п. 4.9 ГОСТ 2.111 (в соответствии с Изменением № 4): «Нормоконтролер участвует в экспертизе конструкторской документации, поступающей от других организаций».

ГОСТ 2.111 требует переформулирования согласно ГОСТ 1.5.

Замечания по содержанию таблицы (Перечень...):

- содержание последнего столбца не соответствует его наименованию, поскольку содержит пять предложений и ни одного замечания;
- предложение «Специальный допуск заменить на Е8» некорректно, поскольку Е8 не допуск, а обозначение поля допуска;
- предложение «Оригинальное исполнение червяка заменить типовым по ограничительной номенклатуре наличных червячных фрез», по-видимому, следует понимать как предлагаемую замену профиля червяка с оригинального на стандартный с учетом ограничительной номенклатуры инструмента для обработки червяков и червячных колес.

**ЭКСПЕРТИЗА ВЫДЕРЖКИ ИЗ ГОСТ 18833  
«ГОЛОВКИ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ РЫЧАЖНО-ЗУБЧАТЫЕ.  
ТЕХНИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ»**

Таблица

Тип	Цена деления, мм	Пределы измерения, мм	Измерительное усилие, сН (гс), не более	Колебание измерительного усилия в пределах всей шкалы при прямом и обратном ходе наконечника, сН (гс), не более
1ИГ	0,001	± 0,05	150	40
1ИГМ			200	80
ИГ	0,002	± 0,10	150	40
2ИГМ			200	80

Оформление требует переделки в соответствии с ГОСТ 1.5.

Замечания по содержанию таблицы:

– у измерительной головки нет пределов измерений, есть только пределы показаний (пределы измерений появятся, когда она будет установлена, например, в стандартную стойку);

– термин «измерительное усилие» включает неправильное наименование физической величины (силы), что подтверждается использованным обозначением единиц;

– некорректно выражение «колебание измерительного усилия в пределах всей шкалы при прямом и обратном ходе наконечника». Правильно: «колебание измерительной силы при прямом и обратном ходе наконечника, ограниченного диапазоном показаний» или «колебание измерительной силы при прямом и обратном ходе наконечника, при перемещении стрелки в пределах всей шкалы прибора».

**ЭКСПЕРТИЗА ВЫДЕРЖКИ ИЗ ГОСТ 166  
«ШТАНГЕНЦИРКУЛИ. ТЕХНИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ»**

1.3. Диапазон измерений, значение отсчета по нониусу, цена деления круговой шкалы и шаг дискретности цифрового отсчетного устройства штангенциркулей должны соответствовать указанным в таблице.

Ссылка на таблицу требует замены («должны соответствовать значениям, указанным в таблице»). Наименования двух из трех метрологических характеристик нестандартны. «Отсчет по нониусу» правильно называется «цена деления нониуса», а «шаг дискретности цифрового отсчетного устройства» – «номинальная ступень квантования».

## 5 ПРИМЕР ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ПРИ ЭКСПЕРТИЗЕ ИЗМЕРЕНИЙ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

Рассмотрение в данном пособии метрологических моделей измерений и контроля радиальных и торцовых биений поверхностей вызвано следующими причинами:

1. Контроль радиальных и торцовых биений поверхностей является наиболее распространенной операцией измерительного приемочного контроля, осуществляемого в механическом производстве.

2. Поскольку при измерении радиальных и торцовых биений поверхностей и при их измерительном контроле получают одну и ту же информацию, схемы их измерений и измерительного контроля совпадают.

3. Радиальное и торцовое биения представляют собой интегральные отклонения формы и расположения поверхностей. Определенное усложнение анализа измерений и измерительного контроля этих параметров можно рассматривать как положительную сторону осуществления учебного процесса.

### Построение метрологических моделей контроля радиальных и торцовых биений поверхностей. Исходные положения

Специфика контроля биения заключается в том, что измеряют перемещения точек контролируемой номинально цилиндрической или плоской (торцовой) поверхности при вращении детали в базисующих приспособлениях. Линия измерения при этом должна быть либо нормальна к базовой оси (контроль радиального биения), либо параллельна ей (контроль торцового биения). Фактически измерениям подвергают не линейные размеры деталей, а сравнительно малые их изменения, в результате чего отдельные составляющие погрешности измерений обычно значительно меньше, чем при измерениях собственно линейных размеров.

Метрологическое моделирование контроля радиальных и торцовых биений предусматривает возможности построения ряда частных моделей, например:

- модели контролируемых объектов (идеальные, реалистические, и др.);

- модель измерения (измерительного контроля) радиального или торцового биений;
- модели воздействия влияющих величин («условий измерений»);
- модели действий оператора при выполнении измерений.

Основное назначение всех моделей, которые строят в рамках метрологической экспертизы объектов и (или) измерения (измерительного контроля) радиального или торцового биений, – оценка погрешностей измерений. При контроле радиального и торцового биений измерительными головками на стандартных стойках и штативах некоторые из составляющих погрешности измерений можно считать известными. Например, погрешности измерительных головок можно заимствовать из стандартов, справочников, паспортов или из аттестатов (для нестандартизованных средств измерений).

Строить аналитические модели «условий измерения» радиального и торцового биений механическими головками для оценки погрешностей, вызываемых влияющими величинами, как правило, нецелесообразно. Условия измерений в таком случае включают только одну влияющую физическую величину – температуру. При малых значениях измеряемых величин небольшие отличия температуры от нормальной не вызовут значимых погрешностей. Аналитическое исследование воздействия переменных тепловых полей и полей с температурными градиентами затруднительно, предпочтительно осуществлять профилактику таких ситуаций. Значит, при измерении биений в рамках принятых допущений для большинства случаев погрешности условий можно считать практически незначимыми.

Модели действий оператора при измерительном контроле биений строят для оценки субъективных погрешностей (субъективных составляющих погрешности), возникающих вследствие манипулирования средствами и объектами измерений и отсчитывания результатов. При измерении приборами с аналоговым представлением информации субъективные погрешности включают погрешности отсчитывания. Эти погрешности, значения которых обычно представляют в виде доли цены деления, при отсчитывании результата измерения с округлением до целого деления составят не более 0,5 цены деления, а при отсчитывании с интерполированием – около 0,1...0,2 цены деления.

Если в конструкции прибора для измерения биений не обеспечено фиксированное направление линии измерения, возникают специфические субъективные составляющие погрешности манипулирования средством измерений из-за установки линии измерения «на глаз». В этом случае направление измерения оператор устанавливает самостоятельно с визуальным контролем положения измерительной головки.

Поскольку измерения биений осуществляются в квазистатическом режиме (при относительно медленном вращении контролируемой детали), динамические составляющие погрешности, связанные со средствами измерений, можно не рассматривать. Аналитическая модель отсчитывания результата с устройства отображения измерительной информации (шкала-указатель) при измерении биения в квазистатическом режиме показывает, что динамическими составляющими погрешности отсчитывания результата также можно пренебречь.

На основании анализа можно убедиться, что из инструментальных составляющих при использовании универсальных средств измерений значимы только погрешности применяемых измерительных головок. Инструментальные погрешности из-за неточности базирующих устройств (центры, измерительные призмы и др.) можно считать пренебрежимо малыми, например, по сравнению с погрешностями из-за установки линии измерения «на глаз». Если же в приборе применяют оригинальные базирующие устройства типа кулачкового или цангового патрона, то их погрешности должны быть определены при метрологической аттестации средства измерений. Аттестованные методики выполнения измерений для контроля радиального и торцового биений со всеми налагаемыми на них ограничениями и с приписанной оценкой погрешностей измерений можно найти в РД 50-98-86 «Методические указания. Выбор универсальных средств измерений линейных размеров до 500 мм». В этом документе учтены практически все составляющие погрешности измерений, за исключением методических составляющих, обусловленных несовершенством базовых поверхностей контролируемых деталей. Следовательно, приведенные в РД 50-98-86 характеристики погрешностей при необходимости надо дополнить данными, полученными при моделировании измерений неидеальных объектов.

Возможности появления значимых методических составляющих погрешности измерений следует изучать в рамках комплексной модели контроля радиального или торцового биений. В эту модель нужно

включать модели объектов контроля для анализа механизмов влияния несовершенства базовых поверхностей. Поскольку при измерительном контроле биений базовые поверхности не совпадают с контролируемыми, для оценки контролепригодности, в первую очередь, следует рассмотреть нормы точности базовых поверхностей детали. Слишком грубые нормы точности базовых поверхностей могут вызвать появление значительных методических погрешностей. Приведенные ниже расчеты показывают, что такие методические погрешности могут быть соизмеримы с контролируемыми биениями, а в некоторых ситуациях могут их превосходить.

Для проверки контролепригодности экспертируемого параметра (биения поверхностей деталей) можно использовать информацию, представленную в настоящем пособии. Приведенные в ней рекомендации обеспечивают возможность установления требований к допускам формы и расположения, в условиях согласования всех допусков макрогеометрии, а также допусков макрогеометрии и высотных параметров шероховатости. Если анализ несовершенства контролируемых и базовых поверхностей подтверждает невозможность получить действительные значения измеряемых величин, требования к объекту измерений необходимо корректировать.

### **Оценка погрешностей из-за наклона линии измерения**

При анализе составляющих погрешностей измерения радиального и торцового биений могут быть полезны схемы, позволяющие отобразить механизм появления погрешности и вывести аналитические зависимости для оценки значений этих погрешностей. Примером очевидной причины возникновения погрешностей является наклон линии измерения по отношению к ее идеальному направлению (рис. П5.1).

В итоге возникает инструментальная составляющая погрешности (в приборах с фиксированным направлением линии измерения) или субъективная составляющая (при установке линии измерения на глаз). Как показывает опыт измерений, отклонение углов от номинального положения в последнем случае обычно не превышает значений  $3^\circ$ .

При измерении радиального и торцового биений погрешности из-за неизменного (постоянного) несовпадения линии измерения с номинальным направлением практически всегда будут пренебре-

жимо малы из-за малости углов наклона линии измерения и небольших измерительных перемещений. Более опасной является ситуация, когда направление линии измерения изменяется в процессе измерений (плоскопараллельная или угловая осцилляция линии измерения).

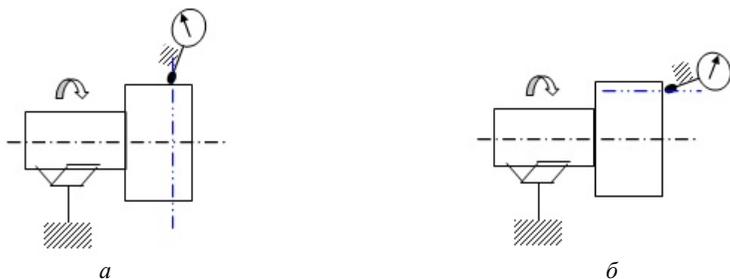


Рис. П5.1. Наклон линии измерения по отношению к идеальному направлению при контроле радиального (а) и торцового (б) биений

Для случая контроля годной детали наибольшее значение измерительного перемещения можно принять равным допуску биения.

К рассмотрению предлагается расчетная схема, которая позволит оценить погрешности из-за отклонения направления фактической линии измерения (линия  $AC$ ) от номинального направления линии измерения  $AB$  на угол  $\alpha$  (рис. П5.2).

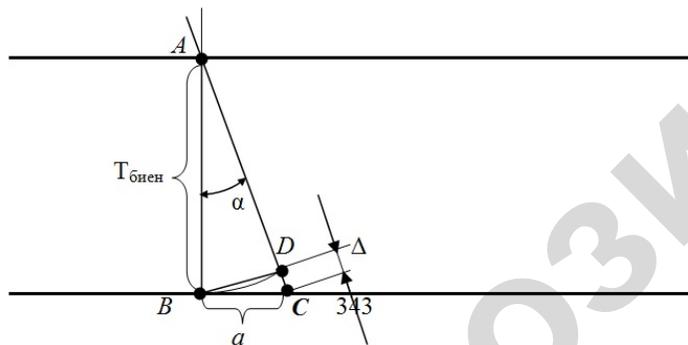


Рис. П5.2. Схема для оценки погрешности из-за угла наклона линии измерения  $\alpha$

Отрезок  $AB$  (максимальное перемещение измерительного наконечника по теоретической линии измерения) принимается равным допуску биения, поскольку этим допуском ограничено перемещение наконечника при измерении биения годной детали. Результа-

том наличия угла  $\alpha$  (при фактической линии измерения  $AC$ ) будет дефектное перемещение  $\Delta$ , равное отрезку  $DC$ , который дуга  $BD$  отсекает от стороны  $AC$ . Проведя хорду  $BD$ , стягивающую одноименную дугу, можно приближенно рассчитать значение  $\Delta$  из треугольника  $BDC$ . Треугольник  $BDC$  можно принять за прямоугольный треугольник, подобный треугольнику  $ABC$ , с прямым углом  $BDC$ , и углом  $DBC = \alpha$ .

Из треугольника  $BDC$  рассчитывают значение  $\Delta$ , равное отрезку  $DC$ :

$$\Delta = DC = BC \cdot \sin DBC = a \cdot \sin \alpha. \quad (\text{П5.1})$$

Поскольку  $a = BC = AB \cdot \operatorname{tg} \alpha$ , и  $AB = T_{\text{биен}}$ , при  $T_{\text{биен}} = T$  можно записать:

$$\Delta = T \cdot \operatorname{tg} \alpha \cdot \sin \alpha,$$

что при малости углов  $\alpha$  (вследствие того, что  $\operatorname{tg} \alpha \approx \sin \alpha$ ) можно представить в виде одной из двух следующих зависимостей:

$$\Delta = T \cdot \operatorname{tg}^2 \alpha, \quad (\text{П5.2})$$

$$\Delta = T \cdot \sin^2 \alpha. \quad (\text{П5.3})$$

Увеличение измерительных перемещений при больших значениях допусков биения приведет к росту только абсолютных значений погрешностей, относительные погрешности при неизменных значениях угла  $\alpha$  будут одинаковыми.

### Методические погрешности при контроле биений поверхностей валов

Одной из возможных причин методических погрешностей при измерении биений является некорректная идеализация реального объекта измерений (погрешности из-за несоответствия реального объекта его идеализированной модели, положенной в основу процесса измерения). Здесь следует особо отметить, что рассматривается идеализация не контролируемой поверхности, а базовых элементов. Базовые элементы по определению биений задаются как идеальные, поэтому влияние их несоответствий идеалу следует подвергать тщательному анализу. Например, надо анализировать

влияние погрешностей формы и расположения базовых шеек вала, если биение задано относительно общей оси двух цилиндрических поверхностей, либо влияние погрешностей, возникающих из-за погрешностей формы центровых отверстий и несовпадения оси центров с рабочей осью (ось, являющаяся конструкторской базой детали) контролируемого вала.

Основные факторы, вызывающие методические погрешности при измерении биений, можно разделить на две группы:

- факторы, вызывающие фиксированное (неизменное) отклонение оси вращения детали от идеального направления, что вызывает постоянное несоответствие реального направления линии измерения биения номинальному;
- факторы, вызывающие осцилляцию детали (колебание оси вращения контролируемой детали в процессе измерений из-за плоскопараллельного смещения оси вращения поверхности либо из-за поворотов реальной оси относительно идеального направления).

Рассмотрению подлежат модели объектов (рис. П5.3), построенные на основе типовых моделей:

- валы с одной базовой поверхностью (рис. П5.3, а);
- валы с двумя базовыми поверхностями, совокупность которых определяет конструкторскую базу детали (рис. П5.3, б);
- валы с двумя базовыми поверхностями, совокупность которых определяет технологическую базу – ось центров детали (рис. П5.3, в).

Реалистические модели, подлежащие исследованию, будут отличаться от идеальных погрешностями формы номинально цилиндрических базовых поверхностей, которые могут быть следующих видов:

- базовые поверхности с овальностью (при наличии двух базовых поверхностей, включая расположенные синфазно и экстремально друг относительно друга). Экстремальное расположение поперечных сечений базовых поверхностей означает, что в одном положении вала максимальному радиусу-вектору первой базовой поверхности соответствует минимальный радиус-вектор второй;
- базовые поверхности с трехгранной, четырехгранной гранкой, а также с большим числом граней двух базовых поверхностей (в том числе две поверхности, синфазно и экстремально расположенные друг относительно друга);

- базовые поверхности с погрешностями формы в продольном сечении, включая конусообразность, седлообразность, бочкообразность и отклонение от прямолинейности оси (изогнутость оси).

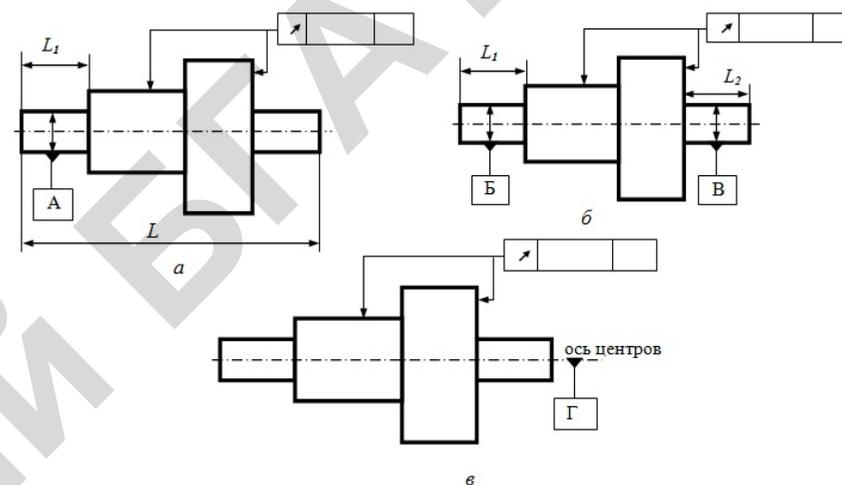


Рис. П5.3. Типовые модели объектов контроля (валов):

а – тип 1 (с одной базовой поверхностью); б – тип 2 (с двумя базовыми поверхностями, совокупность которых определяет конструкторскую базу детали); в – тип 3 (с двумя базовыми поверхностями, совокупность которых определяет технологическую базу детали, т. е. ось центров)

Как особый случай следует рассматривать детали с базовыми центровыми отверстиями, общая ось которых не совпадает с конструкторской базовой осью (с осью базовой поверхности или с общей осью двух базовых поверхностей).

Оценки погрешностей и расчеты их значений выполнены на основе следующих положений:

- каждая из отдельных составляющих погрешности оценивается и рассчитывается в соответствии с принципом суперпозиции погрешностей как независимая (все воздействия на нее, не оговоренные в описании расчета, считаются фиксированными);
- рассматриваются только функционально важные смещения оси вращения контролируемой детали, которые вызывают максимальные методические погрешности;

Число граней $n$	Коэффициент $F_n$
4	0,41
5	2,00
...	...
8	2,41

Приведенные в том же справочнике значения коэффициентов  $F_n$  для сечений с большим числом граней (до  $n = 15$ ) не превышают значения 2,00, кроме случая  $n = 8$ , для которого  $F_n = 2,41$ . В дополнение следует отметить, что из-за особенностей технологических процессов относительное значение отклонений от круглости при отгране обычно тем меньше, чем больше граней имеет номинально круглая поверхность. Поэтому в нашем исследовании можно практически ограничиться рассмотрением случаев с  $n \leq 5$ .

Поскольку, на основании зависимости (П5.4), размах колебаний периферийной точки сечения при вращении детали в призме формально можно представить как

$$E_A = E_{кр} F_n, \quad (П5.5)$$

в то время как радиальное биение реальной поверхности при вращении детали в призме фактически складывается из погрешностей формы сечения и его изменяющегося эксцентриситета («плавания центра вращения»  $E_{ц}$ ), можно записать

$$E_A = E_{кр} F_n = E_{кр} * E_{ц}, \quad (П5.6)$$

где \* – знак объединения составляющих, которое в соответствии с видами рассматриваемых величин может быть алгебраическим (функциональное объединение детерминированных величин), геометрическим (стохастическое объединение случайных величин), или иным.

Поскольку  $E_A$  для отграна с числом граней до 15 даже в экстремальном случае составит не более  $2,5E_{кр}$ , то для любого из имеющих реальный смысл рассматриваемых случаев можно полагать, что значения  $E_{ц}$  будут иметь тот же порядок, что и  $E_A$ . Значит, имея в виду малости исследуемых величин, для оценки возможных сме-

- все необходимые числовые значения приняты в соответствии с данными приведенных информационных источников либо назначены из оговоренных в тексте соображений;

- рассматриваются смещения оси вращения контролируемой детали только при базировании ее в призмах с углом  $90^\circ$ .

Для оценки значений возможного смещения осей базовых поверхностей деталей использованы материалы справочника «Единая система допусков и посадок СЭВ в машиностроении и приборостроении. Контроль деталей», причем ориентировочные оценки базируются на приведенных в справочнике коэффициентах смещений верхних точек реального профиля при его вращении в призме и не соответствуют строго определяемым значениям смещений центров профиля. Однако для оценки ожидаемых методических погрешностей можно воспользоваться этими значениями, поскольку в рамках рассматриваемой задачи фактические смещения осей вращения будут иметь тот же порядок.

В справочнике отмечается, что измерение в призме применяют для деталей, имеющих определенный характер отклонений от круглости, причем предварительно следует определить значение  $n$ , то есть число «граней» детали при огранном профиле.

Отклонение от круглости  $E_{кр}$  рассчитывают из зависимости

$$E_{кр} = E_A / F_n, \quad (П5.4)$$

где  $E_A$  – размах колебаний периферийной точки сечения при вращении детали в призме;

$F_n$  – коэффициент воспроизведения отклонений от круглости.

Значения коэффициента воспроизведения отклонений от круглости при измерении с вращением детали в призме с углом  $90^\circ$  и симметричной схеме измерения (направление линии измерения – биссектриса угла призмы) для огранных поверхностей с числом граней от 2 до 8 приведены в табл. П5.1.

Таблица П5.1

Коэффициенты воспроизведения отклонений от круглости

Число граней $n$	Коэффициент $F_n$
2	1,00
3	2,00

щений центра сечения огранной поверхности при ее вращении в призме можно воспользоваться упрощенной зависимостью

$$E_{\text{ц}} \approx E_{\text{А}}. \quad (\text{П5.7})$$

Эта зависимость имеет приближенный характер и не годится для строгих расчетов, но может быть использована для предварительной оценки в рамках экспертизы методики измерений.

Отклонения от круглости конкретной поверхности, опираясь на установленный для нее допуск круглости  $E_{\text{кр}} = T_{\text{кр}}$ , и с учетом приведенных в таблице коэффициентов (исключая случай с восьмигранной огранкой), можно записать:

$$E_{\text{ц}} \leq 2T_{\text{кр}}. \quad (\text{П5.8})$$

Следовательно, при оценке погрешности базирования вала в призме (базовая поверхность – цапфа вала с номинально круглым сечением) для предварительных расчетов можно принять, что колебание оси вращения базовой цапфы годного вала в призме не превысит удвоенного значения допуска круглости, назначенного на поверхность данной цапфы.

### Методические погрешности из-за плоскопараллельного смещения реальной оси вращения контролируемой поверхности

Причинами возникновения таких погрешностей при базировании детали в одной или двух призмах могут быть отклонения формы базовых поверхностей. Например, у деталей типа 2 (см. рис. П5.3, б) базовые поверхности имеют овальность, огранку с тремя или с большим числом граней с синфазно расположенными поперечными сечениями (рис. П5.4).

Вне зависимости от вида типовой модели объекта (с одной или с двумя базовыми поверхностями), при плоскопараллельном смещении реальной оси вращения контролируемой поверхности возникающая по этой причине методическая составляющая погрешности измерения радиального биения будет равна значению максимального колебания оси в процессе вращения.

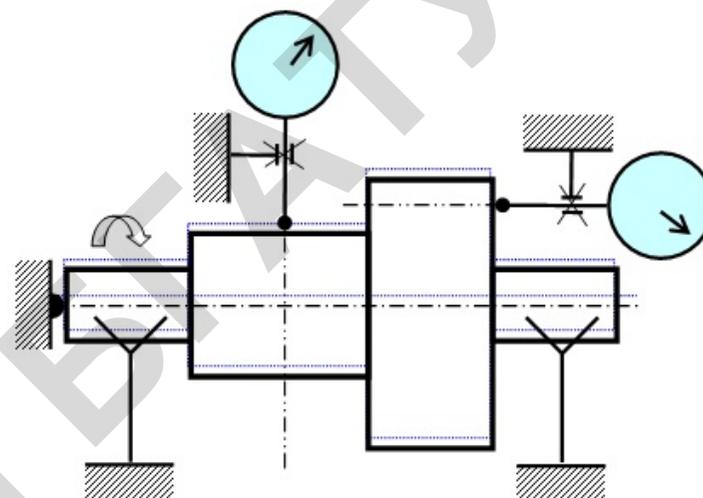


Рис. П5.4. Плоскопараллельная осцилляция в направлении, нормальном к базовой оси, при контроле радиального и торцевого биений

Как видно из схемы, для деталей типа 2 методическая составляющая погрешности измерений радиальных биений  $\Delta_{\text{м}}$  из-за погрешностей формы базовых поверхностей практически равна значению колебания центра (центров) сечений базовых поверхностей:

$$\Delta_{\text{м}} = E_{\text{ц}}. \quad (\text{П5.9})$$

Поскольку для данного случая в соответствии с ранее принятыми допущениями

$$E_{\text{ц}} \leq 2T_{\text{баз}}, \quad (\text{П5.10})$$

то можно считать, что

$$\Delta_{\text{м}} \leq 2T_{\text{баз}}, \quad (\text{П5.11})$$

где  $T_{\text{баз}}$  – допуск формы базовой поверхности.

Следовательно, искомая составляющая погрешности измерения не превысит удвоенного допуска круглости или цилиндричности базовой поверхности (базовых поверхностей).

Методическая составляющая погрешности измерения торцевого биения практически будет равна нулю, поскольку смещение контролируемой номинально плоской поверхности параллельно линии измерения приведет только к переходу на другой радиус контроли-

руемой поверхности. «Плавание» радиуса контрольного сечения не приведет к значимой методической составляющей погрешности измерения торцового биения, поскольку неплоскостность в пределах узкой кольцевой зоны торца будет меняться незначительно, а возможное дополнительное перемещение измерительного наконечника из-за неперпендикулярности торца базовой оси при малом изменении радиуса контрольного сечения будет пренебрежимо малым.

Подобный анализ можно провести для иных причин возникновения методической составляющей погрешности, а также для контроля деталей других типов.

### Методические погрешности из-за угловых смещений реальной оси вращения контролируемой поверхности

Рассмотрим расчетные схемы для оценки значений погрешностей, возникающих из-за углового смещения (колебания, осцилляции) реальной оси вращения контролируемой поверхности относительно идеального направления оси вне зависимости от причин, вызывающих подобные колебания. Анализ причин возникновения таких погрешностей базирования следует провести самостоятельно. Например, следует рассмотреть случай, когда у деталей типа 2 (с двумя наружными поверхностями, образующими составную базу) одна базовая поверхность имеет овальность, или две базовые поверхности имеют овальность либо огранку с тремя или с большим числом граней с экстремально расположенными поперечными сечениями.

При наличии таких источников погрешностей следует выполнить расчеты методической составляющей погрешности измерения биений.

а) Погрешности из-за колебания оси вокруг крайней точки  $A$  на угол  $\alpha$  (рис. П5.5).

Треугольник  $ABC$  образован двумя равными прямоугольными треугольниками  $AOB$  и  $AOC$ . Треугольники  $Abc$  и  $gef$  подобны треугольнику  $ABC$ , что позволяет рассчитать значения методических погрешностей, возникающих из-за углового смещения (осцилляции) реальной оси вращения в процессе измерения контролируемой поверхности относительно идеального направления оси.

Вне зависимости от вида типовой модели объекта (с одной или с двумя базовыми поверхностями), при угловой осцилляции оси вращения контролируемой поверхности возникающая по этой при-

чине методическая составляющая погрешности измерения радиального биения  $\Delta_m$  будет равна значению максимального колебания оси в контролируемом сечении за полный оборот детали (на данной схеме – отрезку  $bc$ ).

Из подобия треугольников  $Abc$  и  $ABC$  следует, что

$$bc = (BC / L) l_i, \quad (\text{П5.12})$$

где  $BC = E_{\text{ц}}$  – максимальное перемещение оси осциллирующего сечения в направлении нормальном к базовой оси;

$L$  – расстояние от неподвижной точки  $A$  до края детали (сечения, осциллирующего с максимальной амплитудой);

$l_i$  – расстояние от неподвижной точки  $A$  до контрольного сечения.

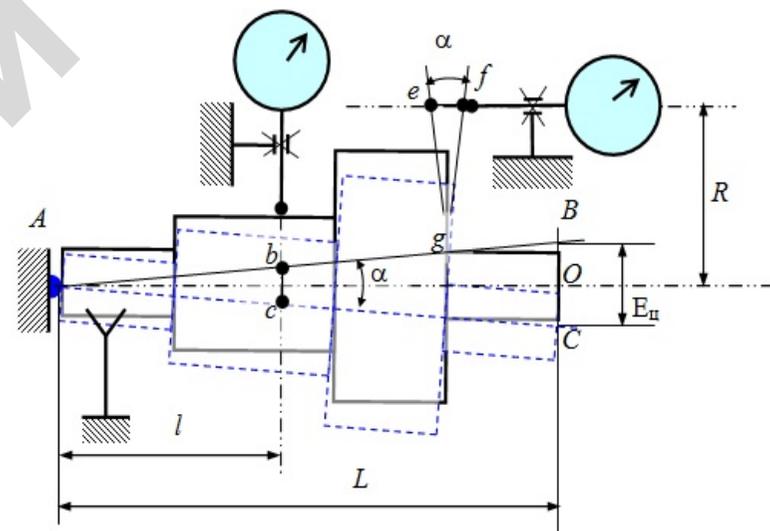


Рис. П5.5. Угловая осцилляция оси вокруг крайней точки  $A$  на угол  $\alpha$  при контроле радиального и торцового биений

Рассматриваемые методические составляющие погрешности измерения биений будут соизмеримы с погрешностями формы базовой поверхности, причем при измерении радиального биения в сечениях, удаленных от точки с нулевой осцилляцией, и торцовых биений на больших радиусах методические погрешности могут значительно превосходить значения исходных погрешностей.

б) Погрешности из-за колебания оси вокруг средней точки  $A$  на угол  $\alpha$  (рис. П5.6)

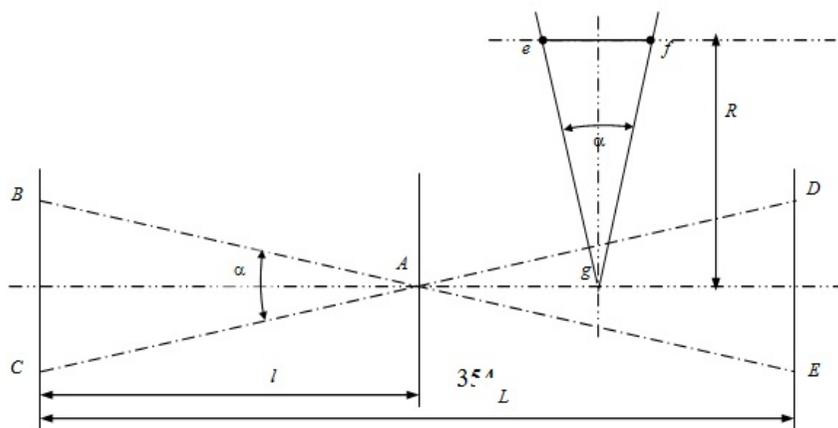


Рис. П5.6. Угловая осцилляция оси вокруг средней точки  $A$  (расчетная схема)

Поскольку изменение угла  $\alpha$  для деталей типа 2 при одинаковых допусках круглости левой и правой базовых поверхностей определяется значением удвоенной амплитуды колебаний  $E_{\alpha} = BC = DE$ , где  $BC = DE$  – максимальное перемещение оси наиболее удаленно от центральной точки  $A$  осциллирующего сечения в направлении, перпендикулярном базовой оси:

$$BC = DE \leq 2T_{\text{баз}}, \quad (\text{П5.13})$$

то можно считать, что

$$\Delta_{\text{м}} \leq 2T_{\text{баз}}, \quad (\text{П5.14})$$

где  $\Delta_{\text{м}}$  – максимальное возможное значение методической составляющей погрешности измерений радиального биения;

$T_{\text{баз}}$  – допуски круглости левой и правой базовых поверхностей.

Из приведенной зависимости (П5.14) следует, что искомая методическая составляющая погрешности измерения радиального биения в любом сечении между базовыми поверхностями не превысит удвоенного допуска круглости или цилиндричности базовой поверхности, определяющих осцилляцию рабочей оси.

Схему можно трансформировать для случаев, когда допуски круглости или цилиндричности левой и правой базовых поверхностей неодинаковы, а также для случаев контроля деталей других типов.

Методическую составляющую погрешности измерений торцового биения в соответствии с данной схемой можно определить из зависимости

$$\Delta = ef = (BC / l) R, \quad (\text{П5.15})$$

где  $BC$  – максимальное перемещение оси крайнего осциллирующего сечения в направлении, нормальном рабочей оси;

$l$  – половина базовой длины контролируемого вала.

Методические погрешности, возникающие из-за постоянного углового смещения реальной оси вращения контролируемой поверхности относительно идеального направления оси, не анализируются в связи с ожидаемым вторым порядком малости таких погрешностей.



дрических поверхностей понимали разность диаметров, а допуски определяются разностью радиусов, что может привести к оценкам, различающимся в два раза. Кроме того, Б – это обозначение базы, а не поверхности. Это техническое требование подлежит корректировке «после обсуждения с экспертом».

Замечание 3 сформулировано некорректно: упоминается «поверхность Б», «допуски на биение» – жаргонное наименование допусков биения (снова вопрос нормоконтроля). По предложению 3 имеются серьезные претензии. Задать допуски расположения поверхностей детали от оси вращения шпинделя станка на финишной операции по чертежу детали невозможно, поскольку этой базы на нем нет. Кроме того, фактически предлагается метод контроля, а не «способ задания допусков на взаимное расположение этих поверхностей». Задать допуски расположения иным способом, чем установленный стандартом способ, есть несоблюдение (нарушение) требований стандартов. Кроме того, допуски, заданные относительно базы, не являются «допусками на взаимное расположение», которые подразумевают выбор в качестве базовой любой из нескольких равноправных поверхностей.

Пример, появившийся в период первых попыток ввести метрологическую экспертизу, с позиций сегодняшнего дня следует признать явно неудачным.

## 7 ПРИМЕРЫ РЕЗУЛЬТАТОВ МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ ЭКСПЕРТИЗЫ ДЕТАЛЕЙ ПО КОНСТРУКТОРСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ

Экспертиза проводилась в 1991 г. по заказу одного из минских предприятий, причем с заказчиком были предварительно согласованы цели и задачи экспертизы, а также формы представления результатов.

Исходные документы (детали шариковинтовой резьбовой пары) в пособие не включены, поскольку являются интеллектуальной собственностью заказчика, однако и без них экспертные заключения несут достаточно информации для ее использования в учебных целях. Особое внимание следует обратить на раздел «ВВЕДЕНИЕ», который определяет структуру экспертизы, включая элементы нормоконтроля.

### ВВЕДЕНИЕ

Для проведения метрологической экспертизы были представлены чертежи четырех деталей (условные наименования «Гайка», «Винт 1», «Винт 2» и «Вставка»).

Метрологическая экспертиза проводилась с целью оценки контролепригодности параметров, нормированных в соответствии с требованиями чертежей. В соответствии с поставленной задачей метрологическая экспертиза каждого документа включала следующие этапы:

1. Выявление ошибок и нарушений стандартов, которые затрудняют контроль параметров или делают его невозможным. Попутно на этой стадии осуществлялся нормоконтроль чертежей.

2. Анализ нечетко сформулированных требований, тех, которые могут быть неоднозначно истолкованы. На этом этапе не только фиксировались такие требования, но и анализировались возможности корректного назначения и формулирования норм точности. К сожалению, окончательные варианты формулировок в ряде случаев не могли быть предложены в связи с возможностью принятия различных решений. Работа осложнялась также наличием ошибок, обнаруженных на первом этапе экспертизы.

3. Проверка согласования назначенных требований к точности макрогеометрии и к высотным параметрам шероховатости поверх-

ностей, поскольку отсутствие такого согласования может привести к неправильным результатам при измерительном контроле и разбраковке деталей.

Результаты проведенной метрологической экспертизы для каждой из деталей приведены ниже.

#### Протокол метрологической экспертизы детали «Гайка»

##### 1 Ошибки и нарушения стандартов:

1.1 В технических требованиях (п. 2 и 5) следует использовать стандартные термины «погрешность шага» и «отклонения».

1.2 Дублирование размеров ( $t = 4,8$ ) и 13 Н7 встречается в п. 2, 5, 6 и 7, что противоречит требованиям ЕСКД, запрещающим повторять на чертеже значения каких-либо размеров.

1.3 Обозначения допусков радиального биения оформлены неправильно. Следует указать базу для допуска 0,02.

1.4 Не указана глубина резьбовых отверстий М3.

1.5 В п. 6 следовало оговорить допуск параллельности образующих отверстия, а не «стенок».

2 Неоднозначно или нечетко сформулированные требования к детали:

2.1 Непонятно, что подразумевается под базой А, т. к. если в качестве базы А выбрана ось шариковинтовой резьбовой поверхности, то контроль радиального биения поверхностей от такой базы вызовет значительные затруднения.

2.2 Нечетко сформулирован в технических требованиях п. 4. Если подразумевается допуск формы заданного профиля, то в соответствии с ГОСТ 24642 – это суммарный допуск формы и расположения. В этом случае требование практически не согласовано с п. 2, в котором на любую погрешность расположения профиля отпущено всего 5 мкм.

2.3 Требование п. 5 практически неконтролепригодно и трудно для реализации при изготовлении. Видимо, есть смысл более жестко увязать положение оси (а не центра) отверстия 13Н7 с базовым торцом гайки и с началом витка винтовой линии (через координирующий угловой размер). Для этого можно использовать, например, фиксированное относительно начала винтовой линии угловое положение отверстия М2.

2.4 Требование п. 6 становится контролепригодным только при однозначном определении «оси О» и ее направления. Под «осью О», наверно, подразумевается плоскость симметрии, проходящая через оси резьбового отверстия М2 и шариковинтовой резьбы или некоторой другой поверхности (из тех, у которых оси номинально совпадают). Это же замечание можно отнести и к п. 7.

2.5 Справочные размеры 0,42 требуется дополнить обозначениями предельных отклонений, согласованных с требованиями к точности шага резьбы и формы профиля ее продольного сечения.

2.6 Контроль по п. 3 будет более достоверным, если в дополнение к указанным предельным отклонениям размера контрольного шарика оговорить разноразмерность контрольных шариков, например, в пределах 1 мкм.

3 Согласование требований к макрогеометрии и высотных параметров шероховатости поверхностей:

3.1 На наружной цилиндрической поверхности 30 g6 вместо указанного значения  $Ra = 0,63$  рекомендуется назначить  $Ra = 0,25$  мкм.

3.2 На внутренней цилиндрической поверхности 13 Н7 вместо указанного значения  $Ra = 1,25$  рекомендуется назначить  $Ra = 0,8$  мкм, что позволит повысить объективность контроля параметров макрогеометрии.

3.3 На торцовой поверхности, где указан допуск перпендикулярности 0,005 и значение  $Ra = 0,63$ , рекомендуется назначить  $Ra = 0,25$  мкм, что позволит повысить объективность контроля параметров макрогеометрии в случае применения методики выполнения измерений без материализации прилегающей плоскости при помощи плоскопараллельной пластины. Дополнительно в этом случае необходимо назначить допуск плоскостности торца не более 2 мкм.

Допустимо оставить обозначенное требование, в предположении контроля с использованием специальной плоскопараллельной пластины.

#### Протокол метрологической экспертизы детали «Винт 1»

##### 1 Ошибки и нарушения стандартов:

1.1 В технических требованиях (п. 7) использован термин «допуск конусности», хотя подразумевается «допуск конусообразности».

1.2 Дублирование размеров 23\* и 23 с указанием отклонений противоречит требованиям ЕСКД, запрещающим повторять на чертеже значения каких-либо размеров.

1.3 Не указаны параметры шероховатости резьбовых поверхностей шариковой резьбы, следовательно, на них распространяется общее требование  $Rz = 20$  мкм, что является недопустимо грубым значением.

1.4 Следовало оговорить допуски симметричности шпоночных пазов и параллельности их стенок относительно плоскостей симметрии соответствующих цилиндрических поверхностей.

1.5 Обозначения предельных отклонений в скобках проставляются только при одновременном указании полей допусков размеров.

1.6 Допуск размера 10 js6 по ГОСТ 25346 равен 9 мкм, а не 10 мкм, как следует из чертежа.

1.7 Обозначение В проставлено дважды: на размер 19,2 (ошибочно) и на размер 23.

2 Неоднозначно или нечетко сформулированные требования к детали:

2.1 Непонятно, что подразумевается под «средним диаметром резьбы» в п. 7 технических требований. В любом случае средний диаметр не может быть конусообразным либо непрямолинейным. Если нормированию подлежит положение некоторой постоянной хорды шариковинтовой резьбы, то необходимо корректно сформулировать требование.

2.2 Нечетко оформлены на чертеже координирующие размеры 20\* и 0,042\*, в результате чего значительные затруднения вызовет контроль радиусов ( $R 1,56$ ) резьбовых поверхностей и положения сечений относительно заданной таким образом базы. Кроме того, при назначении координирующих размеров без предельных отклонений нет никаких гарантий обеспечения «расчетного размера» 17,879.

2.3 Контроль по п. 10 будет более достоверным, если в дополнение к указанным предельным отклонениям размера контрольного шарика оговорить разноразмерность контрольных шариков, например, в пределах 1 мкм.

2.4 В случае если винт устанавливается на подшипники качения по шейкам 10 js6, то требования к поверхностям, сопрягаемым к подшипникам качения, и привалочным торцам должны быть приведены в соответствие со стандартами. Кроме того, в этом случае есть смысл совместить метрологическую (контрольную) базу с конструкторской и все допуски биений назначать относительно общей

оси посадочных поверхностей, сопрягаемых с подшипниками качения, а не относительно оси центров.

2.5 Желательно установить требования к симметричности отверстия  $\varnothing 4 H14$  относительно плоскости симметрии соответствующей шейки вала.

2.6 Некорректно задан допуск радиального биения 0,01 мм с указанием базы Б. В соответствии с обозначением на чертеже нормирован допуск радиального биения оси геометрической фигуры, образуемой верхней точкой контрольного шарика при его качении по винтовой поверхности шариковой резьбы. По-видимому, была предпринята попытка нормировать биение некоторой постоянной хорды шариковинтовой резьбы.

3 Согласование требований к макрогеометрии и высотных параметров шероховатости поверхностей:

3.1 На наружной цилиндрической поверхности 10 js6 вместо указанного значения  $Ra = 1,25$  мкм рекомендуется назначить  $Ra = 0,4...0,8$  мкм, а если эта поверхность предназначена для сопряжения с подшипником качения классов точности 0 или 6, то значение  $Ra$  не должно превышать 0,25 мкм. В этом случае  $Ra$  привалочного торца не должно превышать значения 1 мкм при допуске торцового биения 12 мкм.

3.2 На внутренних плоских поверхностях шпоночных пазов 3 N9 вместо не проставленных на сечении параметров шероховатости поверхностей ( $Rz = 20$  мкм в соответствии с общим указанием) рекомендуется назначить  $Ra = 2,5$  мкм, что позволит повысить объективность контроля параметров макрогеометрии.

3.3 Параметры шероховатости резьбовых поверхностей шариковой резьбы должны иметь значение  $Ra$  не грубее 0,5 мкм, что согласуется с допуском радиуса 10 мкм. Если же значение  $Ra$  согласовывать с допуском контрольных шариков, то оно не должно превышать 0,2 мкм.

Следует также иметь в виду возможное влияние высотных параметров шероховатости резьбовых поверхностей шариковой резьбы на результаты измерений погрешностей шага  $t$ .

#### Протокол метрологической экспертизы детали «Винт 2»

Не приводится, так как практически однотипен с предыдущим.

Протокол метрологической экспертизы  
детали «Вставка»

1. Ошибки и нарушения стандартов:

1.1 В технических требованиях (п. 2) некорректно сформулировано требование: «Угол между осью возвратной канавки... и образующей  $19,6^{+0,1}$ ». По-видимому, следовало задать угол между проекцией оси возвратной канавки на плоскость  $xOy$  и проекцией оси симметрии поверхности с номинальным размером  $19,6$  на ту же плоскость.

1.2 В технических требованиях (п. 3) неполно оформлено требование к глубине возвратной канавки: не указана вторая координата ( $y = 0$ ) для определения точки контроля глубины канавки.

1.3 Допуск размера  $19,6^{+0,1}$  нестандартный. Стандартные допуски для такого размера в ближайших квалитетах:  $IT\ 10 = 0,084$ ,  $IT\ 11 = 0,130$ .

Допуск размера  $3,12^{+0,1}$  нестандартный. Стандартные допуски для такого размера в ближайших квалитетах:  $IT\ 11 = 0,075$ ,  $IT\ 12 = 0,120$ .

Допуск размера  $1,56^{+0,1}$  нестандартный. Стандартные допуски для такого размера в ближайших квалитетах:  $IT\ 8 = 0,014$ ,  $IT\ 9 = 0,025$ .

1.4 Запись на чертеже «линия центров  $R\ 1,56$  возвратной канавки» не вполне корректна, поскольку фактически относится к проекции этой оси на плоскость  $xOz$ .

2 Неоднозначно или нечетко сформулированные требования к детали:

2.1 Система координат детали (п. 4 Технические требования) задана некорректно. Из-за погрешностей формы реальных поверхностей детали неопределенность положения точки  $O$  (начала системы координат детали) в плоскости  $xOy$  практически будет ограничена кругом с диаметром  $11$  мкм, а положение самой плоскости на оси  $z$  может быть установлено с разбросом до  $50$  мкм, что не согласуется с допускаемыми отклонениями координат линии центров  $R\ 1,56$  возвратной канавки. Некорректно определено направление осей координат  $x$  и  $y$ , поскольку угол  $(64^\circ 20') \pm (5')$  задан от сложно реализуемой и неточной базы.

Для большей определенности задания системы координат следует в обязательном порядке нормировать требования к форме базовых поверхностей.

2.2 Угол  $(64^\circ 20') \pm (5')$  и допуски координат  $x$  и  $y$  ограничивают одни и те же элементы детали разными требованиями к точности. В результате, поскольку соблюдение требований к предельным отклонениям координат на первой ступени по оси  $x$  (от  $x = 0$  и до значения  $x = 0,255$  мм) позволяет допустить отклонения линейных размеров в пределах  $\pm 20$  мкм, пересчет этих отклонений в угловые величины дает пределы  $\pm 4^\circ 51'$ . Угловые отклонения на концах прямолинейной части проекции оси симметрии возвратной канавки при расчете от ее центра по допускам координат составят  $\pm 14'$ .

2.3 Желательно установить требования к симметричности линейчатых поверхностей стенок возвратной канавки относительно «линии центров  $R\ 1,56$  возвратной канавки».

2.4 Нестыковка допусков на ширину канавки в криволинейном сечении и между линейчатыми поверхностями стенок возвратной канавки может привести к появлению в канавке технологических ступенек.

3 Согласование требований к макрогеометрии поверхностей и параметров шероховатости поверхностей:

3.1 Значение  $Ra = 1,25$  мкм на цилиндрической поверхности  $\emptyset 13\ h6$  не согласуется с допуском размера. Рекомендуется назначить  $Ra = 0,4...0,8$  мкм, что позволит повысить объективность контроля параметров макрогеометрии.

## 8. ПРИМЕР МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ ЭКСПЕРТИЗЫ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

Одна из минских организаций, занимающаяся приборостроением, разработала ряд средств измерений геометрических параметров деталей типа валов (измерительных установок) с использованием блочно-модульного принципа конструирования. Во всех установках использован один и тот же базовый измерительный преобразователь – модуль передаточный, рассчитанный на работу с цифровым измерительным преобразователем перемещений. Его схема представлена на рис. П8.1.

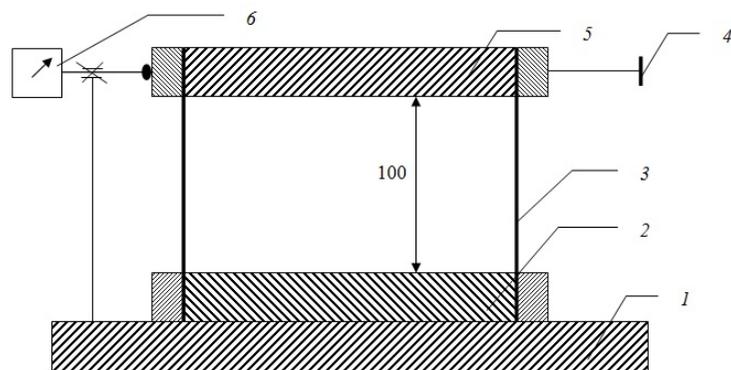


Рис. П8.1. Схема модуля передаточного

Преобразователь, установленный на плите 1, состоит из основания 2, на котором с помощью пружинного параллелограмма закреплена подвижная каретка 5, к которой крепится сменный (ножевой, плоский или сферический) измерительный наконечник 4. В плоский торец каретки упирается цифровой измерительный преобразователь перемещений 6, имеющий диапазон перемещений  $\pm 15$  мм. Высота рабочей части пружин 3 параллелограмма равна 100 мм.

### ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ЭКСПЕРТИЗА УЗЛОВ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Базовый измерительный преобразователь информационно-измерительной системы – модуль передаточный, рассчитанный на работу с цифровым измерительным преобразователем перемещений.

В модуле реализуется номинально плоскопараллельное измерительное перемещение ножевого измерительного наконечника, которому соответствует перемещение рабочей плоскости пятки, контактирующей со сферическим наконечником цифрового измерительного преобразователя. Основное требование к преобразователю – соответствие перемещения точки контакта сферического наконечника цифрового измерительного преобразователя с пяткой перемещению ножевого наконечника модуля передаточного.

Предварительные расчеты выполнены на основе следующих положений:

- каждая из отдельных инструментальных составляющих погрешности рассчитывается в соответствии с принципом суперпозиции погрешностей как независимая при фиксации не оговоренных воздействий;
- общие приближения, допущения и числовые значения представлены ниже;
- конкретные допущения и приближения оговорены в ходе описания расчетов;
- числовые значения приняты в соответствии с конструкторской документацией либо назначены с данными положениями.

Расчеты, связанные с пружинным параллелограммом, основываются на модели в виде жесткого шарнирного четырехзвенника.

Номинальная рабочая длина пружин 3 пружинного параллелограмма принята равной  $R = 100$  мм, при номинальном расстоянии между пружинами, равном  $l = 65$  мм, высоте центра пятки, запрессованной в левую часть каретки 5 (на схеме не показана), над нижней плоскостью каретки  $H = 20$  мм и диаметре пятки  $d = 8$  мм. Рабочий ход (измерительное перемещение)  $b = \pm 15$  мм от середины, соответствующей вертикальному положению пружин параллелограмма. Расчеты предельных значений выполнены для половины рабочего хода, исходя из симметричной схемы перемещений.

### ОРИЕНТИРОВОЧНЫЕ РАСЧЕТЫ НЕКОТОРЫХ ПОГРЕШНОСТЕЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

1. Вспомогательный расчет вертикального смещения точки контакта на рабочей плоскости пятки модуля передаточного и сферического наконечника цифрового измерительного преобразователя, находящегося на линии измерения.

Ориентировочный расчет вертикального смещения  $h$  точек пятки модуля передаточного осуществляется по треугольникам  $ABC$  и  $DBC$  (рис. П8.2). Высоту  $h = AD$  можно определить как  $R - DC$ . Значение  $DC$  определяется из зависимости

$$DC^2 = BC^2 - DB^2.$$

Значит,

$$h = 100 - \sqrt{100^2 - 15^2} \approx 1,13 \text{ мм.}$$

2. Расчет дефектного измерительного перемещения из-за вертикального смещения точки контакта сферического наконечника цифрового измерительного преобразователя по рабочей плоскости пятки.

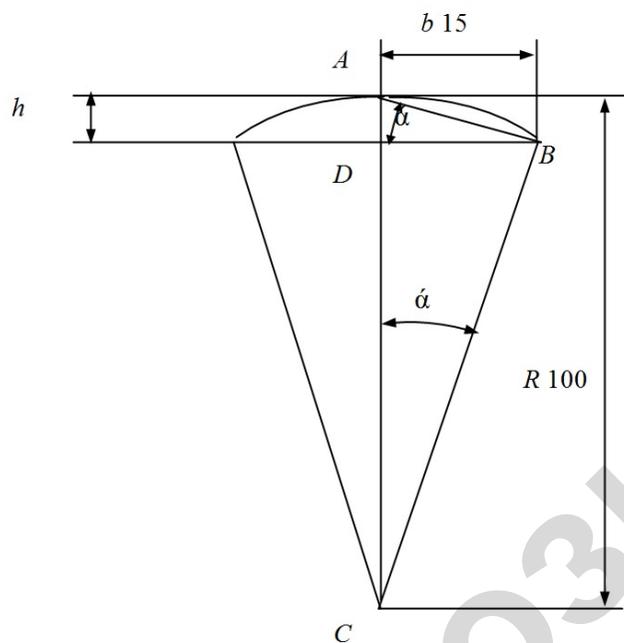


Рис. П8.2. Схема расчетная

Вертикальное смещение точки контакта принято в соответствии с результатами расчета по п. 1:  $h = 1,13$  мм (расчеты предельных значений далее выполняются для половины рабочего хода, исходя из симметричной схемы перемещений).

2.1. Расчет дефектного измерительного перемещения, вызванного возможным наклоном рабочей плоскости пятки.

Учтена только составляющая погрешности из-за отклонения от перпендикулярности рабочей плоскости пятки по отношению к ее конструкторской базе – оси посадочного цилиндра (допуск перпендикулярности 0,04 мм), поскольку никаких других норм, ограничивающих форму и положение рассматриваемой поверхности относительно конструктивных элементов детали «каретка» в чертежах нет.

Рассматриваемому предельному отклонению от перпендикулярности, равному 40 мкм на диаметре 8 мм, в случае неблагоприятного расположения рабочей плоскости пятки (наклон от вертикального положения при горизонтальном направлении линии измерения) соответствует значение дефектного измерительного перемещения, пропорциональное отношению вертикального смещения точки контакта к длине (диаметру пятки).

Искомое значение дефектного измерительного перемещения от рассматриваемой причины равно

$$40 (1,13 : 8) = 5,65 \text{ мкм,}$$

что намного превышает инструментальную составляющую используемого цифрового измерительного преобразователя перемещений.

Следует особо подчеркнуть, что рассмотренная причина не является единственным источником наклона рабочей плоскости пятки, в результате чего значение дефектного измерительного перемещения может быть значительно больше.

2.2. Расчеты дефектных измерительных перемещений, вызванных поворотом рабочей плоскости пятки и иными причинами, не проводился из-за недостатка информации об изделии. При некоторых допущениях о точности изготовления и монтажа модуля передаточного оценочно могут составить при благоприятных условиях около 5 мкм.

## ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

Документация в представленном на экспертизу виде предполагает изготовление базового измерительного преобразователя информационно-измерительной системы (модуль передаточный с пружинным параллелограммом), который в предполагаемых усло-

виях измерений будет иметь неудовлетворительные точностные характеристики:

1. Максимальное дефектное измерительное перемещение, вызванное наклоном рабочей плоскости пятки только из-за нормированного отклонения от перпендикулярности рабочей плоскости пятки, может составить примерно 6 мкм, причем рассмотренная причина не является единственным источником наклона рабочей плоскости пятки. Остальные источники не нормированы и потому не поддаются даже оценочному расчету.

2. Максимальное дефектное измерительное перемещение, вызванное поворотом рабочей плоскости пятки из-за неравномерности рабочих отрезков пружин пружинного параллелограмма, отклонения от перпендикулярности рабочей плоскости пятки из-за непараллельности оси посадочной поверхности пятки линии измерений и другого, оценочно могут составить при благоприятных условиях около 5 мкм. Это значение также существенно превышает инструментальную составляющую цифрового измерительного преобразователя перемещений.

Принятая конструкция модуля передаточного с пружинным параллелограммом для уменьшения погрешностей должна работать при измерительных перемещениях, не превышающих оценочно 1 мм. Конкретные значения подлежат уточненным расчетам в соответствии с требованиями Технического задания после назначения минимально необходимого набора точностных параметров к модулю.

Повышение точности измерений может быть достигнуто за счет уменьшения измерительного перемещения и модернизации конструкции. Конструкция модуля передаточного подлежит доработке (вплоть до радикальной переработки узла плоскопараллельного перемещения – при необходимости).

Очевидно, что заказчик экспертизы пошел по пути радикальной переработки модуля передаточного, убрав из конструкции пружинный параллелограмм.

## **9 ПРИМЕР МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ ЭКСПЕРТИЗЫ МЕТОДИКИ ВЫПОЛНЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ**

Представленная на экспертизу методика выполнения измерений (МВИ) была разработана по заявке лаборатории, готовящейся к аккредитации. Методика была аттестована территориальным органом Госстандарта РБ, поэтому ответственность за ее недостатки ложится как на разработчика, так и на экспертов-метрологов соответствующего органа. Поскольку МВИ неоднократно перерабатывалась, в качестве объекта экспертизы представлен окончательный (утвержденный) вариант. При необходимости приводятся выдержки из промежуточных вариантов МВИ.

Следует учитывать, что эта методика выполнения измерений разрабатывалась на базе ГОСТ 8.010–99 при действовавшем ГОСТ 25670, взамен которого позднее был введен стандарт на общие допуски размеров ГОСТ 30893.1 (ИСО 2768-1–89).

### **МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ ГАБАРИТНЫХ И ПРИСОЕДИНИТЕЛЬНЫХ РАЗМЕРОВ ФАР РАБОЧЕГО ОСВЕЩЕНИЯ ТРАКТОРОВ И СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН**

1 Назначение методик выполнения измерений:

1.1 Настоящий документ устанавливает методики выполнения измерений (МВИ) габаритных и присоединительных размеров фар рабочих 8724.3 8724.10 и 8724.300, 8724.302, 8724.3304, требования к которым установлены Техническими условиями ТУ РБ 28927023.003–98. В соответствии с п. 1 табл. II ТУ следует проводить «проверку присоединительных размеров...» по п. 1.1 технических требований данных Технических условий. Пунктом 3.2 ТУ установлено, что «проверка габаритных и присоединительных размеров (п. 1.1) производится универсальным измерительным инструментом».

1.2 МВИ разработана в соответствии с ГОСТ 8.010.

2 Нормы погрешностей измерений.

Технические условия ТУ РБ 28927023.003–98 не устанавливают нормы погрешностей измерений присоединительных и габаритных

размеров фар рабочих. Большинство из этих размеров в ТУ указаны без допусков, следовательно, при их измерениях можно предполагать, что неуказанные допуски размеров назначены не точнее, чем по 14 качеству или по классу точности «средний» ГОСТ 25670. Предельные отклонения размеров с неуказанными допусками, поскольку этот уровень точности является предпочтительным. Если для приемочного контроля габаритных размеров допустимые погрешности измерений принимать по ГОСТ 8.051, то при наименьшем значении габаритного размера 65 мм и допуске по классу точности «средний» 600 мкм (допуск по 14 качеству равен 740 мкм) допустимая погрешность измерения не должна превышать 140 мкм. В случае если неуказанные допуски размеров будут назначены по более грубым классам или классам точности, то погрешности, принятые в расчете на класс точности «средний» или на 14 качество, обеспечат некоторый запас точности измерений.

Аттестованные методики выполнения измерений должны базироваться на материалах РД 50-98-86 «Методические указания. Выбор универсальных средств измерений линейных размеров до 500 мм» (по применению ГОСТ 8.051).

Присоединительные размеры резьбы с указанными в технической документации полями допусков следует контролировать комплектом резьбовых калибров (проходным и непроходным) для соответствующей наружной резьбы.

### 3. Средства измерений и вспомогательные устройства:

3.1 При измерениях габаритных и присоединительных размеров применяют следующие средства измерений и вспомогательные устройства:

- штангенциркуль ШЦ II или ШЦ III ГОСТ 166-89;
- калибр резьбовой проходной, соответствующий нормированной точности резьбы;
- калибр резьбовой непроходной, соответствующий нормированной точности резьбы.

В качестве вспомогательных средств измерений следует использовать термометр и психрометр.

3.2 Применяемые средства измерений должны быть поверенными и иметь действующее свидетельство о поверке или клеймо.

3.3 Форма описания применяемых средств измерений представлена в прилож. 1.

### 4 Метод измерений.

При измерении габаритных и присоединительных размеров используют метод непосредственной оценки с прямыми измерениями каждой физической величины.

### 5 Требования квалификации операторов.

Оператор должен иметь навык работы с применяемыми средствами измерений.

### 6 Условия проведения измерений.

В соответствии с требованиями стандарта ГОСТ 8.050-73 «Нормальные условия выполнения измерений линейных и угловых размеров» измерения следует проводить при температуре  $(20 \pm 5) ^\circ\text{C}$  и относительной влажности воздуха не более 80 %.

### 7 Подготовка к выполнению измерений.

При подготовке к выполнению измерений проводят следующие работы:

- внешний осмотр и проверка комплектности. Фара должна быть укомплектована в соответствии с технической документацией, измеряемые поверхности должны быть чистыми, без консервирующей смазки. При необходимости смазка удаляется ветошью.
- проверка условий проведения измерений в соответствии с п. 6.1 с использованием термометра и психрометра.

### 8 Выполнение измерений:

8.1 При выполнении измерений габаритных и присоединительных размеров выполняют следующие операции:

- проводят измерения габаритных и присоединительных размеров в направлении, нормальном к оси (плоскости) симметрии контролируемого элемента или нормальном к оси (плоскости) симметрии основного контролируемого элемента (если контролируют объединенный размер нескольких элементов типа фара-кронштейн);
- контроль резьбовыми калибрами проводят в соответствии с общими правилами использования резьбовых калибров.

8.2 При наличии взаимной подвижности элементов измерение проводят при том положении элементов, которое оговорено технической документацией на фару.

8.3 Для измерения одного параметра, заданного номинальным размером, достаточно получение одного результата измерения в одном контролируемом сечении, если одна или обе контролируемые поверхности имеют сферическую форму или малую площадь, не позволяющую переустановки измерительных губок штангенциркуля. При измерении параметров между двумя параллельными плоскостями большой площади измерения производят в нескольких (трех или четырех контрольных сечениях, расположенных по периферии поверхности с меньшей площадью).

Допускается повторное измерение параметра в том же или близком сечении во избежание промахов или в случае сомнений в адекватности результата.

9 Способы обработки результатов измерений и оценки показателей точности измерений:

9.1 Обработка результатов многократных измерений не осуществляется. Для оценки годности параметров, измеренных в нескольких сечениях по п. 8.3, используют полученные при измерениях экстремальные значения, которые не должны выходить за предельные размеры, установленные для этих параметров технической документацией.

9.2 Погрешности измерений определяются с использованием оценок погрешностей средств измерений при доверительной вероятности  $P = 0,95$  по РД 50-98-86 «Методические указания. Выбор универсальных средств измерений линейных размеров до 500 мм» (по применению ГОСТ 8.051).

9.3 В соответствии с РД 50-98-86 при использовании указанных выше средств измерений погрешности измерений присоединительных и габаритных размеров не будут, превышать 0,1 мм ( $P = 0,95$ ) при измерении штангенциркулем ЩЦ II или ЩЦ III ГОСТ 166-89 присоединительных и габаритных размеров до 250 мм.

9.4 Присоединительные резьбовые размеры признаются годными или не годными по результатам контроля резьбовыми калибрами.

10 Оформление результатов измерений.

Результаты измерений фиксируются в протоколе измерений по прилагаемой форме (прилож. 2). Протокол подписывается лицами, ответственными за проведение измерений, и утверждается. В протоколе измерений не допускается исправлений, подчисток.

11 Контроль погрешности МВИ.

МВИ габаритных размеров по РД 50-98-86 обладают нормированными погрешностями.

При необходимости контроль точности МВИ можно осуществить с использованием заведомо более точных универсальных средств измерений для измерения тех же параметров одной фары. Контроль размеров фар с помощью измерительных микроскопов обеспечивает погрешности измерений не более 0,010 мм. Значит, полученные результаты можно принимать за действительные, размеры и погрешности измерения штангенциркулем определять как разность результатов измерений штангенциркулем и действительных размеров, измеренных на микроскопе.

Таблица средств измерений не закончена (нет термометра, психрометра), поскольку приведена в качестве примера. Прилож. 2 с формой протокола измерений не приводится, как не имеющее принципиального значения для экспертизы.

Таблица

Средства измерений (СИ)

Наименование СИ	Тип, изготовитель, страна	Техническая характеристика	Год изготовления	Кол-во, шт.	Дата, номер протокола поверки (аттестации), периодичность	Дополнит. сведения
Линейка металлическая	ЛМ зав. № 277, СССР	Пределы шкалы 0-1000 мм, цена деления 1,0 мм	1985	1	01.1997, № 356, 1 раз в год	
Штангенциркуль	ЩЦ III кл. 2, ГОСТ 166-89 зав. № Г004470	Пределы измерения 0-250 мм, цена деления 0,1 мм	1985	1	1 раз в год	

**Метрологическая экспертиза методики выполнения измерений**

Прежде всего, следует отметить, что содержание документа не соответствует его наименованию («Методика выполнения измерений габаритных и присоединительных размеров фар рабочего освещения тракторов и сельскохозяйственных машин»). Фактически,

наряду с описанием измерений габаритных размеров фар, в документ включен измерительный контроль присоединительных размеров, осуществляемый с применением проходного и непроходного резьбовых калибров.

В соответствии с ТУ фары комплектуют покупными деталями (винтом и гайкой) для крепления кронштейна к машине с помощью болтового соединения. Следовательно, присоединительными размерами в данном случае являются функционально важные для присоединения фары размеры резьбовых деталей (наружный диаметр резьбы и длина винта). Однако эксперты потребовали обеспечить контроль годности резьбовых поверхностей (приемочный контроль), осуществить который проще всего с применением калибров. Полный комплект калибров для контроля резьбовых поверхностей кроме резьбовых калибров включает и гладкие, например, калибр-пробку для контроля внутреннего диаметра резьбы гайки.

В целом это означает, что приемочный контроль резьбовых деталей, если считать его необходимым, следует выделить в отдельный документ. Что касается данной МВИ, то для «проверки присоединительных размеров универсальным измерительным инструментом» (п. 3.2 ТУ) достаточно идентифицировать покупные детали (винт и гайку), которыми комплектуют фары. Для измерений присоединительных размеров винтов (наружный диаметр резьбы и длина винта) в таком случае достаточно использовать штангенциркуль, а гайку проверить на свинчиваемость с тем же винтом. Осуществлять приемочный контроль присоединительных резьбовых деталей потребителю нет необходимости, поскольку они и для изготовителя фар являются покупными деталями.

Проведенный анализ показал, что с формальных позиций в состав разработанной МВИ можно было включить методику измерений присоединительных размеров винтов (наружный диаметр резьбы и длина винта) с использованием штангенциркуля. Рассматриваемый документ является нелогичным гибридом, объединяющим методику выполнения измерений габаритных размеров фар и приемочного измерительного контроля (неполного) резьбовых поверхностей покупных деталей (винта и гайки), которыми комплектуют фары.

Не вполне корректно в МВИ решена задача назначения допустимых погрешностей измерений (раздел «Нормы погрешностей

измерений»). По настоянию экспертов, МВИ построена на идее приемочного измерительного контроля габаритных размеров фар, что не имеет достаточного технического содержания. Кроме того, эти размеры в ТУ не регламентированы нормами точности. Габаритные размеры изделия задают как номинальные.

Предположение о назначении изготовителем на эти размеры общих допусков вполне правомочно, но обоснование уровня их точности сомнительно. Допуски по классу точности «средний» или по 14 качеству в действовавшем тогда стандарте были предпочтительными для металлических поверхностей, обрабатываемых резанием, что технологически не подходит к образованию габаритных размеров фар. Однако найденный выход можно попытаться применить при разработке МВИ, если на измеряемые параметры не установлены нормы точности.

Возможны и иные подходы к назначению допустимых погрешностей измерений. Пример одного из таких подходов, который был предложен при разработке первой версии МВИ, но был отвергнут экспертами:

2 Нормы погрешностей измерений:

2.1 Технические условия ТУ РБ 28927023.003–98 не устанавливают нормы погрешностей измерений присоединительных и габаритных размеров фар рабочих. Большинство из этих размеров в ТУ указаны без допуска, следовательно, их измерения могут иметь ориентирующий характер.

Присоединительные размеры с указанными в технической документации полями допусков (резьба М8-8g) контролируются только для идентификации номинального диаметра резьбы с соответствующими погрешностями измерений, позволяющими отличить эту резьбу от ближайших (М6 и М10).

Допустимые погрешности таких измерений, как правило, не нормируются заранее, а устанавливают после выбора МВИ, причем их значения принимают равными погрешностям реализованных МВИ.

Из раздела 3 «Средства измерений и вспомогательные устройства» в случае исключения из МВИ приемочного измерительного контроля резьбовых поверхностей следует изъять резьбовые калибры.

В представленном документе отсутствуют требования безопасности, которые считаются обязательными для любой МВИ.

В исходном документе они присутствовали в том виде, который показан ниже (раздел 5 первого варианта). Позднее они были исключены по требованию экспертизы.

5 Требования безопасности:

5.1 К измерениям могут быть допущены лица, знающие правила техники безопасности при работе с приборами для линейных измерений.

Текст может быть иным, например, с упоминанием инструктажа по технике безопасности и противопожарной технике. Последнее становится обязательным при использовании растворителей для очистки измеряемых объектов и (или) рабочих поверхностей средств измерений.

Следует обратить внимание на раздел 5 «Требования квалификации операторов». В большинстве МВИ указывают разряд контролера, который должен иметь оператор. Данную МВИ должен реализовывать не профессиональный контролер ОТК, а оператор-универсал, для которого задача измерений является попутной наряду с исполнением множества иных работ. Поэтому заставлять такого оператора сдавать на разряд контролера нерационально. Положение «Оператор должен иметь навык работы с применяемыми средствами измерений» заимствовано из РД 50-98-86. Методические указания. Выбор универсальных средств измерений линейных размеров до 500 мм (по применению ГОСТ 8.051). Этот документ содержит аттестованные МВИ линейных величин, и ссылка на него убедила экспертов.

К разделу 11 МВИ «Контроль погрешности МВИ»: в примечании 2 п. 5.2.3 ГОСТ 8.010 сказано, что «вместо приведенных в данном пункте сведений о МВИ в документе могут быть даны ссылки на другие документы, в которых эта сведения указаны». В соответствии с этим указанием в МВИ дана ссылка на РД 50-98-86, подтверждающая возможность контроля погрешности разработанной МВИ. В частности, там сказано, что контроль размеров фар с помощью измерительных микроскопов обеспечивает погрешности измерений не более 0,010 мм. Значит, можно погрешности измерения штангенциркулем определять как разность результатов измерений штангенциркулем и действительных размеров, измеренных на микроскопе.

## 10 ПРИМЕР СОВМЕСТНОЙ ЭКСПЕРТИЗЫ ОБЪЕКТА ПО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ

В данном примере экспертиза проводится по двум эскизам, взятым из описания технологического процесса изготовления детали. Деталь, представленная на эскизах, входит в реально изготавливаемое сложное изделие. Поскольку эскизы не являются операционными, к ним следует относиться как к эскизам, представляющим собой конструкторскую документацию.

Недостаток информации в исходных материалах возможен в случае реальной экспертизы – тогда минимально необходимую информацию получают от разработчика. Если представленные на экспертизу документы не содержат всей необходимой информации, приходится устанавливать некоторые допущения, если их обосновано высказывает разработчик. Если разработчик по каким-то причинам недоступен, допущения устанавливает эксперт, который имеет достаточно высокую квалификацию для проведения функциональной экспертизы. В любом случае установленные допущения необходимо довести до заказчика экспертизы и работать на их основании только с его согласия.

Ниже представлены эскизы детали (рис. П10.1) и допущения, которые положены в основу совместной метрологической и стандартизационной экспертизы. Неважное качество эскизов не является помехой для проведения экспертизы. Описание детали основано на следующих допущениях:

1. Деталь представляет собой стакан, предназначенный для установки подшипника качения в корпус сборочной единицы. Базовой поверхностью стакана является наружная цилиндрическая поверхность  $\varnothing 138_{-0,025}$ , вспомогательной базой – левый торец буртика, на который назначен допуск торцового биения 0,04 мм. Буртик имеет срез в виде сегмента и ни с чем не сопрягается своей цилиндрической поверхностью  $\varnothing 190_{-0,029}$ .

2. Стакан крепится к корпусу четырьмя винтами, которые проходят в отверстия  $\varnothing 11^{+0,43}$ . Два резьбовых отверстия М10-7Н предназначены для извлечения стакана из корпуса при разборке.

3. Подшипник качения устанавливают (запрессовывают) во внутреннюю цилиндрическую поверхность стакана  $\varnothing 120_{-0,035}$ . Привалочной поверхностью для подшипника качения является торец (база Б), торец подшипника упирается в заплечики, образованные сквозным отверстием.

Требования к точности поверхностей будут рассмотрены на базе представленных допущений.

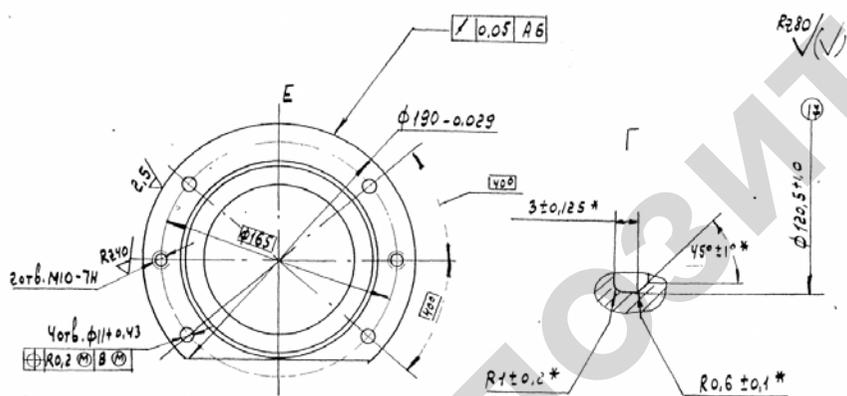
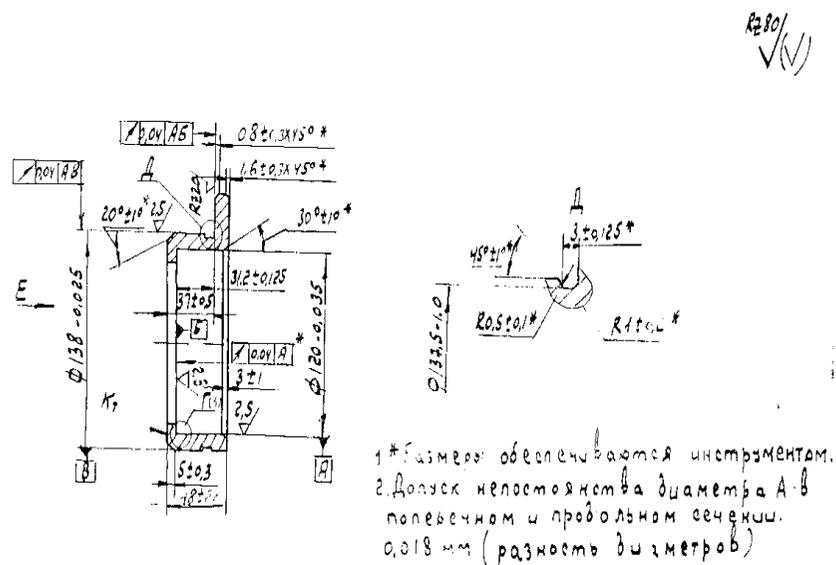


Рис. П10.1. Эскиз детали

## СОВМЕСТНАЯ ЭКСПЕРТИЗА ЭСКИЗА ДЕТАЛИ

Стандартизационная экспертиза показывает отсутствие ряда размеров детали. Не указан диаметр сквозного отверстия в днище стакана, а также размеры (линейный и угловой), определяющие положение лыски буртика.

Толщина днища, которая на эскизе непосредственно не указана, поскольку размер  $(5,0 \pm 0,3)$  мм относится к фаске, рассчитывается из размерной цепочки, в которую входят размер от левого торца буртика до левого торца стакана  $(37,0 \pm 0,5)$  мм и размер от левого торца буртика до днища стакана  $(31,200 \pm 0,125)$  мм, равна  $(5,800 \pm 0,625)$  мм, т. е. может колебаться в пределах от 5,175 мм до 6,425 мм.

Толщина буртика может быть рассчитана из двух разных размерных цепочек, что принципиально недопустимо, поскольку приводит к разным результатам и не дает возможности однозначной разбраковки деталей, близких к предельным размерам.

При расчете толщины буртика как разности высоты стакана  $(48 \pm 2)$  мм и размера от левого торца буртика до левого торца стакана  $(37,0 \pm 0,5)$  мм толщина буртика может составлять  $(11,0 \pm 2,5)$  мм. При расчете толщины буртика как разности высоты стакана  $(48 \pm 2)$  мм, размера от левого торца буртика до днища стакана  $(31,200 \pm 0,125)$  мм и толщины днища  $(5,800 \pm 0,625)$  мм толщина буртика может составлять  $(11,00 \pm 2,75)$  мм.

Обозначения шероховатости устарели, то же можно сказать о некоторых из назначенных допусков. В Технических требованиях указано, что «допуск непостоянства диаметра А в поперечном и продольном сечении 0,018 мм (разность диаметров)». Если внутренняя цилиндрическая поверхность стакана (отверстие  $\varnothing 120_{-0,035}$ , а не диаметр А, поскольку А – это обозначение базы) предназначена для посадки подшипника качения, то в соответствии с действующими требованиями к этой поверхности следует назначить допуски круглости и профиля продольного сечения, значения которых должны быть около 0,008 мм (разность радиусов, близкая к половине разности диаметров).

В назначенном на левый торец буртика допуске торцового биения 0,04 мм неправильно обозначена база А, где А – это обозначение одной базы (ось отверстия  $\varnothing 120_{-0,035}$ ), а Б – это обозначение

другой базы (днище того же отверстия). На эскизе неправильно обозначены комплекты баз (ось отверстия и перпендикулярная к ней плоскость): для комплекта баз каждая из них занимает в обозначении отдельную клетку. Такой комплект баз не может являться базой торцового или радиального биения (обозначено для периферии буртика), поскольку базой для контроля биений может быть только ось одной поверхности вращения или общая ось нескольких поверхностей вращения.

Функциональная стандартизационная экспертиза, опирающаяся на принятые допущения, позволяет утверждать, что назначены слишком жесткие требования к точности наружной неполной (с лыской) цилиндрической поверхности буртика  $\varnothing 190_{-0,029}$ . Назначенный допуск размера (0,029 мм) примерно в 30 раз меньше вполне удовлетворительного общего допуска размера по классу точности «средний» ГОСТ 30893.1, а назначение допуска биения вообще не имеет смысла.

Базовой поверхностью стакана является наружная цилиндрическая поверхность  $\varnothing 138_{-0,025}$ .

Допуск радиального биения наружной цилиндрической поверхности  $\varnothing 138_{-0,025}$  (базовой поверхности стакана), назначенный от составной базы АВ, вызывает сомнения с позиций стандартизационной экспертизы (база В – ось той же поверхности, на которую назначен допуск биения). С позиций метрологической экспертизы выбранная база нерациональна, поскольку при измерении сложно реализовать общую ось наружной и внутренней цилиндрических поверхностей.

Стандартизационная и метрологическая экспертизы показывают некорректность назначения и невозможность объективного контроля обозначенных позиционных допусков четырех отверстий для прохода винтов.

Если линейный размер (номинальное значение  $\varnothing 165$  мм) определен, хотя его трудно воспроизвести при измерениях позиционных отклонений, угловые размеры ( $40^\circ$ ) фактически не координируются. Углы заданы от плоскости, проходящей через оси двух резьбовых отверстий М10-7Н и базовую ось В. Через эти три линии провести общую плоскость практически невозможно, тем более что к точности положения осей резьбовых отверстий нет никаких требований.

Логичнее было бы координировать углы от направления лыски буртика, но она корректно не задана.

Дополнительные сложности при контроле вызовут назначение зависимых допусков, возможное увеличение которых с учетом допусков размеров отверстий может составить до 0,21 мм, а их увеличение с учетом допуска размера базовой поверхности стакана (наружная цилиндрическая поверхность  $\varnothing 138_{-0,025}$ ) может составить около 0,012 мм, т. е. добавить к максимальному значению допуска около 3 %.

Эскизы подлежат кардинальной переработке, поскольку по представленной документации невозможно не только проконтролировать изделие, но даже изготовить его.

## 11 ПРИМЕР СОВМЕСТНОЙ ЭКСПЕРТИЗЫ ОБЪЕКТА, ПРЕДСТАВЛЕННОГО НОРМАТИВНЫМ ДОКУМЕНТОМ

Для экспертизы выбран документ, регламентирующий проведение метрологической экспертизы (РМГ 63–2003 «Государственная система обеспечения единства измерений. Обеспечение эффективности измерений при управлении технологическими процессами. Метрологическая экспертиза технической документации»). Выбор документа объясняется невозможностью его непосредственного применения из-за многочисленных недостатков, что подтверждается как практикой, так и представленным ниже анализом.

Материалы излагаются в свободной форме. Особенно неудачные части экспертируемого документа сопровождаются комментариями эксперта.

### СОВМЕСТНАЯ ЭКСПЕРТИЗА РМГ 63–2003

Наименование документа РМГ 63–2003 «Государственная система обеспечения единства измерений. Обеспечение эффективности измерений при управлении технологическими процессами. Метрологическая экспертиза технической документации» не соответствует его содержанию. Можно проводить нормоконтроль документации, но метрологическая экспертиза всегда распространяется на объект, представленный документом, а не на сам документ. Кроме того, экспертиза изделий по конструкторской документации не имеет непосредственного отношения к управлению технологическими процессами, не говоря уже об экспертизе научно-исследовательской работы.

В общих положениях документа сказано, что метрологическая экспертиза является частью комплекса работ по метрологическому обеспечению и может являться частью технической экспертизы конструкторской, технологической и проектной документации. С этим можно согласиться, если пренебречь некорректностью формулировки объектов экспертизы, поскольку фактическими объектами метрологической экспертизы являются изделия и технологические процессы (процессы изготовления изделий, оказания услуг, выполнения метрологических мероприятий, проведения экспериментальных

исследований и др.), а документация – только форма представления объектов на экспертизу.

Там же (в «Общих положениях») оговорены цели метрологической экспертизы. Основная цель метрологической экспертизы – достижение эффективности метрологического обеспечения, выполнение общих и конкретных требований к метрологическому обеспечению наиболее рациональными методами и средствами.

В этом определении упор сделан на эффективность, а точнее, на оптимизацию метрологического обеспечения, что совершенно некорректно. Метрологическая экспертиза и метрологическое обеспечение – два разных вида работ, хотя результаты проведенной экспертизы могут быть использованы при организации метрологического обеспечения. Метрологическое обеспечение (научно-методическое, техническое, организационное) – понятие значительно более широкое, по необходимости включающее в себя метрологическую экспертизу множества объектов (изделий, технологических процессов, процессов измерительного контроля, проверки средств измерений и др.).

Конкретные цели метрологической экспертизы определяются назначением и содержанием технической документации (например, конкретная цель метрологической экспертизы чертежей простейших деталей – обеспечение достоверности измерительного контроля с оптимальными значениями вероятностей брака контроля 1-го и 2-го рода).

Конкретные цели метрологической экспертизы определяет эксперт, а не экспертируемый документ. Предложенная цель – «Обеспечение достоверности измерительного контроля с оптимальными значениями вероятностей брака контроля 1-го и 2-го рода» – представляет собой частную задачу, для решения которой по каждому контролируемому параметру необходимо знать ширину поля его практического рассеяния (данные реального технологического процесса) и характеристики погрешности измерительного контроля. В конструкторской документации эта информация отсутствует, из-за чего цель становится недостижимой.

Фактические цели метрологической экспертизы при формальном подходе – анализ контролепригодности параметров исследуемого объекта, а при функциональной метрологической экспертизе дополни-

тельно к этому – оптимизация точностных требований к параметрам исследуемого объекта.

Частично это подтверждается следующим положением рассматриваемого НД: «При метрологической экспертизе выявляют ошибочные или недостаточно обоснованные решения, вырабатывают рекомендации по конкретным вопросам метрологического обеспечения».

РМГ 63–2003 разрешает не проводить экспертизу, если в процессе разработки объекта осуществлялась метрологическая проработка силами привлекаемых специалистов метрологической службы. Определение метрологической проработки в этом документе (и в других документах ГСИ) отсутствует, но из контекста можно предположить, что под ней понимают проведение метрологической экспертизы в ходе проектирования объекта с последующим устранением выявленных ошибок. Однако стандартизация требует однозначного определения термина.

В соответствии с РМГ 63–2003, «метрологическая экспертиза включает в себя метрологический контроль технической документации. Метрологический контроль осуществляют путем проверки технической документации на соответствие конкретным метрологическим требованиям, установленным в стандартах и других нормативных документах (например, проверка на соответствие ГОСТ 8.417 наименований и обозначений, указанных в технической документации единиц величин, или проверка на соответствие РМГ 29–99 использованных метрологических терминов)».

Из приведенных примеров ясно, что под метрологическим контролем разработчики подразумевают контроль документов на предмет соответствия их требованиям ГСИ (нормоконтроль), который не может быть частью метрологической экспертизы.

В разделе 5 РМГ 63–2003 сказано, что основными задачами метрологической экспертизы технической документации являются:

- идентификация объекта измерений и его параметров, подлежащих измерению;
- определение оптимальной точности измерений;
- рациональный выбор средств и методик выполнения измерений.

Далее в том же разделе написано: «Конкретные объекты анализа при метрологической экспертизе – задачи метрологической экспертизы и способы решения этих задач приведены в 5.2–5.10».

Любому эксперту ясно, что объекты анализа при метрологической экспертизе есть только часть условия задачи метрологической экспертизы. Корректно сформулировать задачи экспертизы должен эксперт. При этом постановка комплекса задач должна обеспечить достижение цели экспертизы. В свою очередь, цель экспертизы должна отвечать требованиям заказчика и соответствовать возможностям исполнителей.

Задачи метрологической экспертизы сформулированы следующим образом:

- оценивание рациональности номенклатуры измеряемых параметров;
- оценивание оптимальности требований к точности измерений;
- оценивание полноты и правильности требований к точности средств измерений;
- оценивание соответствия действительной точности измерений заданным требованиям;
- оценивание контролепригодности конструкции изделия (измерительной системы);
- оценивание возможности эффективного метрологического обслуживания выбранных средств измерений;
- оценивание рациональности выбранных средств измерений и методик выполнения измерений;
- анализ использования вычислительной техники в измерительных операциях;
- контроль метрологических терминов, наименований измеряемых величин и обозначений их единиц.

Каждая из поставленных в НД задач далее расшифровывается и уточняется, причем далеко не все пояснения в документе можно считать удовлетворительными.

Оценивание рациональности номенклатуры измеряемых параметров описано в документе следующим образом.

Например, в стандарте на конкретную продукцию установлены характеристики продукции, а в разделе методов контроля указаны контролируемые параметры.

Если таких исходных требований нет, то эксперт при анализе номенклатуры контролируемых параметров руководствуется следующими общими положениями:

– контролируемые параметрами деталей, узлов и составных частей изделий являются параметры, обеспечивающие их размерную и функциональную взаимозаменяемость;

– для готовой продукции (в случае отсутствия требований к контролю в соответствующих нормативных или других исходных документах) обеспечен контроль основных характеристик, определяющих качество продукции, а в непрерывных производствах также количество продукции;

– для технологического оборудования, систем контроля и управления технологическими процессами выполнимы измерения параметров, определяющих безопасность, оптимальность режима по производительности и экономичности, экологическую защиту от выбросов вредных веществ.

**Комментарий эксперта.** Если в исходных документах на конкретную продукцию отсутствуют требования к ее основным характеристикам, определяющим качество продукции, документы явно негодные, и эксперты должны требовать их переработки.

- Для изделий (деталей, сборочных единиц) функциональная взаимозаменяемость включает и геометрическую («размерную») взаимозаменяемость. Функциональная взаимозаменяемость есть система проектирования изделий, обеспечивающая заданный уровень качества серийно выпускаемой продукции. Количество продукции к метрологической экспертизе непосредственного отношения не имеет.

- Для технологического оборудования, систем контроля и управления технологическими процессами необходимо, прежде всего, осуществлять измерения параметров, определяющих точность их работы, и только в случае удовлетворительных результатов – «безопасность, оптимальность режимов по производительности и экономичности, экологическую защиту от выбросов вредных веществ». Кроме того, оптимальная производительность может не совпадать с экономичными режимами, а «защита от выбросов вредных веществ» как раз и есть экологическая задача.

Далее в документе сказано, что при анализе параметров, подлежащих измерениям и измерительному контролю, принимают во внимание следующие соображения.

Многие технические характеристики деталей, узлов, составных частей изделий определены предыдущими этапами технологических процессов, оборудованием, инструментом. Так, размеры штампованных деталей определены инструментом, поэтому их штучный контроль неэкономичен.

**Комментарий эксперта.** Выбор сплошного («штучного») или выборочного контроля не входит в задачи метрологической экспертизы, а кроме инструмента, определенные искажения могут вносить недостаточная точность выполнения работы и наладка оборудования.

Принимают также во внимание взаимосвязь параметров в технологическом процессе. Такую взаимосвязь используют с целью сокращения количества измеряемых параметров, не относящихся к наиболее важным. Для наиболее важных параметров эту взаимосвязь используют в целях повышения точности измерений и надежности измерительных систем (по аналогии с дублированием измерительных каналов).

**Комментарий эксперта.** Сокращение числа измеряемых параметров не имеет непосредственного отношения к взаимосвязи параметров в технологическом процессе, кроме того, эту связь нельзя использовать «в целях повышения точности измерений и надежности измерительных систем».

5.2.3 При анализе номенклатуры измеряемых параметров обращают внимание на четкость указаний об измеряемой величине. Неопределенность трактовки подлежащей измерению величины может привести к большим неучтенным погрешностям измерений. Выявляют также избыточность измеряемых параметров, которая может привести к неоправданным затратам на измерения и метрологическое обслуживание средств измерений.

**Комментарий эксперта.** 1. Под «указаниями об измеряемой величине», «неопределенностью трактовки», по-видимому, подразумевается возможность некорректной идеализации объекта измерений, что действительно «может привести к большим неучтенным погрешностям измерений» (методическим).

2. «Избыточность измеряемых параметров» может возникнуть только при ошибках эксперта, который обязан выбрать для измерительного контроля необходимый минимум. Приведенные далее

примеры «оценивания рациональности» имеют искусственный характер и вызывают сомнения в квалификации авторов документа.

1 Измерения линейных размеров при контроле детали (рис. П11.1):

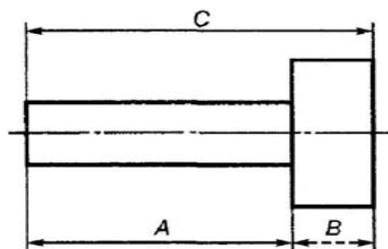


Рис. П11.1

При измерениях размеров  $A$  и  $B$  размер  $C$  допускается не измерять. Измерения размера  $C$  оправданы при необходимости контроля правильности измерений размеров  $A$  и  $B$ .

**Комментарии эксперта.** Нельзя не заметить, что разработчики документа допустили ошибку в расчетах размерных цепей и не соблюли требования ЕСКД к представлению размерных цепей на чертежах.

2 Измерения расхода газа на предприятии (рис. П11.2):

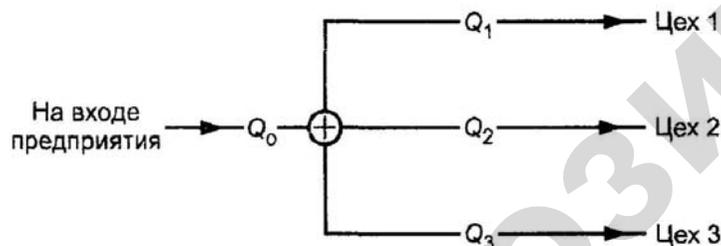


Рис. П11.2

При измерениях расходов газа всеми потребителями на предприятии (расходы  $Q_1$ ,  $Q_2$ ,  $Q_3$ ) измерения общего расхода  $Q_0$  допускается не проводить. Его определяют суммой  $Q_1 + Q_2 + Q_3$ . Если расходомеры одинакового класса точности, то эта сумма расходов

более точна, чем результаты измерений общего расхода  $Q_0$  на входе предприятия.

Общий расход газа, поступающего на предприятие, может быть определен путем вычисления полусуммы:  $0,5 (Q_0 + Q_1 + Q_2 + Q_3)$ . Этот результат более точен по сравнению с результатом измерений  $Q_0$  на входе предприятия или суммы  $Q_1 + Q_2 + Q_3$ .

**Комментарии эксперта.** «Более высокая точность» при предложенном вычислении полусуммы декларируется без объяснений.

В п. 5.2.4 сказано: «В некоторых случаях в исходных нормативных или других документах показано использование средств измерений и измерительных каналов в автоматизированных системах управления технологическими процессами (далее – АСУТП) для целей фиксации состояния процесса или технологического оборудования (наличие или отсутствие напряжения питания, давления в питающей сети и т. п.). Средства измерений в этих случаях служат индикаторами и могут быть заменены соответствующими сигнализаторами или подобными устройствами, а измерения таких параметров допускается не проводить».

**Комментарий эксперта.** Предложение о «замене средств измерений соответствующими сигнализаторами» бессмысленно, поскольку «сигнализаторы» фактически должны быть индикаторами, которые являются специфической разновидностью средств измерений.

Весьма сомнительна возможность назначения оптимальной в экономическом смысле погрешности измерений по п. 5.3 «Оценивание оптимальности требований к точности измерений», поскольку приведенные в НД зависимости, связывающие значение оптимальной погрешности измерений  $\delta_{\text{опт}}$  с потерями  $\Pi$  и затратами  $\mathcal{Z}$  и не имеющие корректных обоснований, вызывают большие сомнения. Там же сказано, что точное значение  $\delta_{\text{опт}}$  найти практически невозможно, так как обычно потери  $\Pi$  и затраты  $\mathcal{Z}$  могут быть определены лишь весьма приблизительно. Приведенная далее без комментариев цитата – образец рассуждений, не опирающихся на результаты научно-технического анализа.

5.3.1 Если в исходных документах (технических заданиях, стандартах и т. п.) не заданы требования к точности измерений, то эксперт руководствуется следующими положениями.

Погрешность измерений, как правило, является источником неблагоприятных последствий (экономических потерь, повышения вероятности травматизма, загрязнений окружающей среды и т. п.). Повышение точности измерений снижает размеры таких неблагоприятных последствий. Однако уменьшение погрешности измерений связано с существенными дополнительными затратами.

В первом приближении принимают, что потери пропорциональны квадрату погрешности измерений, а затраты на измерения обратно пропорциональны погрешности измерений.

Оптимальной в экономическом смысле считают погрешность измерений, при которой сумма потерь от погрешности и затрат на измерения минимальна. Оптимальную погрешность во многих случаях выражают зависимостью

$$\delta_{\text{опт}} = 0,8 \delta \sqrt[3]{\frac{3}{\Pi}}, \quad (\text{П11.1})$$

где  $\delta_{\text{опт}}$  – граница оптимальной относительной погрешности измерений;

$\delta$  – граница относительной погрешности измерений, для которой известны потери  $\Pi$  и затраты на измерения  $З$ .

Так как обычно потери  $\Pi$  и затраты  $З$  могут быть определены лишь приближенно, то точное значение  $\delta_{\text{опт}}$  найти практически невозможно. Поэтому погрешность считают практически близкой к оптимальной, если выполнено условие

$$0,5 \delta_{\text{опт}}^* < \delta < (1,5 - 2,5) \delta_{\text{опт}}^*, \quad (\text{П11.2})$$

где  $\delta_{\text{опт}}^*$  – приближенное значение границы оптимальной относительной погрешности измерений, вычисленное по приближенным значениям  $\Pi$  и  $З$ .

Таким образом, при решении вопроса об оптимальности требований к точности измерений разработчик и эксперт должны иметь хотя бы ориентировочное представление о размерах возможных потерь из-за погрешности измерений и о затратах на измерения с данной погрешностью. Последующий текст документа также требует серьезной экспертизы.

5.3.2 При анализе требований к точности измерений наиболее важных параметров крупных технологических установок или других объектов, где погрешность измерений может приводить к значительным экономическим потерям, целесообразно руководствоваться положениями РМГ 64.

5.3.3 Предел допускаемой погрешности измерений, не приводящей к заметным потерям или другим неблагоприятным последствиям, может составлять 0,2–0,3 границы симметричного допуска на измеряемый важный параметр; для параметров, не относящихся к наиболее важным, – 0,5. При несимметричных границах допуска или одностороннем допуске может быть использовано то же значение (0,5) для соотношения пределов допускаемых значений погрешности измерений и размера поля допуска.

**Комментарий эксперта.** Здесь, по-видимому, подразумевается соотношение допускаемой погрешности измерений  $\delta$  и допуска контролируемого параметра  $T$ , которое в метрологии традиционно принимается как  $\delta \leq (0,2 - 0,3) T$ .

Принципиальные ошибки содержит п. 5.4 «Оценивание полноты и правильности требований к точности средств измерений». В нем, в частности, сказано: «Погрешность прямых измерений параметра практически равна погрешности средств измерений в рабочих условиях. При косвенных измерениях погрешность средств измерений составляет часть погрешности измерений параметра. В таких случаях необходимо представление о методической составляющей погрешности измерений».

**Комментарий эксперта.** Некорректный подход – эксперта в первую очередь интересуют погрешности измерений, которые не идентичны таким их составляющим, как погрешности средств измерений. При оценивании погрешностей измерений кроме инструментальной составляющей и погрешностей из-за воздействия влияющих величин следует всегда анализировать методические и субъективные составляющие погрешности.

5.4.2 Погрешность измерений средних значений (по  $n$  точкам измерений) практически в  $\sqrt{n}$  раз меньше погрешности измерений в одной точке. Погрешность измерений средних значений (в одной точке) за некоторый интервал времени также меньше погрешности измерений текущих значений благодаря фильтрации высокочастотных случайных составляющих погрешности средств измерений.

**Комментарий эксперта.** Усреднение результатов измерений, полученных в  $n$  точках объекта измерений, увеличивает неопределенность информации, поскольку на погрешность измерений может накладываться рассеяние номинально одинаковых параметров объекта измерений. При измерениях с многократными наблюдениями в соответствии со стандартом ГОСТ 8.207 можно рассчитать среднее квадратическое отклонение результата измерения, значение которого в  $\sqrt{n}$  раз меньше соответствующей оценки погрешности наблюдений. Переход к иной оценке не повышает точность измерений, как изменение единиц при написании физической величины не может увеличить или уменьшить ее значение.

Неудачным является и следующий абзац рассматриваемого документа.

«При анализе учитывают четыре группы факторов, влияющих на погрешность измерений:

- метрологические характеристики средств измерений;
- условия измерений (внешние влияющие величины);
- процедуры подготовки и выполнения измерительных операций, алгоритм обработки результатов наблюдений;
- свойства объекта измерений (адекватность измеряемой величины определяемой характеристике объекта, обмен энергией между объектом и средством измерений и т. п.)».

**Комментарий эксперта.** Приведенная классификация несостоятельна из-за неполноты (отсутствует субъект как источник погрешностей), а два последних «фактора» могут являться причинами возникновения методических составляющих погрешности. Классификация погрешностей измерений по источникам возникновения, приведенная в РМГ 29–99, включает погрешности средств измерений, погрешности из-за воздействия влияющих величин, методические составляющие погрешности и субъективные погрешности.

Содержание п. 5.6, который не вполне удачно назван «Оценивание контролепригодности конструкции изделия (измерительной системы)», частично не соответствует его наименованию.

«Под контролепригодностью конструкции изделия (измерительной системы) понимают возможность контроля необходимых параметров в процессе изготовления, испытаний, эксплуатации и ремонта изделий.

При метрологической экспертизе основное внимание уделяют анализу практических возможностей измерительного контроля необходимых параметров, определяющих работоспособность изделия в указанных условиях. Обращают внимание на точность таких измерений, особенно в условиях эксплуатации и ремонта».

**Комментарий эксперта.** Определение контролепригодности тавтологично (контролепригодность – возможность контроля), причем из определения исключены любые объекты, кроме изделий. Если речь идет о контролепригодности параметров, то в число объектов должны быть включены также технологические процессы. Упоминание стадий жизненного цикла объекта неудачно – контроль в процессе эксплуатации не может быть идентичным контролю в процессах изготовления, испытаний и ремонта изделий, поскольку каждый из процессов имеет специфические особенности.

Удовлетворительная точность измерительного контроля является обязательным условием и должна быть обеспечена в любом случае.

«При метрологической экспертизе документации измерительной системы оценивают эффективность устройств и подсистем самоконтроля, в том числе подсистем контроля достоверности измерительной информации, поступающей от датчиков».

**Комментарий эксперта.** Оценка «эффективности устройств и подсистем» выходит за рамки оценки контролепригодности параметров.

В соответствии с п. 5.7 «Оценивание возможности эффективного метрологического обслуживания выбранных средств измерений» в РМГ 63–2003 намечаются работы, которые выходят за рамки метрологической экспертизы исследуемых объектов, хотя они непосредственно относятся к его метрологическому обслуживанию.

О содержании п. 5.8 «Оценивание рациональности выбранных средств измерений и методик выполнения измерений» можно судить по приведенным в документе примерам:

1 Измерения длины детали с заданной погрешностью измерений не более 25 мкм.

Для этих условий могут быть использованы следующие средства измерений:

- гладкий микрометр с отсчетом 0,01 мм при настройке на ноль по установочной мере;

- индикаторная скоба с ценой деления 0,01 мм;
- индикатор часового типа с ценой деления 0,01 мм класса точности 1.

Наиболее простое средство измерений – микрометр. Однако при больших партиях контролируемых деталей применение индикатора предпочтительнее, так как при этом обеспечена меньшая трудоемкость измерений.

2 Измерения абсолютного давления насыщенного пара в конденсаторе турбины.

Для управления турбиной и функционирования АСУТП указанный параметр является одним из наиболее важных.

Измерения этого параметра выполняют с помощью измерительного канала, в котором могут быть применены датчики следующих типов:

- термометр сопротивления (используют функциональную связь абсолютного давления насыщенного пара с температурой);
- датчик избыточного давления (например, типа «Сапфир-22ДИ») и барометр (для периодического ввода значений давления воздуха, окружающего датчик);
- датчик абсолютного давления (например, типа «Сапфир-22ДА»).

Измерения температуры в точке установки термометра сопротивления выполняют с достаточной точностью. Инструментальная погрешность данного измерительного канала меньше инструментальных погрешностей измерительных каналов с датчиками других типов. Однако из-за неравномерности температурного поля в конденсаторе турбины измерения абсолютного давления пара этим способом сопровождаются существенной методической составляющей погрешности.

При измерениях с помощью датчика избыточного давления также имеет место методическая составляющая погрешности из-за неравномерности поля давления в конденсаторе турбины (хотя эта неравномерность значительно меньше неравномерности поля температуры). Кроме того, имеет место методическая составляющая погрешности из-за дискретного ввода значений атмосферного давления воздуха.

При использовании датчика абсолютного давления методические погрешности значительно меньше, точность измерений наибольшая. Затраты на измерения, включая затраты на метрологическое обслуживание средств измерений, с помощью измерительного

канала с датчиком абсолютного давления мало отличаются от затрат при других вариантах измерительных каналов. Поэтому применение датчика абсолютного давления предпочтительно.

**Комментарии эксперта.** 1. Фактически сделана неудачная попытка оценить рациональность методик выполнения измерений, которые в значительной мере (но не полностью) обусловлены выбором средств измерений.

2. Не указано номинальное значение измеряемого параметра, что в значительной степени обесценивает данный пример. Термин «отсчет» нестандартный. Почему микрометр «наиболее простое средство измерений» непонятно.

Из-за некорректной терминологии не описаны различия между методиками выполнения измерений, часть из которых основана на косвенных измерениях, а другие – на прямых измерениях. При анализе погрешностей это имеет принципиальное значение.

Изложение п. 5.9 РМГ 63–2003 «Анализ использования вычислительной техники в измерительных операциях» стилистически не соответствует требованиям к нормативным документам:

«Средства вычислительной техники часто встраивают в измерительные системы (измерительные каналы АСУТП обычно в своем составе содержат те или иные компоненты ЭВМ). В таких случаях в объекты анализа при метрологической экспертизе включают алгоритм вычислений. Часто алгоритм вычислений не в полной мере соответствует функции, связывающей измеряемую величину с результатами прямых измерений (со значениями величины на входе средств измерений). Обычно это несоответствие обусловлено возможностями вычислительной техники и вынужденными упрощениями алгоритма вычислений (линеаризацией функций, их дискретным представлением и т. п.). Задача эксперта – оценить существенность методической составляющей погрешности измерений из-за несовершенства алгоритма».

Полезная информация о необходимости «оценить существенность методической составляющей погрешности измерений из-за несовершенства алгоритма» отличается неполнотой. Если средство измерений имеет собственный процессор («компоненты ЭВМ») или автономный компьютер, то для получения оценки методической составляющей погрешности измерений следует учитывать все элементы некорректной идеализации измерительного преобра-

зования (приближенные расчетные зависимости, принятые аппроксимации, упрощенные алгоритмы вычислений, округление промежуточных результатов и др.).

В п. 5.10 «Контроль метрологических терминов, наименований измеряемых величин и обозначений их единиц» (как и в п. 3.9) стиль изложения не соответствует стилю нормативной документации. Например, в п. 5.10.2 сказано: «Наименования измеряемых величин могут быть самыми различными. Однако в техническую документацию всегда включены сведения, позволяющие судить о величине, измерения которой выполняют с помощью средств измерений, относящихся к определенной поверочной схеме. Это необходимо для объективной оценки выбранных методов и средств измерений, возможности их метрологического обслуживания».

Кроме того, контроль терминов, наименований измеряемых величин и обозначений их единиц является одной из работ, выполняемых при нормоконтроле документации, а не в ходе метрологической экспертизы.

В разделе 6 («Основные виды технических документов, подвергаемых метрологической экспертизе») указаны основные виды технических документов, подвергаемых метрологической экспертизе на соответствующий объект анализа – конкретную задачу метрологической экспертизы. Эти документы в таблице отмечены знаком «+».

Таблица

Объект анализа при метрологической экспертизе	Вид технических документов*								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Рациональность номенклатуры измеряемых параметров		+		+	+	+	+	+	+
Оптимальность требований к точности измерений	+	+		+		+	+		+
Объективность и полнота требований к точности средств измерений	+	+		+	+	+	+		+
Соответствие фактической точности измерений требуемой		+	+	+	+	+	+	+	

Окончание таблицы

Объект анализа при метрологической экспертизе	Вид технических документов*								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Контролепригодность конструкции (системы)		+			+				+
Возможность эффективного метрологического обслуживания средств измерений	+	+		+	+		+		+
Рациональность выбранных методик и средств измерений		+	+	+	+	+	+	+	+
Применение вычислительной техники		+		+		+	+		+
Метрологические термины, наименования измеряемых величин и обозначения их единиц	+	+	+	+	+	+	+	+	+

\* 1 – технические задания (предложения), заявки.

2 – отчеты о научно-исследовательской работе, пояснительные записки к техническим (эскизным) проектам.

3 – протоколы испытаний.

4 – технические условия, стандарты.

5 – эксплуатационные и ремонтные документы.

6 – программы и методики испытаний.

7 – технологические инструкции (регламенты).

8 – технологические карты.

9 – проектные документы.

В документах, устанавливающих порядок проведения метрологической экспертизы на конкретных предприятиях, могут быть указаны другие виды документов.

В технической документации всех видов проверяют правильность метрологических терминов, обозначения единиц величин.

**Комментарии эксперта.** 1. Эта таблица в концентрированном виде содержит такие планируемые виды работ («задачи метрологической экспертизы»), из-за которых документ является в принципе невыполнимым. Например, задача анализа «оптимальности требований к точности измерений» не может быть решена при экспертизе таких объектов, как:

- технические задания (предложения), заявки (информации для этого на данной стадии разработки явно недостаточно);

- стандарты (имеет смысл только для документов, включающих методы испытаний, аппаратного контроля и т. п.);

- «проектные документы» (неоднозначная формулировка, не дающая четкого представления об объекте экспертизы). В документах технического проекта изделия (например, чертеже общего вида) информации для оценки «оптимальности требований к точности измерений» просто нет.

Аналогичным образом и примерно с такими же результатами можно проанализировать и иные задачи экспертизы, внесенные в таблицу.

2. Включенные в перечень в одной позиции «отчеты о научно-исследовательской работе, пояснительные записки к техническим (эскизным) проектам» несовместимы по содержанию. Если научные исследования, включающие измерения физических величин, дают достаточно информации для метрологической экспертизы, то пояснительные записки к проектам могут не содержать методик выполнения измерений, следовательно, исходная информация для экспертизы отсутствует.

Претензии можно предъявить и к остальным «задачам метрологической экспертизы».

В последующих частях того же раздела задачи экспертизы для соответствующих видов технической документации приведены более подробно, с расшифровкой.

#### ***Технические задания (предложения), заявки на разработку***

В технических заданиях (далее – ТЗ) при метрологической экспертизе анализируют исходные данные для решения вопросов метрологического обеспечения в процессе разработки конструкции, технологии, систем управления и других объектов, для которых составлены ТЗ.

При этом учитывают, что, с одной стороны, нерационально приводить в ТЗ развернутые указания и требования к метрологическому обеспечению разрабатываемого объекта. Это может существенно ограничивать разработчика в выборе рациональных методов и средств метрологического обеспечения в процессе разработки.

С другой стороны, в ТЗ должны быть такие исходные данные, которые позволяли бы на ранних стадиях разработки решать вопро-

сы метрологического обеспечения, не откладывая их на конечные стадии, когда не остается времени и средств на существенные метрологические проработки. Следует найти разумный компромисс в этих противоречивых требованиях.

Если в ТЗ указаны номенклатура измеряемых параметров и требования к точности их измерений, то оценивают оптимальность этих требований и возможность их выполнения.

В техническом задании могут быть приведены требования к метрологическому обеспечению разрабатываемого объекта, например, в соответствии с прилож. В (рекомендуемым) СТБ 972-2000, однако из-за слишком общего характера они обычно не являются объектом метрологической экспертизы. В ТЗ редко приводят измеряемые параметры и практически никогда не указывают требования к точности их измерений, так что возможность оценки оптимальности этих требований вызывает сомнения.

Метрологическая экспертиза ТЗ на разработку средств измерений включает в себя оценку целесообразности, обоснованности разработки (в первую очередь, средств измерений ограниченного применения).

При этом оценивают возможность поверки (калибровки) средств измерений методами и средствами поверки. При их отсутствии в ТЗ включают указания о разработке соответствующих методов и средств поверки (калибровки).

Если предполагают использование разрабатываемых средств измерений в сферах, в которых осуществляют государственный метрологический контроль (надзор), то в ТЗ включают указания о необходимости проведения испытаний и утверждения типа средства измерений.

Экспертиза ТЗ на разработку средств измерений (как и других изделий) «включает в себя оценку целесообразности, обоснованности разработки (в первую очередь, средств измерений ограниченного применения)». Это обычная предпроектная работа, отличающаяся необходимостью анализа именно средств измерений. То, что объект анализа – средство измерений, вовсе не означает, что этот анализ следует называть метрологической экспертизой.

В ТЗ на разработку информационно-измерительных систем (далее – ИИС), АСУТП проверяют наличие и полноту требований к погрешности измерительных каналов. Под измерительным каналом

понимают совокупность технических средств, используемых для измерений параметра от точки «отбора» информации о параметре до шкалы, табло, экрана дисплея, диаграммы регистрирующего прибора или распечатки на бланке. При этом задают условия эксплуатации основных компонентов измерительных каналов (датчиков, преобразователей, компонентов устройств связи с объектом, вычислительной техники).

Вместо требований к погрешности измерительных каналов могут быть заданы требования к погрешности измерений. Такое требование предпочтительно при возможности появления методических составляющих погрешности измерений.

В РМГ 29–99 сказано, что измерительным каналом называют измерительную цепь измерительной системы. В свою очередь измерительная цепь – совокупность элементов средств измерений, образующих непрерывный путь прохождения измерительного сигнала одной физической величины от входа до выхода.

При проектировании измерительных каналов можно оперировать только инструментальными погрешностями. Метрологическую экспертизу допустимых погрешностей измерений можно проводить только при наличии конкретного объекта и методики измерений.

Если при разработке конструкции, технологии, систем управления или другого объекта предполагают разработку методик выполнения измерений, то в ТЗ включают указания о необходимости их метрологической аттестации и разработки документа на методику выполнения измерений.

Аналогичный анализ выполняют при метрологической экспертизе технического предложения, а также заявки на разработку средств измерений, ИИС и АСУТП.

Предлагаемый «анализ» не является метрологической экспертизой.

***Отчеты о научно-исследовательской работе, пояснительные записки к техническим (эскизным) проектам, протоколы испытаний***

В отчете о научно-исследовательской работе (далее – НИР) основными объектами анализа при метрологической экспертизе являются измеряемые величины, методики выполнения измерений (включая процедуры обработки результатов измерений), используемые средства измерений, погрешность измерений. В отчетах

о НИР, связанных с разработкой средств измерений, ИИС и АСУТП, кроме перечисленных объектов, анализируют возможность поверки (калибровки) средств измерений и измерительных каналов, эффективность встроенных подсистем контроля работоспособности измерительных каналов и контроля достоверности поступающей от датчиков измерительной информации. При этом оценивают, насколько эффективно используют информационную избыточность, возникающую как результат связей между измеряемыми параметрами и многократными измерениями.

Экспертиза НИР включает только анализ данных, вошедших в отчет. Не имеет смысла анализировать «возможность поверки (калибровки) средств измерений и измерительных каналов», если соответствующие методики не включены в отчет.

Тезис о возникновении информационной избыточности в результате «связей между измеряемыми параметрами и многократными измерениями» смысла не имеет. Если «информационная избыточность» используется, возникают сомнения в избыточности. При многократных измерениях избыток информации может быть связан только с неоправданным увеличением числа наблюдений, которое практически не дает повышения достоверности оценок. Аналогичный анализ выполняют при проведении метрологической экспертизы пояснительных записок к техническим (эскизным) проектам.

В пояснительных записках к техническим (эскизным) проектам может не оказаться объектов для такого анализа.

В протоколах испытаний обычно не излагают методики выполнения измерений и не приводят характеристики погрешности измерений. В таких протоколах дают ссылки на соответствующие документы.

В соответствии с требованиями обеспечения единства измерений, характеристики погрешности измерений являются обязательной составной частью описания результатов измерений. Они могут указываться либо непосредственно, в формах, установленных нормативной документацией по метрологии, либо опосредовано – ссылкой на соответствующий НД или аттестованную (стандартизованную) методику измерений.

***Технические условия. Стандарты***

При метрологической экспертизе технических условий (далее – ТУ) и стандартов решают практически все задачи метрологической

экспертизы, так как в ТУ и многих стандартах излагают метрологические требования, методы и средства метрологического обеспечения. ТУ и стандарты в наибольшей степени связаны с исходными техническими документами. Анализуют следующие разделы: «Технические требования», «Методы контроля и испытаний», а также приложение «Перечень необходимого оборудования, материалов и реактивов» (при его наличии).

В ТУ и стандартах на средства измерений анализируют также методы и средства их контроля при выпуске в обращение из производства, согласованность этих методов и средств с документами на методики поверки по РМГ 51.

Кроме стандартов на конкретные изделия и процессы есть и другие стандарты (включая общетехнические и организационно-методические, в которых отсутствуют методы контроля и испытаний), но они могут содержать объекты метрологической экспертизы.

#### ***Эксплуатационные и ремонтные документы***

В этих документах основные объекты анализа при метрологической экспертизе – точность и трудоемкость методик выполнения измерений и средств измерений, применяемых при контроле и наладке изделий, систем управления, продукции и т. п. Учитывают существенное отличие условий измерений в эксплуатации и при ремонтных операциях от условий, в которых создают продукцию.

Учитывают, что методы и средства измерений, которые обычно указаны в ТУ, не всегда могут быть использованы в условиях эксплуатации и ремонта.

Ранее уже отмечалось, что контроль в процессе эксплуатации не может быть идентичным контролю в процессах изготовления, испытаний и ремонта изделий, поскольку каждый из процессов имеет специфические особенности, однако «существенные отличия условий измерений» состоят только в том, что они могут быть нормальными либо рабочими. Условия измерений определяют нахождением влияющих величин в нормальной или рабочей областях значений.

#### ***Программы и методики испытаний***

При метрологической экспертизе этих документов основное внимание уделяют методикам выполнения измерений (включая

процедуры обработки результатов измерений), средствам измерений и другим техническим средствам, используемым при измерениях, и погрешности измерений. При испытаниях в лабораторных (нормальных) условиях методики и средства измерений аналогичны указанным в ТУ. Если же испытания проводят в эксплуатационных условиях, то методы и средства измерений должны соответствовать этим условиям (в первую очередь, по точности измерений).

Условия измерений принято определять как нормальные или рабочие, вне зависимости от того, где (в лаборатории или на производстве) проводятся измерения. Условия описывают в методиках выполнения измерений, причем не средства измерений должны соответствовать определенным условиям, а условия устанавливают с учетом метрологических характеристик применяемых средств измерений.

Обращают также внимание на возможность появления субъективной составляющей погрешности измерений, вносимой испытателем (оператором), и составляющей погрешности результата испытаний из-за неточности воспроизведения режима (условий) испытаний. Если такие погрешности возможны, то в методике испытаний предусматривают условия, их ограничивающие.

Следует учитывать также и методические составляющие погрешностей.

#### ***Технологические инструкции (регламенты)***

В технологических инструкциях излагают методики измерительного контроля в составе операций регулировки или наладки изделий либо делают ссылки на соответствующие документы. В технологических регламентах обычно указывают параметры, подлежащие измерительному контролю, номинальные значения и границы диапазонов изменений этих параметров (или допускаемые отклонения от номинальных значений), типы, классы точности и пределы измерений применяемых средств измерений. В ряде случаев указывают пределы допускаемых погрешностей измерений.

Основные объекты анализа при метрологической экспертизе указанных документов – рациональность номенклатуры измеряемых параметров, выбранных средств и методик выполнения измерений, оптимальность требований к точности измерений, соответствие фактической точности измерений требуемой (при отсутствии требований к точности измерений – соответствие допускаемым

отклонениям действительных значений измеряемых параметров от номинальных значений).

В методике измерительного контроля должны быть указаны пределы допускаемых погрешностей измерений и соответствие фактической точности измерений требуемой. «Отсутствие требований к точности измерений» в методике следует расценивать как грубейшую ошибку.

### ***Технологические карты различных видов***

В этих документах, как правило, не приводят подробное изложение вопросов метрологического обеспечения. Поэтому объем метрологической экспертизы здесь значительно меньше, чем для других документов, хотя количество технологических карт в производстве велико.

При метрологической экспертизе по таким документам особое внимание надо обращать на минимально необходимое содержание методик измерительного контроля и при необходимости следует не сужать, а расширять «объем метрологической экспертизы».

### ***Проектные документы***

В проектные документы включают практически все основные вопросы метрологического обеспечения. Поэтому метрологическая экспертиза проектных документов включает в себя все перечисленные выше задачи. Объем проектных документов часто значителен, и следует хорошо ориентироваться в разделах (томах) этих документов.

Содержание любой проектной документации действительно может быть исходным материалом для метрологической экспертизы, поэтому в соответствии с целью экспертизы и содержанием материалов следует определять все задачи экспертизы, которые могут быть поставлены и решены на этом этапе.

В ряде отраслей вопросы метрологического обеспечения излагают в специальном разделе проекта, что, по мнению некоторых метрологов, облегчает проведение метрологической экспертизы. Однако при таком варианте проекта возможны определенные трудности при метрологической экспертизе, так как изложение метрологических вопросов не увязано с объектами метрологического обеспечения.

Вопросы метрологического обеспечения излагают только в проектах средств измерений, в проекты технологического оборудования, в лучшем случае, включают описание методов контроля и испытаний.

При метрологической экспертизе проектных документов АСУТП обращают внимание на наличие и оптимальность требований к точности измерений или измерительных каналов, на объективность оценок точности и их соответствие требованиям, на рациональность подсистемы контроля работоспособности измерительных каналов и контроля достоверности поступающей от датчиков измерительной информации, на использование информационной избыточности в целях повышения надежности и точности информационной подсистемы АСУТП.

### ***Порядок оформления и реализации результатов метрологической экспертизы***

Анализ показывает, что в разделе практически отсутствуют требования к оформлению результатов.

Наиболее простой формой фиксации результатов метрологической экспертизы являются замечания эксперта в виде пометок на полях документа. После учета разработчиком таких замечаний эксперт визирует оригиналы или подлинники документов.

Другая типичная форма – экспертное заключение. Его составляют в следующих характерных случаях при оформлении результатов метрологической экспертизы:

- технической документации, поступившей от других организаций;
- комплектов документов большого объема, а также при метрологической экспертизе, которую проводила специально назначенная комиссия, после которой необходимо внести изменения в действующую техническую документацию или разработать мероприятия по повышению эффективности метрологического обеспечения.

Экспертное заключение утверждает технический руководитель или главный метролог предприятия.

Результаты метрологической экспертизы могут быть изложены в списках (журналах) замечаний.

Ответственность за качество технической документации возлагают на разработчика, который принимает решения по замечаниям эксперта. В случаях существенных разногласий между экспертом и разработчиком окончательное решение принимает технический руководитель предприятия.

Эксперт несет ответственность только за правильность сделанных замечаний и предложений.

Замечания экспертов, которые приняты разработчиком технической документации, служат одной из предпосылок совершенствования метрологического обеспечения. Существенные замечания требуют разработки и реализации определенных мероприятий. В этих случаях разработчик совместно с экспертами-метрологами разрабатывает план мероприятий.

Замечания, связанные с неконтролепригодностью параметров, подлежат немедленному реагированию (устранению дефектов). Замечания, направленные на совершенствование объекта и оптимизацию норм точности, подлежат обсуждению с разработчиком, и реакция зависит от его позиции.

Экспертам-метрологам целесообразно систематически (ежегодно или чаще) обобщать результаты метрологической экспертизы, выявляя характерные ошибки и недостатки в технической документации и намечая меры по их предотвращению. Среди таких мер могут быть предложения, касающиеся обучения разработчиков основам метрологического обеспечения, корректировки или разработки нормативных и методических документов, используемых разработчиками. Могут быть предложены меры и по совершенствованию самой процедуры метрологической экспертизы.

Целесообразно также оценивать экономический эффект от проведения метрологической экспертизы.

**Комментарий эксперта.** В заключение по представленным результатам стандартизационной и метрологической экспертизы РМГ 63–2003 можно дать следующую краткую характеристику этого документа:

- по структуре и по составу экспертируемый материал не совсем соответствует требованиям к нормативной документации;
- фактически отсутствуют корректно определенные цели и задачи экспертизы;
- выполнение внесенных в документ требований часто затруднительно, а иногда невозможно;
- разработка стандарта организации, регламентирующего метрологическую экспертизу, в полном соответствии с данным нормативным документом невозможна, но наличие такого документа необходимо любому субъекту хозяйствования, который осуществляет метрологическую экспертизу.

## 12 ПРОЕКТ СТАНДАРТА ОРГАНИЗАЦИИ НА МЕТРОЛОГИЧЕСКУЮ ЭКСПЕРТИЗУ

ПРЕДПРИЯТИЕ «XXXXXXXXXXXX»

УТВЕРЖДАЮ  
Главный инженер  
\_\_\_\_\_ Х.Х. Хxxxxxxxx  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 20XX г.

Система менеджмента качества

Стандарт организации

МЕТРОЛОГИЧЕСКАЯ ЭКСПЕРТИЗА ТЕХНИЧЕСКОГО  
ЗАДАНИЯ, КОНСТРУКТОРСКОЙ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ  
ДОКУМЕНТАЦИИ

Организация и порядок проведения

СТП XXX-20XX

---

**Ключевые слова:** документация конструкторская, документация технологическая, задание техническое, заключение экспертное, контролепригодность параметра, контроль метрологический, экспертиза метрологическая

---

1 РАЗРАБОТАН:

2 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ  
распоряжением от \_\_\_\_\_ №\_\_

3 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

---

## Содержание

1 Назначение и область применения .....	
2 Нормативные ссылки .....	
3 Термины и определения .....	
4 Ответственность .....	
5 Права и обязанности экспертов .....	
6 Организация метрологической экспертизы на предприятии....	
7 Порядок проведения метрологической экспертизы.....	
8 Оформление результатов экспертизы и их использование .....	
9 Совмещенный метрологический контроль и нормоконтроль....	
Приложение А. Экспертное заключение.....	
Приложение Б. Формы таблиц для представления	
промежуточных результатов экспертизы .....	

### 1 Назначение и область применения

Настоящий стандарт устанавливает порядок проведения метрологической экспертизы (МЭ) объектов (изделий, процессов), представленных технической документацией в виде технических заданий (ТЗ), конструкторской документации (КД), технологической документации (ТД).

Стандарт разработан в развитие РМГ 63–2003 и является обязательным для применения на предприятии при проведении метрологической экспертизы и метрологического контроля объектов.

### 2 Нормативные ссылки

ГОСТ 8.009 «Государственная система обеспечения единства измерений. Нормируемые метрологические характеристики средств измерений».

ГОСТ 8.417 «Государственная система обеспечения единства измерений. Единицы величин».

РМГ 29–99 «Государственная система обеспечения единства измерений. Метрология. Основные термины и определения».

РМГ 63–2003 «Государственная система обеспечения единства измерений. Обеспечение эффективности измерений при управлении технологическими процессами. Метрологическая экспертиза технической документации».

### 3 Термины и определения

Контролепригодность параметра – инструментальная доступность параметра и возможность обеспечения требуемой точности его контроля.

Метрологическая экспертиза (МЭ) – анализ и оценивание экспертами-метрологами правильности применения метрологических

требований, правил и норм, в первую очередь связанных с единством и точностью измерений.

Примечание – Различают метрологическую экспертизу документации (технических заданий, проектов конструкторских и технологических документов, различных программ) и метрологическую экспертизу объектов (например, макетов сложных средств измерений, испытательных бассейнов) (РМГ 29–99).

Метрологический контроль объекта – проверка контролепригодности параметров объекта (изделия, процесса).

### 4 Ответственность

Ответственным за проведение МЭ на предприятии является руководитель отдела xxxxxxxx.

Ответственным за правильность и объективность замечаний и предложений по результатам метрологической экспертизы являются лица, подписавшие экспертное заключение.

### 5 Права и обязанности экспертов

5.1 Эксперт имеет право не принимать на метрологическую экспертизу некомплектную документацию.

5.2 Эксперт имеет право требовать от разработчика необходимых пояснений, представления дополнительных источников информации, включая техническую документацию, справочную и научно-техническую литературу, использованную разработчиком.

5.3 Эксперт имеет право вносить предложения по разработке специальных методик выполнения измерений и (или) нестандартных средств измерений, направленные на обеспечение контролепригодности экспертируемого объекта.

5.4 Эксперт имеет право вносить предложения, направленные на усовершенствование объекта. В случаях разногласий между экспертом и разработчиком эксперт имеет право защищать свою позицию перед техническим руководителем предприятия.

5.5 Эксперт имеет право вносить предложения по разработке и реализации мероприятий, направленных на совершенствование метрологического обеспечения.

5.6 Эксперт обязан внести в заключение по результатам экспертизы перечень всех выявленных им ошибок и других недостатков.

5.7 Эксперт не имеет права визировать документ до исправления всех выявленных им ошибок.

5.8 Эксперт несет ответственность за правильность и объективность заключений по результатам метрологической экспертизы.

Эксперт не отвечает за качество объекта экспертизы, т. к. за это несет ответственность разработчик (конструктор, технолог, исследователь).

#### **6 Организация метрологической экспертизы на предприятии**

6.1 Планирование метрологической экспертизы осуществляет отдел ххххххх. Планирование метрологической экспертизы может фиксироваться:

- как этапы в планах разработки, постановки на производство, технологической подготовки и подобных планах;
- самостоятельный план метрологической экспертизы либо соответствующий раздел в плане работ по метрологическому обеспечению.

Самостоятельный план метрологической экспертизы утверждает технический руководитель (главный инженер) предприятия.

При необходимости технический руководитель предприятия назначает проведение внеплановой метрологической экспертизы. Причинами внеплановой метрологической экспертизы могут быть:

- поломка изделия или авария при реализации процесса;
- несоответствие параметров объекта (изделия, процесса) требованиям технического задания;
- требования заказчика.

#### **6.2 Формы организации метрологической экспертизы.**

Метрологическую экспертизу могут проводить:

- эксперты-метрологи метрологической службы предприятия;
- специально создаваемая комиссия либо группа специалистов с обязательным участием экспертов-метрологов;
- сторонние специалисты, привлекаемые к проведению метрологической экспертизы по договору.

6.3 Номенклатура продукции (объектов), которая должна подвергаться метрологической экспертизе:

- технические задания на разработку всех видов изделий и процессов;
- изделия, представленные конструкторской документацией (чертежами общего вида, сборочными чертежами и чертежами деталей);
- процессы измерений и измерительного контроля, представленные всеми видами технологической и конструкторской документации, включая процессы операционного контроля, методики контроля и испытаний при приемке изделий и др.

6.4 Сроки проведения и особенности организации метрологической экспертизы.

Метрологическую экспертизу технического задания эксперты-метрологи метрологической службы предприятия осуществляют после окончания его разработки.

Конструкторскую документацию изделий представляют на метрологическую экспертизу в метрологическую службу предприятия после завершения проектирования. Возможна также экспертиза на отдельных этапах проектирования, которую проводят эксперты-метрологи службы-разработчика.

Метрологическую экспертизу процессов (операций) измерений и измерительного контроля осуществляют эксперты-метрологи метрологической службы предприятия после окончания разработки документации.

В конфликтных ситуациях для метрологической экспертизы создают специальную экспертную комиссию, в которую включают специалистов метрологической службы предприятия и службы-разработчика.

Для проведения особо сложной метрологической экспертизы могут привлекаться высококвалифицированные сторонние специалисты.

6.5 Метрологическую экспертизу можно проводить на всех стадиях разработки документации изделий и процессов. Документация на метрологическую экспертизу представляется комплектно (вся документация, разработанная на соответствующем этапе).

6.6 Метрологическая экспертиза включает в себя метрологический контроль.

6.7 Обнаруженные при экспертизе ошибки подлежат устранению. Решения о внесении в документ изменений в соответствии с предложениями эксперта принимает разработчик. В случаях существенных разногласий между экспертом и разработчиком окончательное решение принимает технический руководитель предприятия.

6.8 Экспертное заключение утверждается руководителем отдела ххххххх. В случаях, когда к устранению разногласий привлекается технический руководитель предприятия, он может утвердить соответствующее экспертное заключение.

#### **7 Порядок проведения метрологической экспертизы**

7.1 Общие требования к метрологической экспертизе:

7.1.1 Метрологическая экспертиза включает проверку контролепригодности всех параметров, для которых установлены нормы точности.

7.1.2 При установлении неконтролепригодности параметров эксперт может предложить:

- проверить обоснованность норм точности, установленных на эти параметры;
- начать разработку нестандартизованных средств измерений и (или) специальных методик выполнения измерений, обеспечивающих контролепригодность параметров.

Средства измерений и методики выполнения измерений должны быть аттестованы к соответствующему этапу производства.

7.1.3 Эксперт должен оценить возможность аттестации, поверки (калибровки) подлежащих разработке нестандартизованных средств измерений имеющимися методами и средствами. При отсутствии такой возможности эксперт обязан предложить начать разработку соответствующих методов и средств поверки (калибровки).

7.1.4. При установлении неконтролепригодности параметров эксперт фиксирует это в заключении с указанием причин.

7.2. Метрологическая экспертиза технического задания (ТЗ):

7.2.1. При метрологической экспертизе ТЗ анализируют исходные данные для решения вопросов метрологического обеспечения объекта в процессе его разработки, изготовления (реализации), эксплуатации (применения, потребления).

7.2.2. Экспертиза устанавливает контролепригодность всех параметров, для которых в ТЗ заданы нормы точности. При оценке контролепригодности следует ориентироваться на средства измерений и методики выполнения измерений, применяемые для ранее выпускавшихся аналогичных изделий.

7.2.3 Если в ТЗ указаны требования к точности измерительного контроля параметров, то экспертиза должна оценить обоснованность этих требований.

7.3. Метрологическая экспертиза объектов, представленных конструкторской документацией (КД):

7.3.1. При метрологической экспертизе изделия, проводимой по КД, анализируют исходные данные для решения вопросов метрологического обеспечения объекта в процессе его изготовления, эксплуатации (применения).

7.3.2 Проверка контролепригодности конструкции включает анализ правильности выбора конструкторских баз при назначении норм точности, связанных с выбранными базами, и возможности их использования в качестве измерительных баз.

7.3.3 Если неконтролепригодность вызвана несогласованностью взаимосвязанных допусков размеров, формы, расположения поверхностей и высотных параметров шероховатости поверхностей (как рассматриваемых, так и базовых), эксперт может предложить вариант согласования взаимосвязанных норм точности.

7.3.4 Если неконтролепригодность вызвана отсутствием соответствующих средств измерений и (или) методики выполнения измерений, эксперт может предложить принципиальную структуру специальных методик выполнения измерений и (или) нестандартизованных средств измерений.

7.3.5 При метрологической экспертизе по текстовой конструкторской документации (пояснительные записки к техническому или эскизному проекту, расчеты и др.) объектами экспертизы могут быть методики измерительного контроля, измерений, в том числе в составе операций регулировки или наладки изделий, включая описание обработки результатов измерений.

7.3.6 Если в состав конструкторской документации включены программы и методики испытаний изделия или его составных частей, основными объектами экспертизы в них будут методики измерений (включая обработку результатов измерений).

7.3.7 Если методики измерений представлены ссылками на соответствующие нормативные документы, то характеристики погрешности измерений не приводятся и методики измерений не экспертируются.

7.3.8 Если в состав конструкторской документации включены эксплуатационные и ремонтные документы, основными объектами экспертизы в них будут все нормируемые параметры и методики их измерений (измерительного контроля). В этом случае необходимо учитывать отличия условий измерений в эксплуатации и при ремонтных операциях от условий производства продукции.

7.4 Метрологическая экспертиза объектов, представленных технологической документацией (ТД): технологическими инструкциями, регламентами, технологическими картами и др.:

7.4.1 При метрологической экспертизе объектов, представленных ТД, анализируют исходные данные для решения вопросов метрологического обеспечения в процессе изготовления объекта. Базой для экспертной работы на этом этапе являются результаты метрологической экспертизы ТЗ и КД.

7.4.2 В технологических документах основными объектами метрологической экспертизы могут быть методики измерений и измерительного контроля, в том числе в составе операций регулировки или наладки технологического процесса или изделий.

7.4.3 Основные задачи метрологической экспертизы операций (процессов) измерительного контроля, включенных в ТД, – установление соответствия требуемой и фактической точности измерений.

7.4.4 В ходе экспертизы методик измерительного контроля, представленных в технологической документации, необходимо проверить:

- правильность указания параметров, подвергаемых измерительному контролю;
- наличие нормированных диапазонов изменений этих параметров (или номинальных значений и допускаемых отклонений);
- наличие характеристик погрешностей измерений (допустимое и реализуемое значения);
- наличие наименований и обозначений применяемых средств измерений и вспомогательных средств (типов, классов точности и т. д.);
- наличие основных метрологических характеристик средств измерений (пределов измерений, пределов показаний, цены деления и др.).

## **8 Оформление результатов метрологической экспертизы и их использование**

8.1 Результаты метрологической экспертизы могут быть оформлены в виде:

- замечаний (пометок) эксперта на полях документа;
- экспертного заключения.

8.2 Экспертное заключение по результатам метрологической экспертизы может составляться в следующих случаях:

- при необходимости отразить большое число замечаний и предложений;
- при проведении экспертизы группой экспертов-метрологов;
- при проведении экспертизы специально назначенной комиссией, включающей экспертов-метрологов и представителей разработчика;
- при проведении метрологической экспертизы сложных объектов.

8.3 Форма экспертного заключения представлена в прилож. А (справочном). Если ошибки разработчика не обнаружены и предложения по совершенствованию объекта у эксперта отсутствуют, можно не включать в экспертное заключение таблицы 1 и 2.

Промежуточные результаты метрологической экспертизы параметров деталей и элементов технологических процессов могут оформляться в виде таблиц формы которых представлены в прилож. Б (справочном).

8.4 Если результаты экспертизы оформлены в виде замечаний (пометок) на полях документа, то после внесения в документ необходимых изменений эксперт снимает пометки и визирует оригиналы или подлинники документов на поле для подшивки.

8.5 Если результаты экспертизы оформляются в виде экспертного заключения, то эксперт также визирует оригиналы или подлинники документов после внесения в документ необходимых изменений. Внесение изменений в документ фиксируется в экспертном заключении и подтверждается подписью эксперта. Утверждающая подпись на экспертном заключении ставится после его окончательного оформления.

8.6 Виза эксперта-метролога должна включать наименование работы (например, «Метрологическая экспертиза» или «МЭ»), «Метрологический контроль» или «МК»), подпись эксперта с расшифровкой и дату визирования.

8.7 Экспертные заключения хранятся в отделе метрологического обеспечения. Работники отдела обязаны обобщать результаты метрологической экспертизы, выявляя характерные ошибки и недостатки в документации. Руководитель отдела имеет право разрабатывать и предлагать мероприятия, направленные на предотвращение типовых ошибок, обнаруженных в ходе проведения метрологической экспертизы.

8.6 Отдел метрологического обеспечения осуществляет учет документации, прошедшей метрологическую экспертизу.

## **9 Совмещенный метрологический контроль и нормоконтроль**

9.1 Совмещенный метрологический контроль и нормоконтроль включают проверку контролепригодности параметров объекта и проверку технической документации на соответствие требованиям действующих нормативных документов по стандартизации, в том числе конкретным метрологическим требованиям.

9.2 При нормоконтроле особое внимание следует уделять проверке соответствия наименований и обозначений указанных в технической документации единиц физических величин требованиям

ГОСТ 8.417, проверке соответствия использованных метрологических терминов РМГ 29–99, проверке соответствия метрологических характеристик ГОСТ 8.009 и др.

9.3 Совмещенный метрологический контроль и нормоконтроль могут осуществляться силами специально подготовленных в области метрологии нормоконтролеров.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Метрологическая экспертиза технической документации / Ю. Н. Яковлев, Н. Г. Глушкова, Н. Я. Медовикова [и др.]. – М. : Издательство стандартов, 1992. – 184 с.
2. Григорьева, Л. И. Нормоконтроль. Методика и организация / Л. И. Григорьева, М. В. Богданов, И. К. Демидов. – М. : Издательство стандартов, 1991. – 190 с.
3. Балабанов, А. Н. Контроль технической документации / А. Н. Балабанов. – М. : Издательство стандартов, 1992. – 311 с.
4. Кохановский, В. Д. Конструкторский контроль чертежей / В. Д. Кохановский, Ю. Н. Дзюман-Грек. – М. : Машиностроение, 1988. – 102 с.
5. Артемьев, Б. Г. Справочное пособие для работников метрологических служб / Б. Г. Артемьев, С. М. Голубев. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Издательство стандартов, 1990. – 428 с.
6. Рейх, Н. Н. Метрологическое обеспечение производства / Н. Н. Рейх, А. А. Тупиченков, В. Г. Цейтлин ; под ред. Л. К. Исаева. – М. : Издательство стандартов, 1987. – 248 с.
7. Цитович, Б. В. Метрологическая экспертиза и нормоконтроль. Курсовое проектирование : учеб.-метод. пособие / Б. В. Цитович. – Минск : БНТУ, 2008. – 110 с.
8. Соломахо, В. Л. Нормирование точности и технические измерения : учеб. пособие / В. Л. Соломахо, Б. В. Цитович, С. С. Соколовский. – Минск : Издательство Гревцова, 2011. – 360 с.
9. Дунаев, П. Ф. Допуски и посадки. Обоснование выбора : учеб. пособие для студентов машиностроительных вузов / П. Ф. Дунаев, О. П. Леликов, Л. П. Варламова. – М. : Высшая школа, 1984. – 112 с.
10. ГОСТ 16504 «Система государственных испытаний продукции. Испытания и контроль качества продукции. Основные термины и определения».
11. ГОСТ 2.111–68 «ЕСКД. Нормоконтроль».
12. ГОСТ 3.1116–2011 «ЕСТД. Нормоконтроль».
13. СТБ 2090–2010 «Система проектной документации для строительства. Нормоконтроль проектной документации».
14. РМГ 63–2003 «Рекомендации по межгосударственной стандартизации. Государственная система обеспечения единства измерений. Обеспечение эффективности измерений при управлении

технологическими процессами. Метрологическая экспертиза технической документации».

16. РД 50-98–86 «Методические указания. Выбор универсальных средств измерений линейных размеров до 500 мм».

17. ГОСТ 8.009–84 «Государственная система обеспечения единства измерений. Нормируемые метрологические характеристики средств измерений».

19. ТР 2007/003/ВУ Технический регламент Республики Беларусь «Единицы измерений, допущенные к применению на территории Республики Беларусь».

20. РМГ 43–2001 «Применение “Руководства по выражению неопределенности измерений”».

21. ГОСТ 8.010–99 «Государственная система обеспечения единства измерений. Методики выполнения измерений».

22. ТКП 1.5–2004 «Правила построения, изложения, оформления и содержания технических кодексов установившейся практики и государственных стандартов».

23. МИ 1317–2004 «Государственная система обеспечения единства измерений. Результаты и характеристики погрешности измерений. Формы представления. Способы использования при испытаниях образцов продукции и контроле их параметров».

24. РМГ 51–2002 «Государственная система обеспечения единства измерений. Документы на методики поверки средств измерений. Основные положения».

25. РМГ 29–99 «Государственная система обеспечения единства измерений. Метрология. Основные термины и определения».

ДЛЯ ЗАМЕТОК

*Учебное издание*

**Цитович** Борис Васильевич,  
**Воробьев** Николай Александрович, **Капица** Марина Сергеевна

МЕТРОЛОГИЧЕСКАЯ ЭКСПЕРТИЗА И НОРМОКОНТРОЛЬ

Учебно-методическое пособие

Ответственный за выпуск *Н. А. Воробьев*  
Редактор *Т. В. Каркоцкая*  
Корректор *Т. В. Каркоцкая*  
Компьютерная верстка *Т. В. Каркоцкой*

Подписано в печать 09.07.2015 г. Формат 60×84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>.  
Бумага офсетная. Ризография.  
Усл. печ. л. 19,76. Уч.-изд. л. 15,45. Тираж 90 экз. Заказ 51.

Издатель и полиграфическое исполнение:  
Учреждение образования  
«Белорусский государственный аграрный технический университет».

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,  
распространителя печатных изданий  
№ 1/359 от 09.06.2014.  
№ 2/151 от 11.06.2014.  
Пр-т Независимости, 99–2, 220023, Минск.