

К. П. ЛАТЫШЕНКО

# АВТОМАТИЗАЦИЯ ИЗМЕРЕНИЙ, КОНТРОЛЯ И ИСПЫТАНИЙ

Учебник

*Допущено*

*Учебно-методическим объединением вузов  
по университетскому политехническому образованию  
в качестве учебника для студентов высших  
специальных учебных заведений,  
обучающихся по направлению  
«Стандартизация и метрология»*



Москва  
Издательский центр «Академия»  
2012

УДК 621.022.3:669.2(075.8)  
ББК 34.5-7я73  
Л278

Рецензенты:

д-р техн. наук, профессор кафедры АПП Новомосковского института РХТУ  
им. Д. И. Менделеева *Ю. И. Беляев*;  
д-р. техн. наук, профессор, зам ген. директора НПО «Химавтоматика» *А. А. Попов*

**Латышенко К. П.**

Л278

Автоматизация измерений, контроля и испытаний : учебник для студ. учреждений высш. проф. образования. — М. : Издательский центр «Академия», 2012. — 320 с. [8] л. цв. ил. — (Сер. Бакалавриат).

ISBN 978-5-7695-6977-7

Учебник создан в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом по направлению подготовки «Стандартизация и метрология» (квалификация «бакалавр»).

Рассмотрены виды измерений, испытаний и контроля, агрегатные средства автоматических систем, алгоритмическое и программное обеспечение таких систем, их метрологические характеристики, микропроцессоры, каналы связи. Приведены примеры систем измерений, испытаний и контроля.

Для студентов учреждений высшего профессионального образования.

УДК 621.022.3:669.2(075.8)  
ББК 34.5-7я73

*Оригинал-макет данного издания является собственностью  
Издательского центра «Академия», и его воспроизведение  
любым способом без согласия правообладателя запрещается*

© Латышенко К. П., 2012  
© Образовательно-издательский центр «Академия», 2012  
© Оформление. Издательский центр «Академия», 2012  
ISBN 978-5-7695-6977-7

Испытания проводят практически на всех этапах жизненного цикла объекта — начиная с научно-исследовательской разработки и заканчивая эксплуатацией. Они должны обеспечить получение объективной оценки результатов научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (НИОКР), качества изготовления, надежности, ремонтпригодности, эксплуатационных свойств готовой продукции.

Проведение испытаний готовой продукции требует значительных затрат как времени, так и средств, причем трудоемкость испытаний, несмотря на имеющиеся достижения в области создания автоматизированного испытательного оборудования, постоянно растет.

Важнейшее условие проведения испытаний — их единство, под которым понимают воспроизводимость в пределах установленных в нормативно-технической документации (НТД) допусков результатов испытаний, проведенных разработчиком, изготовителем, поставщиком и потребителем продукции. В систему обеспечения единства испытаний входят: средства измерений и испытательное оборудование, метрологическая служба и служба испытаний, стандарты, регламентирующие требования к методам и средствам испытаний.

Развитие технологии производства, усложнение научных исследований привело к необходимости одновременного измерения, контроля и анализа нескольких десятков, сотен и тысяч параметров одновременно. Поэтому все более возрастающие требования предъявляются к качеству подготовки технических кадров специалистов, что, в свою очередь, связано с проблемой повышения эффективности обучения студентов в высшей школе.

Учебник состоит из семи глав.

В *главе 1*, посвященной испытанию продукции, даны понятия о продукции и ее качестве, измерении и испытании, контроле качества продукции, средствах измерений.

В *главе 2* изложены сведения об измерительном канале системы контроля: агрегатных средствах автоматических систем измерений и контроля, пробоотборе и пробоподготовке, аналого-цифровых (АЦП) и цифроаналоговых преобразователях (ЦАП), различных интерфейсах.

В *главе 3* рассмотрены алгоритмическое и программное обеспечение автоматических систем измерений, испытаний и контроля, мате-

матические модели объекта испытаний, планирование эксперимента, обработка данных испытаний и методы оптимизации.

В *главе 4* описаны метрологическое обеспечение измерений и испытаний, метрологические характеристики средств измерений (СИ) и измерительных систем (ИС), экспериментальное определение и контроль характеристик погрешности измерительных систем, приведены различные оценки эффективности систем контроля.

В *главе 5* рассмотрены методы и приборы анализа жидких сред, автоматические микропроцессорные приборы, которые представлены рядом анализаторов и концентратометров, применяемых в химической, нефте- и газохимической промышленности, медицине, биотехнологии и пр.: кондуктометры, вискозиметры и плотнометры.

В *главе 6* дано понятие об измерительной системе, приведены виды ИС, описаны этапы проектирования и внедрения систем, а также микропроцессоры в системах контроля и каналах связи.

В *главе 7* описаны автоматические системы измерений, испытаний и контроля, реализованные в машиностроении, нефтегазовой промышленности и энергетике, городском хозяйстве, для экологического мониторинга и аналитического контроля, а также для спутникового дистанционного зондирования Земли.

Учебник предназначен для студентов, магистрантов, изучающих дисциплину «Автоматизация измерений контроля и испытаний» по специальности 200503 «Автоматизированный экологический мониторинг», «Системы экологического мониторинга», «Системы мониторинга городского хозяйства», «Автоматизация аналитического контроля», «Информационные измерительные системы», «Автоматизация объектов городского хозяйства».

Учебник составлен в соответствии с программами соответствующих дисциплин, в нем использован многолетний опыт преподавания на кафедре «Мониторинг и автоматизированные системы контроля» (МАСК) МГУИЭ. Автор полагает, что студенты изучили такие дисциплины, как «Промышленная электроника», «Информатика», «Метрология», «Технические измерения и приборы», «Методы и средства измерений» и «Теория автоматического управления», поэтому ряд вопросов, нашедших детальное отражение в указанных ранее курсах, не освещены в настоящем учебнике.

## СПИСОК ОСНОВНЫХ СОКРАЩЕНИЙ

---

АИИС	—	автоматизированная информационно-измерительная система
АИМ	—	амплитудно-импульсная модуляция
АЛУ	—	арифметико-логическое устройство
АМ	—	амплитудная модуляция
АСАТ	—	агрегатное средство аналитической техники
АСИ	—	автоматизированная система испытаний
АСКУЭ	—	автоматизированная система контроля и учета энергии
АСНИ	—	автоматизированная система научных исследований
АСНИ КР	—	автоматизированная система научных исследований каталитического реактора
АСУД	—	автоматизированная система управления двигателем
АСУТ	—	автоматизированная система управления технологическими системами
АСУТП	—	автоматизированная система управления технологическим процессом
АСУТЭ	—	автоматизированная система учета тепловой энергии
БИС	—	большая интегральная схема
ВП	—	вторичный прибор
ВЧ	—	высокая частота
ГЛОНАСС	—	глобальная навигационная спутниковая система
ГСИ	—	государственная система обеспечения единства измерений
ГСО	—	государственный стандартный образец
ГСП	—	государственная система приборов и средств автоматизации
ГСС	—	государственная система стандартизации
ДИКМ	—	дифференциальная импульсно-кодовая модуляция
ЗУ	—	запоминающее устройство
ИВК	—	измерительно-вычислительный комплекс
ИИС	—	измерительная информационная система
ИК	—	инфракрасный
ИКМ	—	импульсно-кодовая модуляция
ИП	—	измерительный преобразователь

ИС	—	измерительная система
ИСМ	—	импульсно-счетная модуляция
МВИ	—	методика выполнения измерений
НИОКР	—	научно-исследовательская и опытно-конструкторская работа
НИР	—	научно-исследовательская работа
НКПР	—	нижний концентрационный предел распространения
НТД	—	нормативно-техническая документация
НЧ	—	низкая частота
ОЗУ	—	оперативное запоминающее устройство
ОКР	—	опытно-конструкторская работа
ОТК	—	отдел технического контроля
ОУ	—	операционный усилитель
ПДК	—	предельно допустимая концентрация
ПЗУ	—	постоянное запоминающее устройство
ПИП	—	первичный измерительный преобразователь
ПЛЭК	—	передвижные лаборатории экологического контроля
ПО	—	программное обеспечение
РДП	—	районный диспетчерский пункт
САК	—	система автоматического контроля
САПР	—	система автоматизированного проектирования
СИ	—	средство измерений
СК	—	специализированный контроллер
СКО	—	среднеквадратическое отклонение
СО	—	стандартный образец
СРО	—	система распознавания образов
СТД	—	система технической диагностики
ТЗ	—	техническое задание
ТУ	—	техническое условие
ТЭС	—	терминал экспериментального стенда
УУ	—	устройство управления
УЭП	—	удельная электрическая проводимость
ФИМ	—	фазоимпульсная модуляция
ФМ	—	фазовая модуляция
ФНЧ	—	фильтр низких частот
ХАК	—	химико-аналитический комплекс
ЦАП	—	цифроаналоговый преобразователь
ЦДП	—	центральный диспетчерский пункт
ЧМ	—	частотная модуляция
ЧМИ	—	человекомашинный интерфейс
ШИМ	—	широотно-импульсная модуляция

### 1.1. Продукция и ее качество

Повышение эффективности производства, качества и конкурентоспособности продукции возможно при наличии многих условий, в том числе при обеспечении единства измерений и метрологическом обеспечении всего хозяйственного комплекса.

Научно-технический прогресс (от лат. *progressus* — движение вперед, успех) предъявляет к промышленной продукции высокие требования, в том числе к таким ее свойствам:

- широта функциональных возможностей;
- надежность;
- уровень унификации, агрегатирования, использования современной элементной базы и вычислительной техники;
- уровень автоматизации выполняемых изделием функций за счет использования микропроцессорной техники;
- возможность сопряжения с ЭВМ;
- экономичность и удобство в работе.

Актуальной является задача создания промышленных изделий, конкурентоспособных на внутреннем и мировом рынках. Повышение конкурентоспособности (от позднелат. *concurentia*, от лат. *concurro* — сбегаюсь, сталкиваюсь) отечественной продукции требует решения ряда технических, экономических и организационных вопросов.

**Продукция** — результат труда, полученный в определенном месте за определенное время и предназначенный для использования потребителями в целях удовлетворения их материальных или духовных потребностей. ГОСТ Р ИСО 9000—2008 определяет продукцию как результат процесса, т. е. результат совокупности взаимосвязанных или взаимодействующих видов деятельности, преобразующих входы в выходы.

Различают четыре общие категории продукции:

- услуги (перевозки);

– программные средства (компьютерная программа, словарь). Программное средство содержит информацию и обычно является нематериальным;

– технические средства (узел двигателя). Техническое средство, как правило, является материальным;

– перерабатываемые материалы (смазка). Перерабатываемые материалы обычно являются материальными, и их количество выражается непрерывной характеристикой.

Технические средства и перерабатываемые материалы часто называют *товарами*.

Многие виды продукции содержат элементы, относящиеся к различным общим категориям продукции. Отнесение продукции к услугам, программным, техническим средствам или перерабатываемым материалам зависит от преобладающего элемента.

*Единица (объект) продукции* — это то, что можно рассмотреть и описать индивидуально. Единицей продукции может быть изделие, определенное количество материала, услуга, действие или процесс, организация или человек, некоторая их комбинация.

Результаты труда бывают овеществленные (сырье, материалы, пищевые, химические и другие продукты, технические устройства, их части и т. д.) и неовеществленные (энергия, информация, некоторые виды услуг и т. д.).

В соответствии с ГОСТ Р 50777—2000 промышленную продукцию разделяют на изделия и продукт. *Изделия* — промышленная продукция, количество которой может быть охарактеризовано дискретной величиной, исчисляемой в штуках или экземплярах. Промышленную нештучную продукцию, а также штучную сельскохозяйственную продукцию относят к *продуктам* (не изделиям). Так, металлические шары для шарикоподшипников — это изделия, а арбузы — это продукт; генераторы электроэнергии — изделия, а генерируемая ими энергия — продукт.

**Качество** (от гр. *χη* характер — отличительная черта, признак) — философская категория, выражающая существенную определенность объекта, благодаря которой один предмет или явление отличается от других. Качество — объективная и всеобщая характеристика объектов, обнаруживающаяся в совокупности их свойств.

Любой продукции присущи объективные свойства, особенности, проявляющиеся при ее создании, эксплуатации или потреблении. Совокупность свойств продукции, определяющих ее пригодность удовлетворять определенные потребности в соответствии с ее назначением, называют **качеством продукции** (ГОСТ 15467—79). Международная организация по стандартизации определяет качество (стандарт ИСО 9000:2000, ГОСТ Р 50779.11—2000) как совокупность свойств и характеристик продукции или услуги, которые придают им способность удовлетворять установленные или предполагаемые потребности, а ГОСТ Р ИСО 9000—2008 — как степень соответствия совокупности присущих характеристик требованиям.



Количественная сторона качества продукции выражается через ее свойства. Показатель качества продукции — количественная характеристика одного или нескольких свойств продукции, рассматриваемая применительно к условиям ее создания или потребления.

Технико-экономическое понятие «качество продукции» в отличие от философского понятия «качество» охватывает только те свойства продукции, которые связаны с возможностью удовлетворения продукцией определенных общественных или личных потребностей в соответствии с ее назначением.

Качество продукции зависит от качества составляющих ее изделий и материалов.

Стандарт на продукцию устанавливает требования к качеству продукции, которые обеспечивают соответствие продукции ее назначению. Различают стандарт вида общих технических условий и стандарт вида технических условий. *Первый документ* содержит общие требования к группе однородной продукции, а *второй* — требования к конкретной продукции или услуге.

Все показатели, характеризующие требования к качеству продукции, подразделяют следующим образом:

- базисные (от гр. *βασισ* — основание), к которым относят показатели упаковки, маркировки и хранения;
- классификационные (от лат. *classis* — разряд, класс и ...*фикация*), объединяющие основные потребительские и эксплуатационные показатели продукции;
- по методам контроля на соответствие требованиям стандарта;
- показатели унификации;
- показатели информационной совместимости;
- в соответствии с требованиями безопасности, экологии и производственной санитарии.

Стандарт на продукцию может быть полным или неполным. *Полный стандарт* содержит все из перечисленных показателей, *неполный* — только часть требований к продукции, например правила транспортирования, маркировки, правила и методы испытаний и др. Отсюда возникают понятия стандартов на продукцию «широкого назначения» (полные) и «узкого назначения» (неполные).

Показатели, содержащиеся в нормативных документах, подразделяют на обязательные и дополнительные. *Обязательные показатели* должны содержаться в тексте любого стандарта.

К обязательным показателям стандарта на продукцию относят:

- требования по обеспечению безопасности продукции, работ и услуг для окружающей природы, жизни, здоровья и имущества;
- требования по обеспечению технической и информационной совместимости (общие правила оформления документов, метрологические правила и нормы, маркировка, общие правила обеспечения качества и др.);
- требования по взаимозаменяемости продукции;

- единство методов контроля продукции;
- единство маркировки.

В число дополнительных показателей входят:

- основные потребительские и эксплуатационные свойства продукции (классификационные показатели);
- требования по упаковке и хранению;
- общие правила по обеспечению качества продукции (например, санитарно-гигиенические, ветеринарные).

Для того чтобы обеспечить конкурентоспособность отечественной продукции и услуг, в отдельно обоснованных случаях в национальных стандартах указывают требования к качеству на перспективу, опережающие возможности традиционных технологий.

Физические объекты, окружающие нас, обладают различными качествами и свойствами. Из них человек выделяет некоторое ограниченное число свойств, общих в качественном и количественном отношении для ряда однородных объектов и достаточных для их описания.

**Свойство** — философская (от *фило...* и гр. σοφία — мудрость) категория, выражающая такую сторону объекта (процесса, явления), которая обуславливает его общность или различие с другими объектами (процессами, явлениями) и обнаруживается в отношениях с ним. По своей сути свойство — категория качественная. Для количественного описания различных свойств процессов и физических тел вводится понятие величины.

**Свойство продукции** — объективная особенность продукции, которая может проявляться при ее создании, эксплуатации или потреблении.

Продукция имеет множество самых различных свойств, которые проявляются при разработке, производстве (изготовлении, добыче, выращивании), испытаниях, хранении, транспортировании, техническом обслуживании, ремонте и использовании.

Свойства продукции условно можно разделить на простые и сложные. Примером сложного свойства является надежность изделия, обусловленная такими относительно простыми его свойствами, как безотказность, долговечность, ремонтпригодность и сохраняемость.

**Величина** — свойство чего-либо, которое может быть выделено среди других свойств и оценено тем или иным способом, в том числе количественно. Величина не существует сама по себе, она имеет место лишь постольку, поскольку существует объект со свойствами, выраженными данной величиной.

**Физическая** (гр. φυσικα, от φυσισ — природа) **величина** есть одно из свойств физического объекта (физической системы, явления или процесса), общее в качественном отношении для многих физических объектов, но в количественном отношении индивидуальное для каждого из них. Качественная сторона понятия «физическая величина» определяет «род» величины (например, концентрация веще-

ства как общее свойство растворов), а количественная — ее «размер» (концентрация данного раствора).

С развитием науки, техники и разработкой новых технологий измерения охватывают все новые и новые физические величины, существенно расширяются диапазоны измерений: от сверхмалых до очень больших значений физических величин.

Нефизические величины, для которых единица измерения в принципе не может быть введена, могут быть только оценены, например выступление фигуристов.

**Размер физической величины** — качественная определенность физической величины, присущая конкретному материальному объекту, системе, явлению или процессу.

**Значение физической величины** — выражение размера физической величины в виде некоторого числа принятых для нее единиц.

**Числовое значение физической величины** — отвлеченное число, входящее в значение величины.

**Размерность физической величины** — количественная определенность величины, присущая конкретному предмету, системе, явлению или процессу.

**Физический параметр** — физическая величина, рассматриваемая при измерении данной физической величины как вспомогательная. Например, при измерении электрического напряжения переменного тока частоту тока рассматривают как параметр напряжения.

При оценивании качества продукции нередко применяют выражение «измеряемые параметры». Здесь под параметрами, как правило, подразумевают физические величины, обычно наилучшим образом отражающие качество изделий или процесса.

**Показатель качества продукции** — количественная характеристика одного или нескольких свойств продукции, входящих в ее качество, рассматриваемая применительно к определенным условиям ее создания и эксплуатации или потребления. Он количественно характеризует пригодность продукции удовлетворять определенные потребности. Количественные меры признаков качества могут принимать различные формы, такие как результаты физических или химических измерений, процент продукции, не соответствующей техническим условиям, показатель дефектности и т. п. Меры признаков качества применяют в технических приложениях для представления требуемой аналитической информации, пригодной для целей управления или приемки. Некоторые из них используют для оценки соответствия отдельных объектов требованиям технических условий, в то время как другие — для интерпретации качества.

Показатель качества продукции может быть:

- *единичным*, характеризующим одно из ее свойств;
- *комплексным*, характеризующим несколько ее свойств;
- *определяющим*, по которому принимают решение оценивать ее качество;

— *интегральным*, являющимся отношением суммарного полезного экономического эффекта от эксплуатации или потребления продукции к суммарным затратам на ее создание и эксплуатацию или потребление.

Номенклатура показателей качества зависит от назначения продукции. У продукции многоцелевого назначения эта номенклатура может быть очень многочисленной.

На практике для определения показателей качества продукции применяют несколько методов:

- *измерительный* — на основе технических СИ;
- *регистрационный* — на основе наблюдения и подсчета числа определенных событий, предметов или затрат;
- *расчетный* — на основе теоретических или эмпирических зависимостей показателей качества продукции от ее параметров;
- *органолептический* (от *орган...* и гр. *λεπτιχος* — вбирающий) — на основе анализа восприятий органов чувств человека. Этот метод не исключает использования технических средств (лупа, микроскоп, микрофон, слуховая трубка и т.д.), повышающих восприимчивость и разрешающие способности органов чувств. Показатели качества, определяемые органолептическим методом, обычно выражают в баллах;
- *экспертный* (от лат. *expertus* — опытный) — на оценках экспертов;
- *социологический* (от лат. *societas* — общество и ... *логия*) — на основе сбора и анализа мнений фактических или возможных потребителей.

Более конкретными показателями качества промышленной продукции являются ее сорт и категория качества.

**Сорт** (франц. *sorte*) — градация продукции по свойствам или признакам, которая охватывает различные наборы потребностей в продукции или услугах, предназначенных для одного и того же функционального применения.

**Категория** (от гр. *категωρια* — высказывание, признак) **качества** — совокупность наиболее общих признаков, отражающих качество продукции.

**Категория качества продукции** — градация качества продукции определенного вида, устанавливаемая при государственной аттестации. При аттестации продукции выделяют следующие категории ее качества: высшая, первая и вторая.

Для определения качества продукции применяют оценку его уровня, контроль, испытание и аттестацию (см. подразд. 1.3, 1.4).

*Уровень качества продукции* — относительная характеристика качества продукции, основанная на сравнении значений показателя качества оцениваемой продукции с базовыми значениями соответствующих показателей.

Под *оценкой уровня качества продукции* понимают совокупность операций, включающую в себя выбор номенклатуры показателя

телей качества продукции, определение значений этих показателей и сопоставление их с базовыми.

В общем случае оценка уровня качества продукции состоит из следующих этапов:

- 1) выбор номенклатуры показателей качества и обоснование ее необходимости и важности;
- 2) выбор или разработка методов определения значений показателей качества;
- 3) выбор базовых значений показателей и исходных данных для определения физических значений показателей качества оцениваемой продукции;
- 4) определение физических значений показателей качества и их сопоставление с базовыми;
- 5) сравнительный анализ вариантов возможных решений и нахождение наилучшего из них;
- 6) обоснование рекомендаций для принятия управляющих решений.

Оценку уровня качества продукции осуществляют следующими методами:

- *дифференциальный*, использующий единичный показатель качества;
- *комплексный*, применяющий комплексные показатели качества;
- *смешанный*, использующий единичные и комплексные показатели качества;
- *статистический*, основанный на методах математической статистики.

В соответствии с Федеральным законом от 27 декабря 2002 г. № 184-ФЗ «О техническом регулировании» (далее — Закон о техническом регулировании) в настоящее время формируется новая система технического регулирования.

**Техническое регулирование** — правовое регулирование отношений в области установления, применения и исполнения обязательных требований к продукции, процессам производства, эксплуатации, а также в области установления и применения на добровольной основе требований к продукции, процессам производства, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации, выполнению работ или оказанию услуг и правовое регулирование отношений в области оценки соответствия.

**Технический регламент** (франц. *reglement*, от лат. *regle* — правило) — документ, который принят международным договором Российской Федерации, ратифицированным в порядке, установленном законодательством Российской Федерации, или федеральным законом, или указом Президента РФ, или постановлением Правительства РФ, и устанавливает обязательные для применения и исполнения требования к объектам технического регулирования (продукции, в том числе зданиям, строениям и сооружениям, про-

цессам производства, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации).

Технические регламенты с учетом степени риска причинения вреда устанавливают минимально необходимые требования, обеспечивающие безопасность: излучений, биологическую, взрыво-, механическую, пожарную, промышленную, термическую, химическую, электрическую, ядерную и радиационную; обеспечивающие электромагнитную совместимость в части обеспечения безопасности работы приборов и оборудования; единство измерений.

**Годная продукция** — продукция, удовлетворяющая всем установленным требованиям. Годная продукция не содержит дефектов, препятствующих ее приемке, но, как правило, имеет допускаемые отклонения показателей качества или параметров.

**Недостаток** — отклонение действительного уровня или состояния признака качества от намеченного уровня или состояния вне всякой связи с соответствием требованиям технических условий или потребительским свойствам продукции или услуги.

**Несоответствие** — невыполнение установленного требования. Несоответствия, как правило, классифицируют по степени важности.

**Дефект** (от лат. *defectus* — изъян, недостаток) — несоответствие продукции установленным в НТД требованиям. Если продукция имеет дефект (дефектная единица продукции), то это означает, что хотя бы один из показателей качества вышел за предельные значения, установленные в нормативной документации к признакам продукции. Другими словами, дефект есть каждое отдельное несоответствие продукции установленным требованиям.

Термин «дефект» применим, когда признак качества продукции, процесса или услуги оценивают с точки зрения использования в отличие от соответствия техническим условиям.

Дефекты изделия могут быть обусловлены образованием несплошностей и структурных неоднородностей, отклонением размеров и физикомеханических характеристик от номинальных значений, нарушениями формы и другими причинами. Примеры дефектов: выход размера детали за пределы допуска, неправильная сборка или регулировка аппаратуры, царапина на защитном покрытии изделия, недопустимо высокое содержание вредных примесей в продукте, наличие заусенцев на резьбе и пр.

Независимо от типа дефектов их разделяют на три вида (ГОСТ 15467—79):

- *критический* (от гр. *κρίτικε* — искусство разбирать, судить), когда при наличии дефекта использовать продукцию по назначению невозможно или недопустимо (небезопасно);

- *значительный*, оказывающий существенное влияние на использование продукции по назначению или на ее долговечность, но не являющийся критическим;

- *малозначительный*, практически не влияющий на использование продукции по назначению и на ее долговечность.

Вид дефекта в отличие от типа характеризует степень его влияния на эффективность и безопасность использования продукции с учетом ее назначения, т.е. потенциальную опасность рассматриваемого дефекта. Очевидно, что дефект одного и того же типа и размера может принадлежать к дефектам различного вида в зависимости от условий и режимов эксплуатации продукции, т.е. от ее назначения. Например, пора или непровар диаметром 2 мм в стыковом сварочном соединении толщиной 20 мм в сосуде для хранения воды относится к малозначительному дефекту, а в таком же соединении в пролетном строении моста — уже к критическому.

Следует отметить, что во многих отраслях промышленности ограничиваются разделением дефектов по потенциальной опасности на два вида: допустимые и недопустимые, относя к последним критические, а иногда и значительные дефекты.

Дефекты, для выявления которых в НТД на продукцию предусмотрены методы, средства и правила, принадлежат к классу *явных дефектов*, если даже невозможно их визуальное обнаружение.

Дефекты называют *скрытыми*, если в НТД отсутствуют рекомендации по их обнаружению, включая и визуальный осмотр.

Выявленный дефект может быть *устранимым*, если удаление (исправление) его возможно и экономически целесообразно, в противном случае дефект называют *неустранимым*.

Продукцию, передача которой потребителю из-за наличия дефектов недопустима, относят к *браку*. По аналогии с дефектами брак делят на исправимый и неисправимый. Неустранимый дефект не всегда является причиной неисправимости брака. Например, пора в стыке контактной сварки рельсов — неустранимый дефект, а стык с таким дефектом — исправимый брак, потому что, вырезав весь бракованный стык, рельсы можно сварить заново.

## 1.2. Измерение параметров качества изделий

**Информация** (от лат. *informatio* — разъяснение, изложение) — общенаучное понятие, включающее в себя обмен сведениями между людьми, человеком и автоматом, автоматом и автоматом.

**Система физических величин** — совокупность физических величин, образованная в соответствии с принятыми принципами, когда одни величины принимают за независимые, а другие определяют как функции независимых величин. Система (от гр. *συστημα* — целое, составленное из частей) измерений утверждена на XI Генеральной конференции по мерам и весам в 1960 г.

Хотя система СИ нашла широкое применение, тем не менее в некоторых странах существуют также другие системы единиц, например в США это фунт (от лат. *pondus* — вес, тяжесть), 1 фунт = 0,454 кг,

галлон (от лат. *gallona* — род круглого ящика), 1 галлон = 3,785 л, дюйм (от голл. *duim* — большой палец), 1 дюйм = 2,54 см и др. Вне-системные единицы могут также применяться в отдельных областях, как, например, в навигации — морская миля (англ. *mile*, от лат. *milium passuum* — тысяча двойных римских шагов) (1 морская миля = 1852 м), в торговле сырой нефтью — баррель (от лат. *barrel* — бочка) (1 баррель = 159 л). Однако Международная система единиц СИ, под-держанная Метрической конвенцией, была принята большинством стран.

**Шкала физической величины** — упорядоченная совокупность значений физической величины, служащая основой для измерения данной величины. Пример — Международная температурная шка-ла, состоящая из ряда реперных точек, значения которых приняты по соглашению между странами Метрической конвенции и установ-лены на основании точных измерений. Она является основой для измерений температуры.

Кроме шкалы физических величин, выделяют условную шкалу физических величин, исходные значения которой выражены в услов-ных единицах. Нередко такие шкалы называют *неметрическими шкалами*. Примерами таких шкал могут служить шкала твердости минералов Мооса (F. Mohs — немецкий минералог, 1773 — 1839), шка-лы твердости металлов Бринелля (J. A. Brinell — шведский инженер, 1849 — 1928), Виккерса (по названию английского военно-промыш-ленного концерна *Vickers Limited*), Роквелла (S. P. Rockwell — аме-риканский металлург, 1886 — 1948) и др.

*Истинное значение физической величины* — значение физиче-ской величины, которое идеальным образом характеризует ее в каче-ственном и количественном отношении. Оно может быть получено только в результате бесконечного процесса измерений с бесконечным совершенствованием методов и средств измерений.

*Действительное значение физической величины* — значение физической величины, полученное экспериментальным путем и на-столько близкое к истинному значению, что в поставленной измери-тельной задаче может быть использовано вместо него.

**Измерение** — процесс нахождения значения физической вели-чины опытным путем с помощью специальных технических средств. Метрологическая суть измерения сводится к основному уравнению измерения (основному уравнению метрологии):

$$X = n[x] \text{ или } n = \frac{X}{[x]}, \quad (1.1)$$

где  $X$  — измеряемая величина;  $n$  — число;  $[x]$  — единица величины.

Необходимо помнить, что любое измерение как познавательный процесс заключается в сравнении путем физического эксперимента данной величины с ее значением, принятым за единицу сравнения, т. е. с мерой.



*Измерение физической величины* — совокупность операций по применению технического средства, хранящего единицу физической величины, обеспечивающих нахождение соотношения (в явном или неявном виде) измеряемой величины с ее единицей и получение значения этой величины.

В простейшем случае, прикладывая линейку с делениями к какой-либо детали, по сути сравнивают ее размер с единицей, хранимой линейкой, и, произведя отсчет, получают значение величины (длины, высоты, толщины и других параметров детали). С помощью измерительного прибора сравнивают размер величины, преобразованной в перемещение указателя, с единицей, хранимой шкалой этого прибора, и производят отсчет.

Приведенное определение понятия «измерение» удовлетворяет общему уравнению измерений [см. формулы (1.1)], что имеет существенное значение при упорядочении системы понятий в метрологии. В определении учтена техническая сторона (совокупность операций), раскрыта метрологическая суть измерений (сравнение с единицей) и показан гносеологический (от гр. γνῶσις — познание и ...логия) аспект (получение значения величины).

В тех случаях когда невозможно выполнить измерение (не выделена величина как физическая и не определена единица измерений этой величины) практикуется оценивание таких величин по условным шкалам.

*Результат измерения физической величины* — значение величины, полученное путем ее измерения.

В основе любых измерений лежат различные физические явления, определяющие принцип измерения.

**Принцип** (от лат. *principium* — начало, основа) **измерений** — физическое явление или эффект, положенное в основу измерений: например, применение эффекта Доплера для измерения скорости.

**Метод** (от гр. μέθοδος — исследование) **измерений** — прием или совокупность приемов сравнения измеряемой физической величины с ее единицей в соответствии с реализованным принципом измерений. Метод измерений обычно обусловлен устройством средства измерений.

Современные СИ основаны на самых разных принципах действия: как широко известных, так и сравнительно недавно освоенных. При этом новые эффекты используются не как альтернатива традиционным, а как дополнение к ним. Это объясняется тем, что средства измерений, основанные на традиционных принципах действия, благодаря внедрению достижений микроэлектроники получают дальнейшее развитие вплоть до радикального улучшения технико-эксплуатационных характеристик.

*Вид измерений* — часть области измерений, имеющая свои особенности и отличающаяся однородностью измеряемых величин.

**Методика выполнения измерений (МВИ)** — установленная совокупность операций и правил при измерениях, выполнение которых обеспечивает получение результатов измерений с гарантированной точностью в соответствии с принятым методом. Обычно методика измерений регламентируется каким-либо нормативно-техническим документом.

**Нормативно-техническая документация** — документация, устанавливающая требования к объектам стандартизации, обязательная для исполнения в определенных областях деятельности, разработанная в установленном порядке и утвержденная компетентным органом. Основные виды НТД — технические регламенты, стандарты и технические условия.

Конкретные методы измерений определяются видом измеряемых величин, их величиной, требуемой точностью измерений, быстротой измерения, условиями, при которых проводят измерения, и рядом других причин. В принципе, каждую физическую величину можно измерить несколькими методами, которые могут отличаться друг от друга теми или иными техническими и метрологическими особенностями. Что касается технических измерений, то существует множество методов измерений, и по мере развития науки и техники число их будет только увеличиваться.

Измерения могут быть одно- и многократные, статические (от гр. *statike* — равновесие) и динамические (от гр. *δυναμις* — сила), контактные и бесконтактные, абсолютные и относительные, равно- и неравноточные и др.

*Абсолютное измерение* — измерение, основанное на прямых измерениях одной или нескольких основных величин и (или) использовании физических констант (от лат. *constans* — постоянный). Так, измерение силы  $F = mg$  основано на измерении основной величины — массы  $m$  — и использовании физической постоянной  $g$ .

*Относительное измерение* — измерение отношения величины к одноименной величине, играющей роль единицы, или измерение изменения величины по отношению к одноименной величине, принимаемой за исходную.

По способу получения численного значения измеряемой величины выделяют четыре вида измерений: прямые, косвенные, совокупные и совместные.

*Прямое измерение* — измерение, при котором искомое значение физической величины получают непосредственно (измерение температуры термометром, длины — линейкой).

Термин «прямое измерение» возник как противоположный термину «косвенное измерение». Строго говоря, измерение всегда является прямым и рассматривается как сравнение величины с ее единицей. В этом случае лучше применять термин «прямой метод измерений». В качестве примера можно привести измерение длины рулеткой, силы тока — амперметром, массы — весами.

Прямые измерения проводят следующими основными методами: непосредственной оценки, сравнения с мерой, нулевым, замещением, дополнением и дифференциальным.

*Косвенное измерение* — определение искомого значения физической величины на основании результатов прямых измерений других физических величин, функционально связанных с искомой величиной. Примеры косвенного измерения: определение плотности однородного тела по его массе и геометрическим размерам; удельного электрического сопротивления проводника — по его сопротивлению, длине и площади поперечного сечения; расхода — по перепаду давления и т. п.

*Совокупные измерения* — проводимые одновременно измерения нескольких одноименных величин, при которых искомые значения величин определяют путем решения систем уравнений, получаемых при измерениях этих величин в различных сочетаниях. Например, значение массы отдельных гирь набора определяют по известному значению массы одной из гирь и по результатам измерений (сравнений) масс различных сочетаний гирь.

*Совместные измерения* — проводимые одновременно измерения двух или нескольких неоднородных величин для определения зависимости между ними, например определение температурного коэффициента линейного расширения. Как очевидно из приведенных определений, совокупные и совместные измерения весьма близки друг к другу. Отличие состоит в том, что при совокупных измерениях одновременно определяют несколько одноименных величин, а при совместных — разноименных.

Совокупные и совместные измерения применяют, как правило, в научно-исследовательской практике.

Нетрадиционные методы измерений используют в случаях, когда приходится применять уникальные наблюдения за неизвестной величиной, которая «существует» до некоторого времени только в теоретических расчетах. Такие методы нередко соответствуют физико-химическим исследованиям со скоротечными процессами реакций (явлений). Например, процессы взаимодействия элементарных частиц в ядерной реакции составляют около  $10^{-22}$  с, когда использовать традиционные методы измерения уже практически невозможно. То же можно сказать о возможности измерения массы элементарных частиц. В настоящее время известно, что масса покоя электрона составляет  $9,1093897 \cdot 10^{-31}$  г.

Кроме того, различают технические, технологические измерения и контроль.

*Технические измерения* — измерения количественных и качественных характеристик свойств продукции (линейных и угловых размеров, массы, плотности, шероховатости и т. п.).

*Технологические измерения* — измерения режимов, характеристик и параметров технологического процесса (уровня, температуры, давления, расхода, концентрации, состава среды и т. п.).

**Контроль** — операция, заключающаяся в определении соответствия измеряемых величин допускам, установленным на их значения для обеспечения нормального функционирования технического объекта, процесса.

**Средство измерений** — средство, применяемое для измерений, имеющее нормированные метрологические характеристики, воспроизводящее и (или) хранящее единицу физической величины, размер которой принимают неизменным (в пределах установленной погрешности) в течение известного интервала времени.

Автоматическое СИ производит без непосредственного участия человека измерения и все операции, связанные с обработкой результатов измерений, их регистрацией, передачей данных или выработкой управляющего сигнала.

В общем случае СИ имеет структурную схему, представленную на рис. 1.1.

**Первичный измерительный преобразователь (ПИП)** — преобразователь, на который непосредственно воздействует измеряемая физическая величина, т.е. первый преобразователь в измерительной цепи измерительного прибора, установки, системы. В одном средстве измерений может быть несколько первичных преобразователей. Классифицируют ПИП по роду измеряемой величины (температуры, давления, уровня и т.д.) и по выходной величине (генераторные, параметрические) и др.

**Датчик** является конструктивно обособленным ПИП, от которого поступают измерительные сигналы. Датчик может быть вынесен на значительное расстояние от СИ, принимающего его сигналы. В подавляющем большинстве случаев датчик предназначен для преобразования неэлектрической физической величины в электрический ток, напряжение и т.д.

**Измерительный преобразователь (ИП)** — техническое средство с нормированными метрологическими характеристиками, служащее для преобразования измеряемой величины в другую величину или измерительный сигнал, удобный для обработки, хранения, дальнейших преобразований, индикации или передачи. Измерительный преобразователь или входит в состав какого-либо измерительного прибора, или применяется вместе с каким-либо СИ. По характеру преобразований различают аналоговые, цифроаналоговые и аналого-цифровые ИП. По месту в измерительной цепи различают первичные и промежуточные ИП. Выделяют также масштабные и передающие ИП.



Рис. 1.1. Структурная схема СИ:

$X$  — входной сигнал (измеряемая величина);  $Y$  — выходной сигнал

**Вторичный (показывающий) прибор (ВП)** — совокупность элементов СИ, которые обеспечивают визуальное восприятие значений измеряемой величины или связанных с ней величин.

**Функция преобразования (статическая характеристика)** — функциональная зависимость между информативными параметрами выходного и входного сигналов СИ. Ее можно задавать таблично, графически или аналитически:

$$Y = Y_3\{Y_2[Y_1(X)]\}.$$

Чувствительность средства измерений:

$$S = \lim_{X \rightarrow 0} \frac{\Delta Y}{\Delta X}; \quad S_i = \frac{dY_i}{dY_{i-1}}; \quad S = S_1 S_2 S_3,$$

где  $\Delta Y$  — приращение выходной величины при изменении входной на  $\Delta X$ , стремящейся к нулю.

**Погрешность измерения** — отклонение результата измерения от истинного (действительного) значения измеряемой величины.

Абсолютная погрешность измерения

$$\Delta X = X_{\text{изм}} - X_{\text{ист}},$$

где  $X_{\text{изм}}$  — результат измерения;  $X_{\text{ист}}$  — истинное значение измеряемой величины.

Кроме абсолютной, погрешность может быть: относительной

$$\delta = \frac{\Delta X}{X} 100;$$

приведенной

$$\delta_{\text{пр}} = \frac{\Delta X}{X_{\text{max}} - X_{\text{min}}} 100, \quad (1.2)$$

средней квадратической, т.е. оценкой рассеяния единичных результатов измерения в ряду равноточных измерений одной и той же физической величины около среднего их значения, вычисляемой по формуле

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}, \quad (1.3)$$

а также основной и дополнительной, мультипликативной и аддитивной, систематической и случайной, статической и динамической, инструментальной и др.

В формулах (1.2), (1.3) приняты следующие обозначения:  $X_{\text{min}}$ ,  $X_{\text{max}}$  — нижний и верхний пределы диапазона измерений  $X$ ;  $X_i$  —  $i$ -е значение  $X$ ;  $\bar{X}$  — среднее арифметическое ряда наблюдений (математическое ожидание);  $n$  — число измерений.