

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Сибирская государственная геодезическая академия»
(ФГБОУ ВПО «СГГА»)

Кафедра метрологии, стандартизации и сертификации

КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ по дисциплине
МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ, ИСПЫТАНИЙ И
КОНТРОЛЯ

Новосибирск -2011

1. ИЗМЕРЕНИЯ

Современный этап научно-технического прогресса характеризуется интенсивным повышением интереса к измерениям. Возрастающий интерес к измерениям обуславливается тем, что они играют всё более значительную, а иногда определяющую роль в решении, как фундаментальных проблем познания, так и практических проблем научно-технического прогресса, социальных проблем, повышают эффективность всей общественно-полезной деятельности. Измерения являются основным процессом получения объективной информации о свойствах разнообразных материальных объектов, связанных с практической деятельностью человека. Например, о годности какой-либо детали по ее размерам мы можем судить только после измерений этих размеров.

Измерение – это процесс получения объективной информации, отражающей действительный, а не предполагаемый материальный, научно-технический потенциал общества, достигнутый уровень общественного производства и т.п. На информации, получаемой путём измерений, основываются решения органов управления экономическим развитием на всех уровнях.

Все предприятия, деятельность которых связана с разработкой, испытаниями, производством, контролем продукции, с эксплуатацией транспорта и средств связи, со здравоохранением и др., проводят неисчислимое количество измерений. На основе результатов измерений принимаются конкретные решения.

На схеме, представленной на рис. 1.1, показаны основные элементы, логически связанные между собой при измерениях.

1.1. Физические величины и их измерение

Измерения основаны на сравнении одинаковых свойств материальных объектов. Для свойств, при количественном сравнении которых применяются физические методы, установлено единое обобщённое понятие – физическая величина.

По ГОСТ 16263 **физическая величина** – это свойство, общее в качественном отношении многим физическим объектам (физическим системам, их состояниям и происходящим в них процессам), но в количественном отношении индивидуальное для каждого объекта. Индивидуальность в количественном отношении следует понимать в том смысле, что свойство может быть для одного объекта в определённое число раз больше или меньше, чем для другого.

К физическим величинам относятся: длина, масса, время, электрические величины (ток, напряжение и т.п.), давление, скорость движения и т.п.

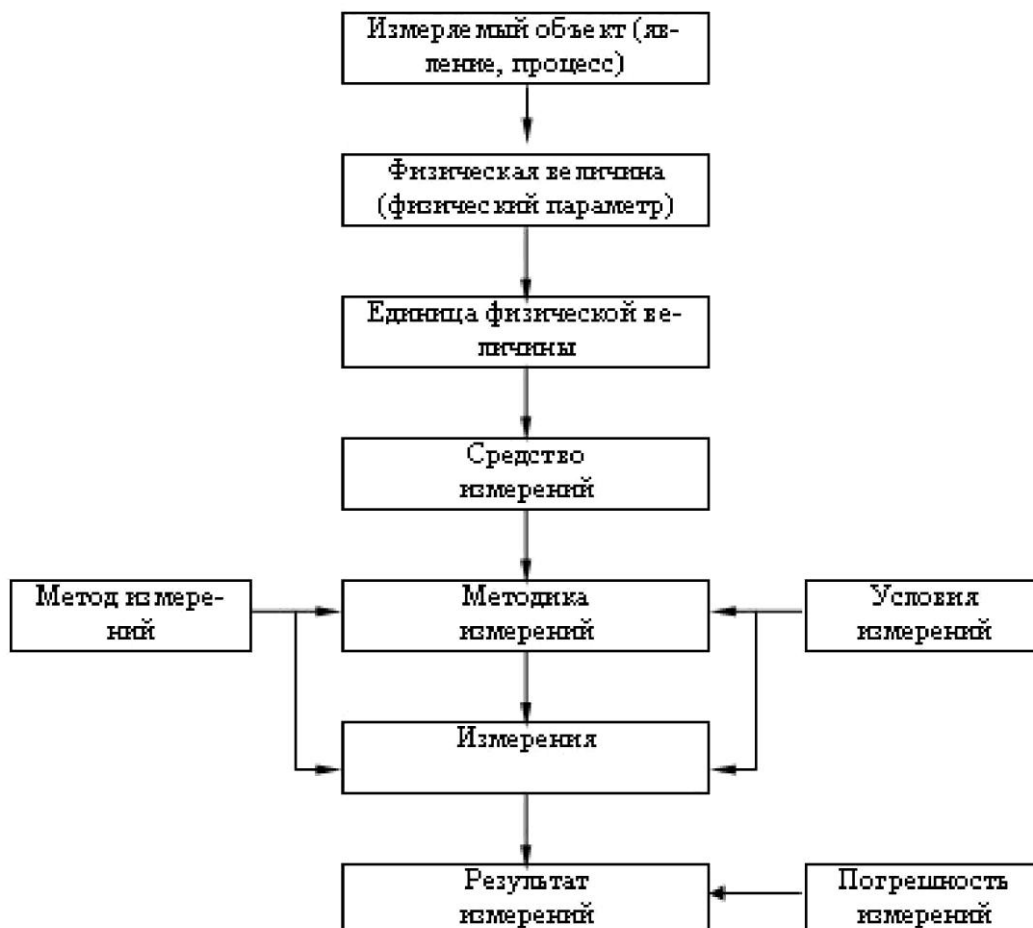


Рис.1.1. Схема основных элементов, участвующих в измерениях

Но запах не является физической величиной, так как он устанавливается с помощью субъективных ощущений.

Определение “физической величины” можно подкрепить примером. Возьмём два объекта: подшипник качения бытового пылесоса и подшипник качения вагонных колёс. Качественные свойства у них одинаковые, а количественные разные. Так диаметр наружного кольца подшипника качения вагонных колёс во много раз больше аналогичного диаметра подшипника пылесоса. Аналогично можно судить и о количественном соотношении массы и других свойств. Но для этого необходимо знать **значение физической величины**, т.е. оценить физическую величину в виде некоторого числа принятых для неё единиц. Например, значение массы подшипника качения вагонных колёс 8 кг, радиус земного шара 6378 км, диаметр отверстия 0,5 мм.

ГОСТ 16263 приводит ещё ряд определений, связанных с понятием “физическая величина”.

Истинное значение физической величины – это значение физической величины, которое идеальным образом отражало бы в качественном и количественном отношениях соответствующее свойство объекта. Оно является пределом, к которому приближается значение физической величины с повышением точности измерений.

Определить экспериментально истинное значение физической величины невозможно, оно остаётся неизвестным экспериментатору. В связи с этим при необходимости (например, при проверке средств измерений) вместо истинного значения физической величины используют её действительное значение.

Действительное значение физической величины – это значение физической величины, найденное экспериментальным путём и настолько приближающееся к истинному значению, что для данной цели может быть использовано вместо него.

При нахождении действительного значения физической величины проверка средств измерений должна осуществляться по образцовым мерам и приборам, погрешностями которых можно пренебречь.

При технических измерениях значение физической величины, найденное с допустимой погрешностью, принимается за действительное значение.

Основная физическая величина – это физическая величина, входящая в систему и условно принятая в качестве независимой от других величин этой системы. Например, в системе СИ основными физическими величинами, независимыми от других, являются длина l , масса m , время t и др.

Производная физическая величина – физическая величина, входящая в систему и определяемая через основные величины этой системы. Например, скорость v определяется в общем случае уравнением:

$$v=dl/dt, \quad (1.1)$$

где l – расстояние; t – время. Ещё пример. Механическая сила в этой же системе определяется уравнением:

$$F=m*a, \quad (1.2)$$

где m – масса; a – ускорение, вызываемое действием силы F . Мерой для количественного сравнения одинаковых свойств объектов служит **единица физической величины** – физическая величина, которой по

определению присвоено числовое значение, равное единицы. Единицам физических величин присваивается полное и сокращённое символьное обозначение – **размерность**. Например, масса – килограмм (кг), время – секунда (с), длина – метр (м), сила – Ньютон (Н).

Приведённые выше определения физической величины и её значения позволяют определить **измерение как нахождение значения физической величины опытным путём с помощью специальных технических средств** (ГОСТ 16263).

Это определение справедливо как для простейших случаев, когда, прикладывая линейку с делениями к детали, сравнивают её размер с единицей длины, хранимой линейкой, или когда с помощью прибора сравнивают размер величины, преобразованной в перемещение указателя, с единицей, хранимой шкалой этого прибора, так и для более сложных – при использовании измерительной системы (для измерения нескольких величин одновременно).

Для более полного раскрытия понятия “измерение” знания одной его сути недостаточно. Необходимо выявить ещё и те условия, соблюдение которых является обязательным при выполнении измерений. Эти условия можно сформулировать, исходя из метрологической практики, обобщив её требования, а также исходя из определения понятия “измеряемая физическая величина”:

измерения возможны при условии, если установлена качественная определённость свойства, позволяющая отличить его от других свойств (т.е. при выделении физической величины среди других);

определена единица для определения величины;

имеется возможность материализации (воспроизведения или хранения) единицы;

сохранение неизменённым размер единицы (в пределах установленной точности) минимум в течение срока проведения измерений.

Если нарушается хотя бы одно из этих условий, измерения невыполнимы. Приведённые условия могут служить основой, во-первых, при рассмотрении содержания понятия “измерение”, во-вторых, при проведении чёткой границы между измерением и другими видами количественных оценок. От термина “измерение” происходит термин “измерять”, который широко используется на практике. Однако нередко применяются неверные термины: “мерить”, “обмерять”, “замерять”, “промерять”, не вписывающиеся в систему метрологических терминов.

В технической литературе, посвящённой измерениям или средствам измерений, иногда можно прочесть об измерении **процессов или зависимостей**. Процесс, как объект измерить нельзя. Измеряют физические величины, их характеризующие. Например, нельзя сказать: “измерить деталь”. Следует уточнить, какие именно физические величины,

свойственные детали, подлежат измерению (длина, диаметр, масса, твёрдость и др.). Это же относится и к процессам, включая быстродействующие, а также к зависимостям между физическими величинами.

Так, при нахождении зависимости уменьшения длины тела от изменения температуры измеряемыми величинами будут приращение температуры и удлинение тела, по значениям которых вычисляется указанная зависимость.

Эти вычисления можно осуществлять при помощи ЭВМ, сопряжённых со средством измерений, однако это не означает, что измеряется зависимость (она вычисляется). При использовании так называемых средств статистических измерений (в быстропротекающих процессах) допускаются такие, например, выражения, как: “измерение среднеквадратического значения напряжения случайного процесса”, “измерение плотности распределения вероятности” и др.

Следует отметить, что не все физические величины могут быть воспроизведены с заданными размерами и непосредственно сравнимы с себе подобными. К таким величинам относятся, например, температура, твёрдость материалов и т.п. В этом случае находит применение метод натуральных (реперных) шкал, заключающийся в следующем. Предметы и явления, обладающие некоторыми однородными свойствами, располагают в натуральный последовательный ряд так, что у каждого предмета в этом ряду данного свойства будет больше, чем у предыдущего и меньше, чем у последующего. Далее выбирают несколько членов ряда и принимают их за образцы. Выбранные образцы формируют шкалу (лестницу) реперных точек для сопоставления предметов или явлений поданному свойству. Примерами реперных шкал являются минералогическая шкала твёрдости, шкала силы ветра в “баллах Бофорта”.

Существенный недостаток таких шкал состоит в произвольном размере интервалов между реперными точками и невозможность уточнения размера физической величины внутри интервала.

В связи с этим в измерительной технике отдаётся предпочтение функциональным шкалам, при построении которых используется функциональная зависимость какой-либо физической величины, удобной для непосредственного измерения, от измеряемой физической величины. Чаще всего эта зависимость имеет линейный характер. В качестве примера можно привести температурную шкалу, например, Цельсия. При построении шкалы используются реперные точки, которым приписаны определённые значения температур, например, точка таяния льда ($0,000^{\circ}\text{C}$), точка кипения воды ($100,000^{\circ}\text{C}$) и т.п. В интервалах между температурами реперных точек осуществляется интерполяция с помощью тех или иных преобразователей температуры – ртутных термометров, термопар, платиновых термометров сопротивления. При этом измеряемая температура преобразуется в

перемещение конца ртутного столбика, в эдс термопары или в сопротивление платинового резистора.

Специалист в области метрологии М.Ф. Маликов для решения метрологических проблем предложил разделить все измерения на две группы, назвав их “лабораторные” и “технические”.

К **лабораторным** относятся такие измерения, погрешности получаемых результатов которых оцениваются в процессе самих измерений, причём каждому результату соответствует своя оценка погрешности. К **техническим** М.Ф. Маликов отнёс такие измерения, возможные погрешности результатов которых заранее изучены и определены, так что в процессе самих измерений они уже не оцениваются.

Лабораторные – это измерения, проводимые, как правило, при фундаментальных исследованиях. Характерным для них является стремление обеспечить более высокую точность результатов измерений. Отсюда вытекают специфические особенности лабораторных измерений: желательно из используемых средств измерений извлечь всю точность, на которую они способны; желательно исключить (или уменьшить) случайные погрешности каждого результата измерений, для чего проводят многократные измерения, результаты которых по выбранной методике математически обрабатывают; желательно исключить (или уменьшить) систематические погрешности каждого результата измерений, для чего используют специальные способы измерений. В связи с этим, основным признаком лабораторных измерений является оценивание погрешности каждого отдельного результата измерений в процессе самих измерений.

Технические измерения – это основная масса измерений, проводимых в народном хозяйстве. Отличительным признаком технических измерения является то, что они проводятся по специально разработанным, предварительно изученным и аттестованным методикам выполнения измерений.

В дальнейшем будем касаться только технических измерений и под термином “измерения” будем понимать “технические измерения”.

1.2. Классификация видов и методов измерений

Большое разнообразие измеряемых величин, условий проведения измерений, способов получения результата приводит к чрезвычайно большому разнообразию измерений. В тоже время многие конкретные измерения, несмотря на их внешнее различие, имеют много общего и часто выполняются по одинаковой схеме. Отсюда возникает необходимость и возможность их систематизации, выявления общих закономерностей, что позволяет значительно облегчить изучение всего многообразия измерений.

Измерения классифицируют:

по общим приёмам получения результатов измерений – прямые, косвенные, совместные, совокупные;
 по выражению результата измерений – абсолютные, относительные;
 по характеристике точности – равноточные, неравноточные;
 по числу измерений в серии – однократные, многократные;
 по отношению к изменению измеряемой величины – статические, динамические;
 по метрологическому назначению – технические, метрологические.

Блок-схема классификации измерений представлена на рис. 1.2.

Прямое измерение – измерение, при котором искомое значение величины находят непосредственно из опытных данных. Например, измерение температуры воздуха термометром, силы тока – амперметром, диаметра вала – микрометром и т.п.

Косвенное измерение – это измерение, при котором искомое значение величины находят на основании известной зависимости между этой величиной и величинами, подвергаемыми прямым измерениям. При этом числовое значение искомой величины определяется по формуле:

$$z=f(a_1, a_2, \dots, a_m), \quad (1.3)$$

где: z - значение искомой величины; a_1, a_2, \dots, a_m – значение непосредственно измеряемых величин.

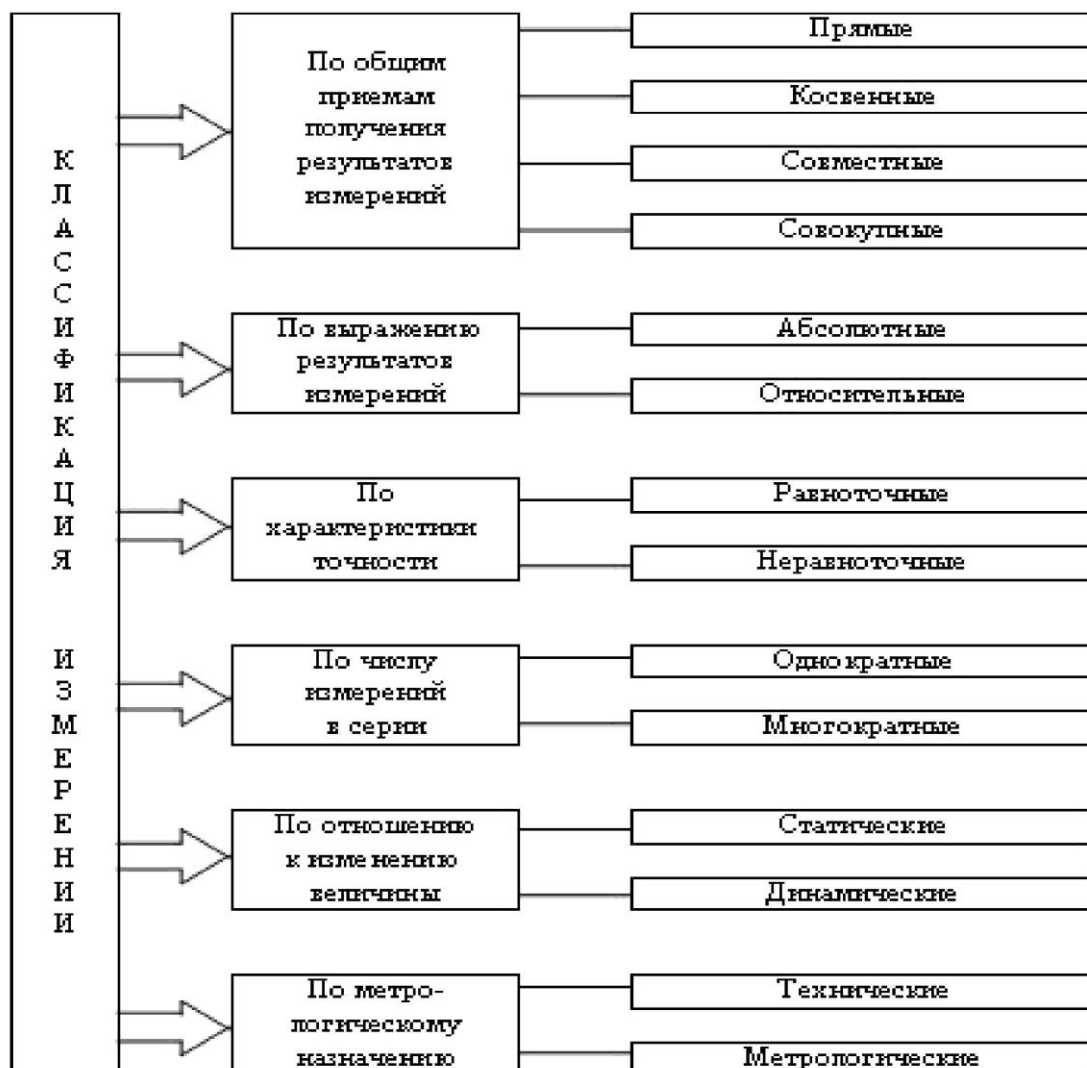


Рис. 1.2. Блок-схема классификации измерений

Приведем несколько примеров косвенных измерений.

1. Определение значения активного сопротивления R резистора (рис. 1.3, а) на основе прямых измерений силы тока I , проходящего через резистор, и падения напряжения U на нём по формуле:

$$R = U/I. \quad (1.4)$$

2. Определение плотности ρ тела цилиндрической формы (рис. 1.3, б) на основании прямых измерений его массы m , диаметра d и высоты h цилиндра по формуле:

$$\rho = 4m / (\pi d^2 h). \quad (1.5)$$

3. Определение длины окружности L на основании прямого измерения диаметра d по формуле:

$$L=nd. \quad (1.6)$$

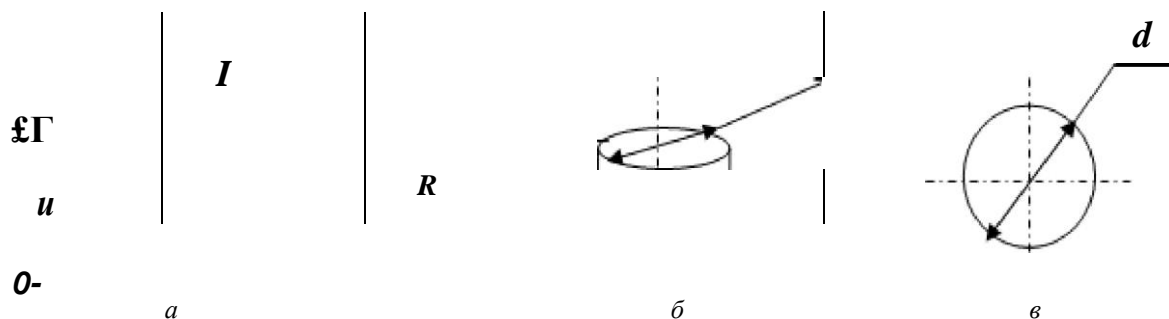


Рис. 1.3. Примеры косвенных измерений

Косвенные измерения сложнее прямых, однако, они широко применяются на практике в случаях, когда прямые измерения практически невыполнимы, или когда косвенное измерение позволяет получить более точный результат по сравнению с прямым измерением.

В некоторых приборах вычисления функций, упомянутых в определении косвенных измерений, могут осуществляться как одна из операций преобразований “внутри” прибора. Измерения, проводимые с применением подобных измерительных приборов, относятся к прямым. К косвенным относятся только такие измерения, при которых расчёт осуществляется вручную или автоматически, но после получения результатов прямых измерений.

Во многих случаях вместо термина “косвенное измерение” применяют термин “метод косвенных измерений”. Это закреплено международными словарями в области метрологии и стандартами ряда стран и обусловлено тем, что измерение рассматривается как акт сравнения величины с единицей. Следовательно, косвенное измерение, строго говоря, - это не измерение, а метод измерений.

К **совокупным измерениям** относятся производимые одновременно измерения нескольких **одноимённых** величин, при которых искомые значения величин находят решением системы уравнений, получаемых при прямых измерениях различных сочетаний этих величин. К совокупным относятся, например, измерения, при которых массы отдельных гирь набора находят при известной массе одной из них и по результатам прямых измерений (сравнений) масс различных сочетаний гирь.

Совместные измерения – это производимые одновременно измерения двух или нескольких **не одноимённых** величин для нахождения зависимости между ними.

Например, на основании одновременных измерений приращений Δl длины детали в зависимости от изменений Δt его температуры (не одноименных величин) определяют коэффициент K линейного расширения материала образца:

$$K = \Delta l / (l \cdot \Delta t). \quad (1.7)$$

Числовые значения искомых величин при совместных измерениях, как и при совокупных, могут определяться из системы уравнений, связывающих значения искомых величин со значениями величин, измеренных прямым (или косвенным) способом.

Чтобы получить числовые значения искомых величин, необходимо получить по крайней мере столько уравнений, сколько имеется этих величин.

В качестве примера рассмотрим задачу экспериментального определения зависимости сопротивления резистора от температуры. Предположим, что эта зависимость имеет вид:

$$R_t = R_0 (1 + a \cdot t + p \cdot t^2), \quad (1.8)$$

где: R_0 и R_t - значения сопротивлений резистора при нулевой температуре и температуре t соответственно; a и p - постоянные температурные коэффициенты.

Требуется определить значения величин R_0 , a и p .

Очевидно, ни прямыми, ни косвенными измерениями здесь задачу не решить. Поступим следующим образом. При различных (известных) значениях температуры t_1 , t_2 и t_3 (она может быть измерена прямо или косвенно) измеряем (прямо или косвенно) значения R_{t1} , R_{t2} и R_{t3} и записываем систему уравнений:

$$\begin{aligned} R_{t1} &= R_0 (1 + a \cdot t_1 + p \cdot t_1^2); \\ R_{t2} &= R_0 (1 + a \cdot t_2 + p \cdot t_2^2); \\ R_{t3} &= R_0 (1 + a \cdot t_3 + p \cdot t_3^2). \end{aligned} \quad (1.9)$$

Решая эту систему относительно R_0 , a и p получаем значения искомых величин.

Абсолютное измерение - измерение, приводящее к значению измеряемой величины, выраженному в её единицах. Например, при измерении силы электрического тока амперметром или длины детали микрометром результат измерения выражается в единицах измеряемых величин (в амперах и миллиметрах).

В ГОСТ 16263 приведено другое определение: “абсолютное измерение - измерение, основанное на прямых измерениях одной или нескольких

величин и использовании значений физических констант”. В таком понимании это понятие практически не применяется. Оно соответствует понятию «фундаментальное измерение», приведённому в международном словаре. Термин «абсолютное измерение» следует избегать, т. к. абсолютное, т. е. полностью безошибочное, измерение невозможно. Вместо него можно использовать термин «непосредственное измерение».

Относительное измерение – измерение отношения величины к одноимённой величине, играющей роль единицы, или измерение величины по отношению к одноимённой величине, принимаемой за исходную. Относительное измерение основано на сравнении измеряемой величины с известным значением меры. Исходную величину при этом находят алгебраическим суммированием размера меры и показаний прибора. Например, контроль калибра пробки на вертикальном оптиметре.

Равноточные измерения – ряд измерений какой-либо величины, выполненных одинаковыми по точности средствами измерений в одних и тех же условиях. Например, измерение диаметра вала гладким микрометром и индикаторной скобой.

Неравноточные измерения – ряд измерений какой-либо величины, выполненных различными по точности средствами измерений и (или) в разных условиях.

Однократное измерение – измерение, выполненное один раз. Например, измерение конкретного момента времени по часам. В ряде случаев, когда нужна большая уверенность в получаемом результате, одного измерения оказывается недостаточно. Тогда выполняется два, три и более измерений одной и той же конкретной величины. В таких случаях допускается выражение: “двукратное измерение”, “трёхкратное измерение” и т.д.

Многократное измерение – измерение одной и той же физической величины, когда результат получают из нескольких следующих друг за другом измерений, т.е. измерение, состоящее из ряда однократных измерений.

С какого числа измерений можно считать измерение многократным? Строгого ответа на этот вопрос нет. Однако известно, что при числе отдельных измерений $n > 4$, ряд измерений может быть обработан в соответствии с требованиями математической статистики. Следовательно, при четырёх измерениях и более измерение можно считать многократным. За результат многократного измерения обычно принимают среднеарифметическое значение из результатов однократных измерений, входящих в ряд.

Статическое измерение – измерение физической величины, принимаемой в соответствии с конкретной измерительной задачей за неизменную на протяжении времени измерения. Например, измерение длины

детали при нормальной температуре, измерение размеров земельного участка.

Динамические измерения – измерения физической величины, размер которой изменяется с течением времени. Быстрое изменение размеров измеряемой величины требует её измерения с точной фиксацией момента времени. Например, измерение расстояния до уровня земли со снижающегося самолёта.

Технические измерения – измерения при помощи рабочих средств измерений. Технические измерения выполняются с целью контроля и управления научными экспериментами, контроля параметров изделий, технологических процессов, управления движением различных видов транспорта, диагностики заболеваний, контроля загрязнённости окружающей среды и т.п. Например, измерение давления пара в котле при помощи манометра, измерение ряда физических величин, характеризующих технологический процесс.

Метрологические измерения – измерения при помощи эталонов и образцовых средств измерений с целью воспроизведения единиц физических величин при передачи их размера рабочим средствам измерений. Например, при поверке образцовых мер магнитной индукции 3-го разряда на поверочной установке осуществляются измерения образцовым тесламетром 2-го разряда размера величины, воспроизведённой мерой. Эти измерения производятся с метрологической целью, т.е. являются метрологическими.

Любые измерения представляют собой физический эксперимент, выполнение которого основано на использовании тех или иных физических явлений. Совокупность физических явлений, на которых основаны измерения, называются **принципом измерения**.

Совокупность приёмов использования принципов и средств измерения составляет **метод измерения**.

Выбор того или иного метода измерений зависит от измерительной задачи, которую следует решать (точность результата измерений, быстрота его получения и др.). При решении любой измерительной задачи важно иметь такие средства измерений, в которых реализованы выбранные принципы измерений. Например, температуру можно измерить платиновым термометром сопротивления (реализованный принцип измерения – зависимость сопротивления платины от температуры) и термоэлектрическим термометром (реализованный принцип – зависимость термо э.д.с. от разности температур). Безусловно, при разработке того или иного метода измерений принцип измерений влияет на выбор средств измерений. Но это не означает, что принцип измерения следует считать одним из компонентов при определении метода измерений. Таким образом, можно сказать, что **метод измерения** – это способ решения измерительной задачи, характеризуемый

его теоретическим обоснованием и разработкой основных приёмов применения средств измерения.

Различные методы измерений отличаются, прежде всего, организацией сравнения измеряемой величины с единицей измерения. С этой точки зрения все методы измерений в соответствии с ГОСТ 16263 подразделяются на две группы (рис. 1.4): методы непосредственной оценки и методы сравнения.



Рис. 1.4. Схема классификации методов измерений

Методы сравнения в свою очередь включают в себя метод противопоставления, дифференцированный метод, метод замещения, нулевой метод и метод совпадения.

При **методе непосредственной оценки** значение измеряемой величины определяют непосредственно по отсчётному устройству измерительного прибора прямого действия (измерительный прибор, в котором предусмотрено одно или несколько преобразований сигнала измерительной информации в одном направлении, т.е. без обратной связи). На этом методе основаны все показывающие (стрелочные) приборы (вольтметры, амперметры, индикаторы, манометры, термометры, тахометры и т.п.). Следует отметить, что при использовании данного метода измерений мера как вещественное воспроизведение единицы измерения, как правило, непосредственно в процессе измерения не участвует. Сравнение измеряемой величины с единицей измерения осуществляется косвенно путём предварительной градуировки измерительного прибора с помощью образцовых мер или образцовых измерительных приборов.

Точность измерений по методу непосредственной оценки в большинстве случаев невелика и ограничивается точностью применяемых измерительных приборов.

Метод сравнения с мерой - это такой метод измерений, в котором измеряемую величину сравнивают с величиной, воспроизводимой мерой. Примеры этого метода: измерение массы на рычажных весах с уравниванием гири; измерение напряжения постоянного тока на компенсаторе сравнением с э.д.с. нормального элемента; измерение диаметра вала индикатором при настройке его на ноль по концевым мерам длины.

ГОСТ 16263 предусматривает пять методов измерений, основанных на сравнении с мерой.

Метод противопоставления - это метод сравнения с мерой, в котором измеряемая величина и величина воспроизводимая с мерой, одновременно воздействуют на прибор сравнения, с помощью которого устанавливается соотношение между этими величинами. Например, измерение массы на равноплечих весах с помощью измеряемой массы и уравнивающих её гирь на двух чашках весов (рис. 1.5,а).

Дифференциальный метод - это метод сравнения с мерой, в котором на измерительный прибор воздействует разность измеряемой величины и известной величины, воспроизводимой мерой. Например, измерения, выполняемые при поверке мер длины сравнением с образцовой мерой на компараторе, или измерения деталей при настройке индикатора по концевым мерам длины (рис. 1.5,б).

а

б

Рис. 1.5. Примеры измерений методом противопоставления и дифференцированным методом Широко распространён на практике **нулевой метод** измерений - это метод сравнения с мерой, в котором результирующий эффект воздействия величин на прибор сравнения доводят до нуля. Например, измерения электрического сопротивления мостом с полным его уравниванием. Нулевой метод позволяет получить высокую точность измерения.

Методом замещения называется метод сравнения с мерой, в котором измеряемую величину замещают известной величиной, воспроизводимой мерой. Это, например, взвешивание поочерёдным помещением массы и гирь на одну и ту же чашку весов. Метод замещения можно рассматривать как разновидность дифференциального и нулевого метода, отличающиеся тем, что сравнение измеряемой величины с мерой производится разновременнo.

Метод совпадений – это метод сравнения с мерой, в котором разность между измеряемой величиной и величиной, воспроизводимой мерой измеряют, используя совпадения отметок шкал или периодических сигналов. Примерами этого метода являются измерения длин с помощью штангенциркуля, или измерение частоты вращения стробоскопом, где наблюдают совпадения положения какой-либо метки на вращающемся объекте в момент всплеск известной частоты.

Все методы измерений могут осуществляться **контактным способом**, при котором измерительные поверхности прибора взаимодействуют с проверяемым изделием, или **бесконтактным способом**, при котором взаимодействия нет. Например, измерение диаметра вала штангенциркулем осуществляется контактным способом, а измерение параметров резьбы на инструментальном микроскопе – бесконтактным способом.

При контактном способе измерений необходимо правильно выбирать форму измерительного наконечника в зависимости от формы измеряемой поверхности. Рекомендации по выбору формы измерительного наконечника приведены в табл. 1.1.

Таблица 1.1

Рекомендации по выбору формы измерительного наконечника

Форма поверхностей детали при контактном способе измерений	Форма поверхности измерительного наконечника
Плоскость	Сфера
Цилиндр	Линия (цилиндр)
Сфера	Плоскость

Описанные выше различия в методах сравнения измеряемой величины с мерой находят свое отражение и в принципах построения измерительных приборов.

С этой точки зрения различают измерительные приборы прямого действия и приборы сравнения. В измерительном приборе прямого действия предусмотрено одно или несколько преобразований сигнала измерительной информации в одном направлении, т.е. без обратной связи. Так, например, на рис. 1.6. приведена структурная схема электронного вольтметра переменного и постоянного тока, которая содержит выпрямитель В, усилитель

постоянного тока УПТ и измерительный механизм ИМ. В этом приборе преобразование сигнала измерительной информации идёт только в одном направлении.

Характерной особенностью приборов прямого действия является потребление энергии от объекта измерения. Однако это не исключает возможности применения приборов прямого действия для измерения, например, электрического сопротивления или ёмкости, но для этого необходимо использовать вспомогательный источник энергии.

Измерительный прибор сравнения предназначен для непосредственного сравнения измеряемой величины с величиной, значение которой известно.

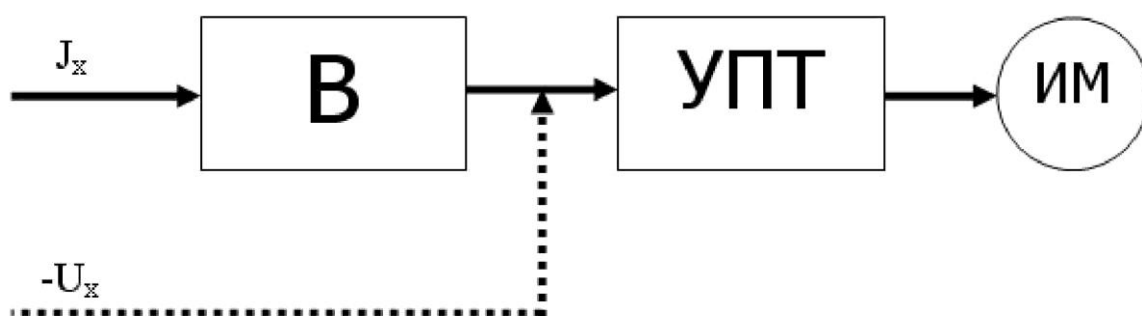


Рис. 1.6. Структурная схема электронного вольтметра

На рис. 1.7. приведена структурная схема автоматического прибора сравнения, содержащая устройство сравнения УС, устройство управления УУ и изменяемую (регулируемую) меру М с отсчётным устройством.

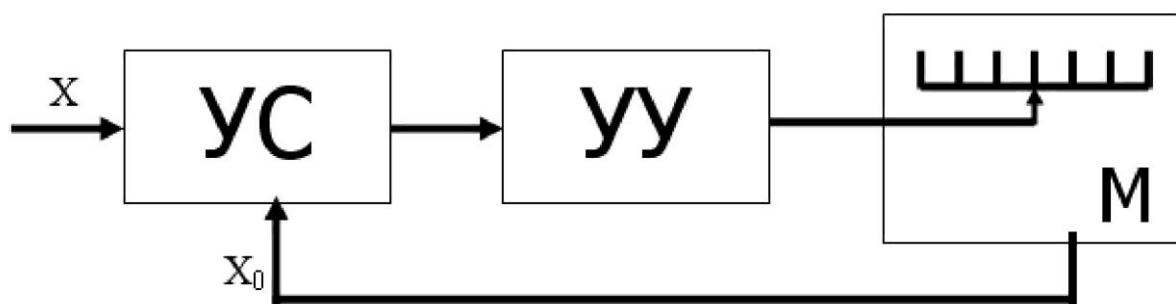


Рис. 1.7. Структурная схема автоматического прибора сравнения

Измеряемая величина X и однородная с ним величина X_0 попадают на входы устройства сравнения УС. Величина X_0 получается от регулируемой меры М. В зависимости от результата сравнения X и X_0 устройство управления УУ воздействует на меру М таким образом, чтобы величина X -

X_0 уменьшалась. Процесс управления заканчивается, когда $X=X_0$. При этом значение измеряемой величины отсчитывается по шкале регулируемой меры. Если в устройстве сравнения происходит вычитание величин X из X_0 , то в данном приборе реализуется сравнение измеряемой величины с мерой нулевым методом.

Следует отметить, что сравнение измеряемой величины с мерой в приборах сравнения может осуществляться либо одновременно (нулевой метод), либо разновременно (метод замещения).

Таким образом, приведённая классификация видов и методов измерений позволяет не только систематизировать разнообразные измерения всевозможных физических величин и тем самым облегчить подход к решению конкретной измерительной задачи, но и с общих позиций подойти к рассмотрению структур и принципов действия различных измерительных приборов.

1.3. Средства измерений

Понятие и термин “средство измерений” получили широкое распространение в метрологической практике с начала 70-х годов. К этому времени стала ясной необходимость, особенно для технических измерений, разработки единой метрологической методологии, охватывающей все области измерений и измеряемые величины. В связи с этим было признано удобным ввести некоторый термин, который охватывал бы любое техническое устройство, предназначенное для выработки, переработки, преобразования, отображения информации о размерах измеряемых величин.

По ГОСТ 16263 **средство измерений** – это техническое средство, используемое при измерениях и имеющее нормированные метрологические свойства. Это определение соответствует ИСО и МЭК, согласно которым средство измерений – это устройство, предназначенное для выполнения измерений “само по себе” или с применением другого оборудования.

Классификация видов средств измерений приведена на рис. 1.8.

Мера – средство измерений, предназначенное для воспроизведения физической величины заданного размера. Например, гиря – мера массы; измерительный резистор – мера электрического сопротивления; температурная лампа – мера яркости или цветовой температуры; кварцевый генератор – мера частоты электрических колебаний. Различают однозначные меры, многозначные меры и наборы мер.

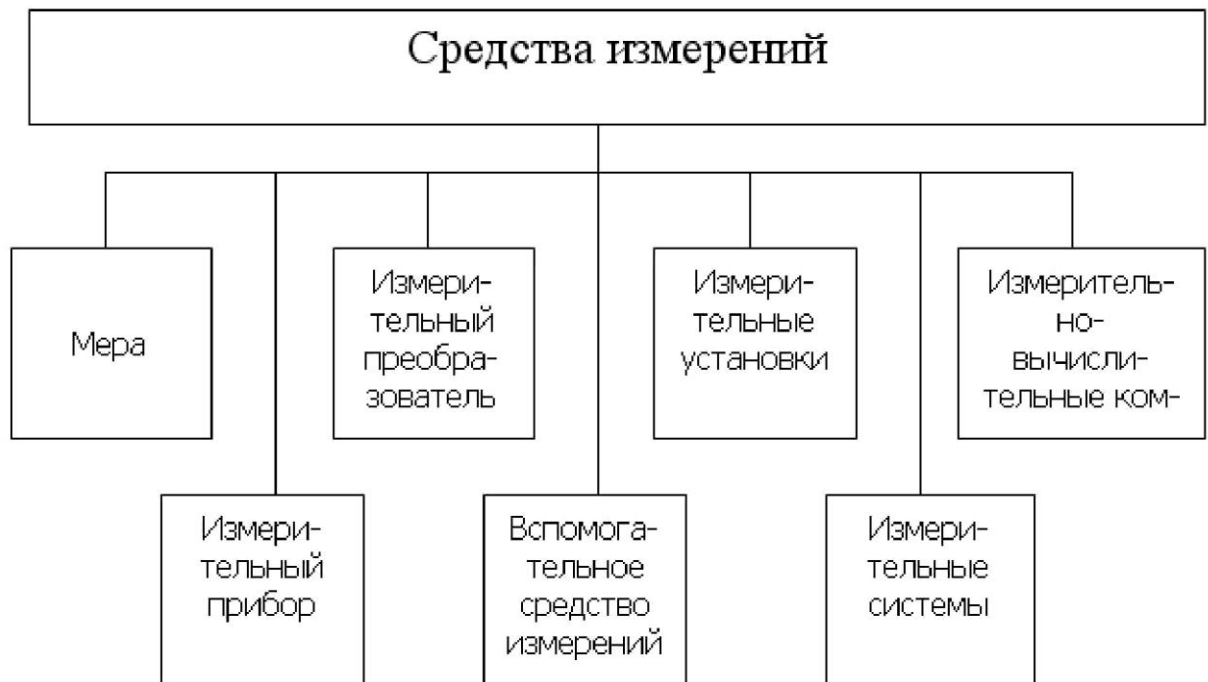


Рис. 1.8. Классификация видов средств измерений

Однозначная мера – это мера, воспроизводящая физическую величину одного размера. Например, гиря, плоскопараллельная концевая мера длины, измерительный резистор, конденсатор постоянной ёмкости и т.п.

Многозначная мера – мера, воспроизводящая ряд одноимённых величин различного размера. Например, штриховая мера длины, конденсатор переменной ёмкости и т.п.

Набор мер – специально подобранный комплект мер, применяемых не только по отдельности, но и в различных сочетаниях с целью воспроизведения ряда одноимённых величин различного размера. Например, набор гирь, набор плоскопараллельных концевых мер длины, набор угловых мер, набор измерительных конденсаторов и т.п.

Измерительный прибор – средство измерений, предназначенное для выработки сигнала измерительной информации в форме, доступной для непосредственного восприятия наблюдателем. Как правило, измерительный прибор имеет устройства для преобразования измеряемой величины в сигнал измерительной информации и его индикации в форме, наиболее доступной для восприятия. Устройства для индикации часто содержат шкалу со стрелкой или другим указателем, диаграмму с пером или цифровой указатель, благодаря чему можно отсчитывать показания или регистрировать значения физической величины. В случае сопряжения прибора с ЭВМ отсчёт производят при помощи монитора.

Различают следующие типы измерительных приборов.

Аналоговый измерительный прибор – это прибор, показания которого являются непрерывной функцией изменений измеряемой величины. Эти приборы имеют ряд преимуществ: относительную простоту, низкую стоимость, высокую информативность аналогового сигнала. Вместе с тем к недостаткам аналоговых измерительных приборов следует отнести наличие у большинства из них инерционных подвижных частей, снижающих их быстродействие и помехоустойчивость.

Структурная схема аналогового измерительного прибора прямого действия представлена на рис. 1.9.

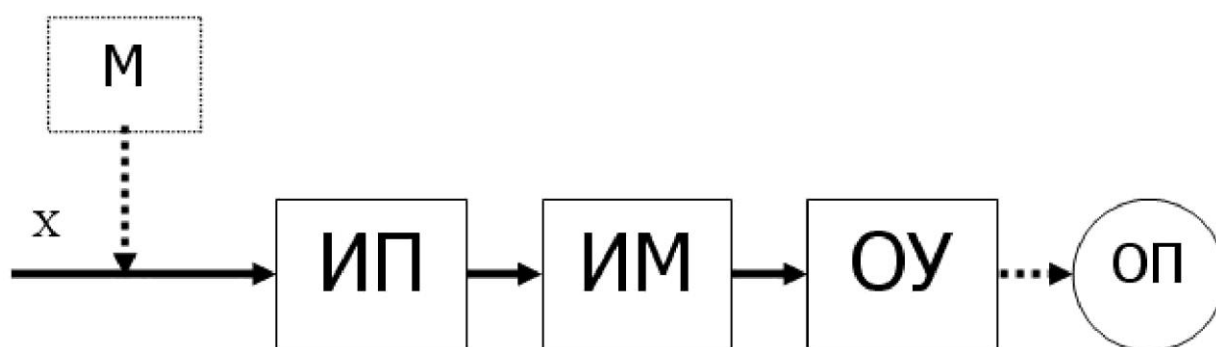


Рис. 1.9. Структурная схема аналогового измерительного прибора прямого действия

В данных приборах преобразование измерительной информации осуществляется только в одном направлении от входа к выходу. Измеряемая величина X с помощью измерительного преобразователя ИП преобразуется в напряжение или ток, который воздействует на электромеханический измерительный механизм ИМ, вызывая перемещение его подвижной части и связанного с ней указателя отсчётного устройства ОУ. Отсчётное устройство содержит оцифрованную шкалу, с помощью которой оператор ОП получает количественный результат измерения. Градуировка шкалы прибора производится путём подачи на вход ряда известных значений измеряемой величины, реализуемых образцовой многозначной мерой M . Таким образом, сравнение измеряемой величины с единицей измерения в данном случае осуществляется косвенно, а мера M в процессе измерения непосредственного участия не принимает.

Цифровой измерительный прибор – это измерительный прибор, автоматически вырабатывающий дискретные сигналы измерительной информации, показания которого представлены в цифровой форме. Например, кругломер, профилограф–профилометр и т.п.

В отличие от аналоговых приборов в цифровых измерительных приборах обязательно автоматически выполняются следующие операции:

квантование измеряемой величины по уровню; дискретизация её по времени; кодирование информации.

Представление измерительной информации в виде кода обеспечивает удобство её регистрации и обработки, возможность длительного хранения в запоминающих устройствах, передачу на значительные расстояния без искажений практически по любым каналам связи, непосредственный ввод в ЭВМ для обработки, а также исключает вносимые оператором при отсчёте субъективные погрешности.

Преимуществами цифровых измерительных приборов перед аналоговыми являются:

- удобство и объективность отсчёта;
- высокая точность результатов измерения;
- широкий динамический диапазон при высокой разрешающей способности;
- высокое быстродействие за счёт отсутствия подвижных электромеханических элементов;
- возможность автоматизации процесса измерения;
- высокая устойчивость к внешним механическим и климатическим воздействиям.

К недостаткам цифровых измерительных приборов следует отнести их схемную сложность и относительно высокую стоимость.

В настоящее время элементной базой цифровых измерительных приборов являются микросхемы, что позволяет достигнуть высокого быстродействия и малых габаритных размеров приборов.

Обобщённая структурная схема цифрового измерительного прибора приведена на рис. 1.10.

Она содержит входной аналоговый преобразователь АП, аналого-цифровой преобразователь АЦП, образцовую меру М, цифровое средство отображения информации ЦСОИ и устройство управления УУ. Аналоговый преобразователь преобразует измеряемую величину $x(t)$ в функционально с ней связанную аналоговую величину $y(t)$, более удобную для преобразования в цифровой код. В качестве АП используют усилители, делители, фильтры и т.п.

Аналого-цифровой преобразователь выполняет операции квантования по уровню и по времени аналоговой величины, сравнивая её с мерой, и кодирование результатов. При этом на выходе вырабатывается дискретный сигнал ДС, который преобразуется цифровым средством отображения информации ЦСОИ в цифровой отсчёт N или в виде кода вводится в ЭВМ.

Показывающий измерительный прибор – это измерительный прибор, допускающий только отсчитывание показаний. К ним можно отнести микрометр, цифровой вольтметр и т.п.

Регистрирующий измерительный прибор – это измерительный прибор, в котором предусмотрена регистрация показаний. В свою очередь, регистрирующие измерительные приборы делятся на самопишущие, в которых предусмотрена запись показаний в форме диаграмм (самопишущий вольтметр, барограф, термограф, профилограф и т.п.), и на печатающие, в которых предусмотрено печатание показаний в цифровой форме.

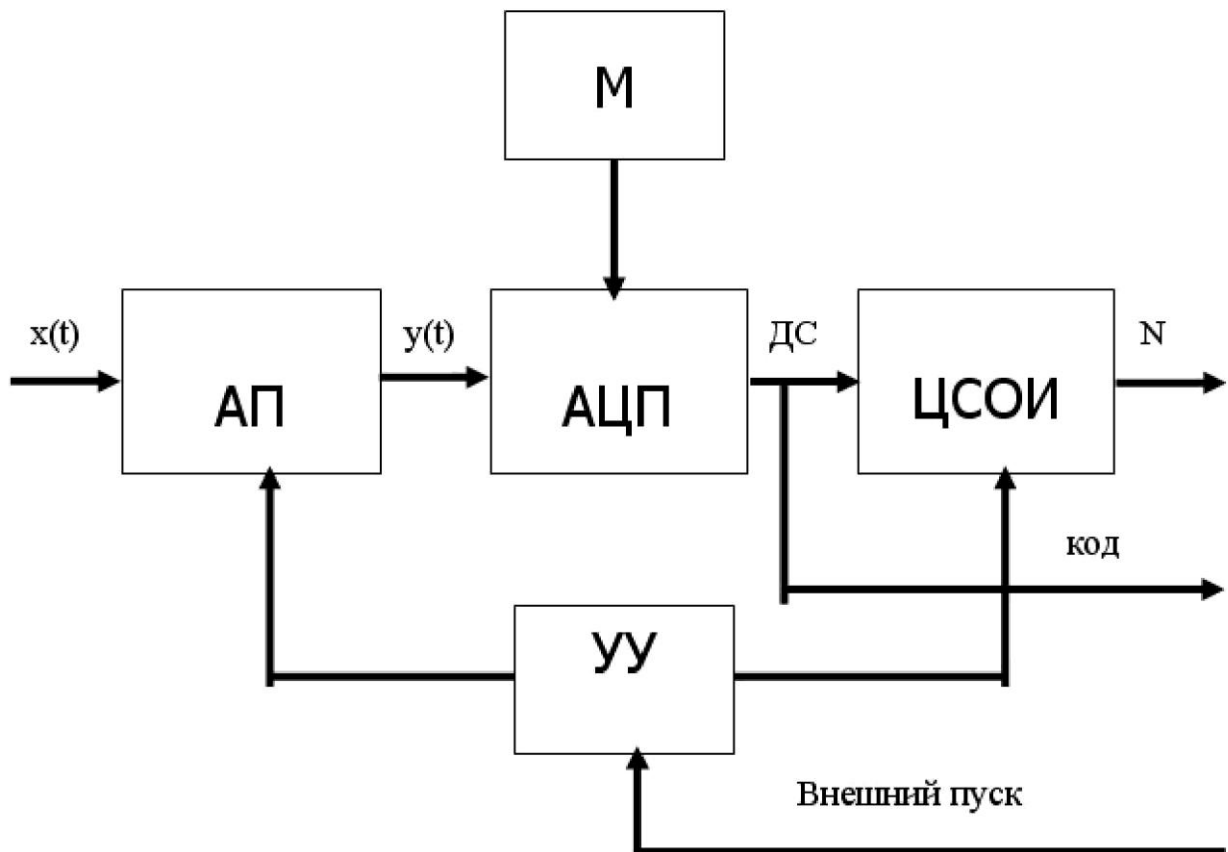


Рис. 1.10. Обобщённая структурная схема цифрового измерительного прибора

Измерительный прибор прямого действия – измерительный прибор, в котором предусмотрено одно или несколько преобразований сигнала измерительной информации в одном направлении, т.е. без применения обратной связи. Например, амперметр, манометр, ртутный стеклянный термометр.

Измерительный прибор сравнения предназначен для непосредственного сравнения измеряемой величины с величиной, значение которой известно. Например, равноплечие весы, электроизмерительный потенциометр, компаратор для линейных мер и др.

Интегрирующий измерительный прибор – это прибор, в котором подводимая величина подвергается интегрированию по времени или по другой независимой переменной. Например, электрический счётчик, профилограф-профилометр и т.п.

Измерительный преобразователь – средство измерений, предназначенное для выработки сигнала измерительной информации в форме, удобной для передачи, дальнейшего преобразования, обработки и (или) хранения, но не поддающейся непосредственному восприятию наблюдателем.

Обычно измерительные преобразователи входят в состав измерительных приборов, установочных систем и др. в качестве важнейшего устройства, от которого зависят точностные характеристики.

По характеру преобразования выделяют *аналоговые, аналого-цифровые и цифро-аналоговые преобразователи*. По месту в измерительной цепи – *первичные и промежуточные преобразователи*. Кроме того, есть *масштабные преобразователи*. Например, измерительный трансформатор тока является масштабным преобразователем, термопара в термоэлектрическом термометре – аналоговым преобразователем, преобразователь цифрового вольтметра – аналого-цифровым измерительным преобразователем.

Вспомогательное средство измерений – это средство измерений величин, влияющих на метрологические свойства другого средства измерений при его применении или поверке. Например, термометр для измерения температуры газа в процессе измерений объёмного расхода этого газа.

Измерительная установка – это совокупность функционально объединённых средств измерений (мер, измерительных приборов, измерительных преобразователей) и вспомогательных устройств, предназначенная для выработки сигналов измерительной информации в форме, удобной для непосредственного восприятия наблюдателем и расположенная в одном месте. Например, установка для измерений удельного сопротивления электротехнических материалов, установка для испытаний магнитных материалов и т.п..

Измерительную установку с включёнными в неё образцовыми средствами измерений называют *поверочной установкой*, измерительную установку, входящую в состав эталона – *эталонной*, установку, предназначенную для испытаний каких-либо изделий, иногда называют *испытательным стендом*. Некоторые виды измерительных установок получили название *измерительных машин*. Например, координатно-измерительная машина для измерения параметров сложных изделий в двухмерном или трёхмерном пространствах.

Измерительная система – совокупность средств измерения (мер, измерительных приборов, измерительных преобразователей) и вспомогательных устройств, соединённых между собой каналами связи, предназначенная для выработки сигналов измерительной информации в форме, удобной для автоматической обработки, передачи и (или) использования в автоматических системах управления. Например, измерительная система теплоэлектростанции позволяет получать измерительную информацию о ряде физических величин в разных энергоблоках. Или с помощью радионавигационной системы, состоящей из ряда функционально объединённых измерительных комплексов, разнесённых в пространстве на значительное расстояние, определяют местоположение судов.

В зависимости от назначения измерительные системы разделяют на *измерительные информационные, измерительные контролирующие, измерительные управляющие* и др.

Измерительную систему, снабжённую средствами автоматического получения и обработки измерительной информации, называют *автоматической измерительной системой*. В автоматизированных производствах измерительные контролирующие системы работают автоматически, и их обычно именуют *системами автоматического контроля*.

В зависимости от числа измерительных каналов различают *одно-, двух-, трёхканальные* и т.д. измерительные системы.

Измерительно-вычислительный комплекс – функционально объединённая совокупность средств измерений, ЭВМ и вспомогательных устройств, предназначенных для выполнения в составе конкретной измерительной задачи.

По назначению приборы делятся на **универсальные**, предназначенные для измерения одинаковых физических величин различных объектов, и **специализированные**, используемые для измерения параметров однотипных изделий (например, размеров резьбы или зубчатых колёс) или одного параметра различных изделий (например, шероховатости или твёрдости).

По принципу действия, который положен в основу измерительной системы, приборы подразделяют на механические, оптические, оптико-механические, пневматические, электрические, рентгеновские, лазерные и др.

1.4. Метрологические характеристики средств измерений

Важнейшими свойствами средств измерений являются те, от которых зависит качество (точность) получаемой с их помощью измерительной

информации. Эти свойства определяются метрологическими характеристиками средств измерений.

Метрологические характеристики средств измерений – это характеристики, оказывающие влияние на результаты измерений и на погрешность измерений.

Нормирование метрологических характеристик, оказывающих влияние на результаты измерений, не вызывает затруднений. Эти характеристики закладываются при проектировании средств измерений и затем указываются в нормативно-технической и эксплуатационной документации. Они, как правило, не нуждаются в контроле. Контролируются отклонения действительных значений от номинальных, определяющие погрешности измерений.

К метрологическим характеристикам средств измерения относятся следующие:

Номинальное значение меры – значение величины, указанное на мере или предписанное ей. Например, килограммовая гиря имеет номинальное значение 1 кг; одноомный измерительный резистор имеет номинальное значение 1 Ом.

В процессе изготовления получаем **действительное значение меры**, т.е. действительное значение величины, воспроизводимой мерой.

Измерительные приборы состоят из чувствительного элемента, который находится под непосредственным воздействием физической величины, измерительного механизма и отсчётного устройства. Отсчётное устройство показывающего прибора имеет шкалу и указатель, выполненный в виде материального стержня – стрелки или в виде луча света – светового указателя. **Шкала** (рис. 1.11) представляет собой совокупность отметок и проставленных у некоторых из них чисел отсчёта, соответствующих ряду последовательных значений величины. Шкалы с делениями постоянной длины называют равномерными.

Длина деления шкалы a – расстояние между осями (или центрами) двух соседних отметок шкалы. **Цена деления шкалы** c – разность значений величины, соответствующих двум соседним отметкам шкалы.

Чувствительность прибора определяется отношением сигнала на выходе прибора к вызывающему его изменению измеряемой величины. Абсолютную чувствительность прибора определяют по формуле:

$$S = a/c. \quad (1.10)$$

При измерениях длин чувствительность прибора является безразмерной величиной и называется также **передаточным отношением прибора**.

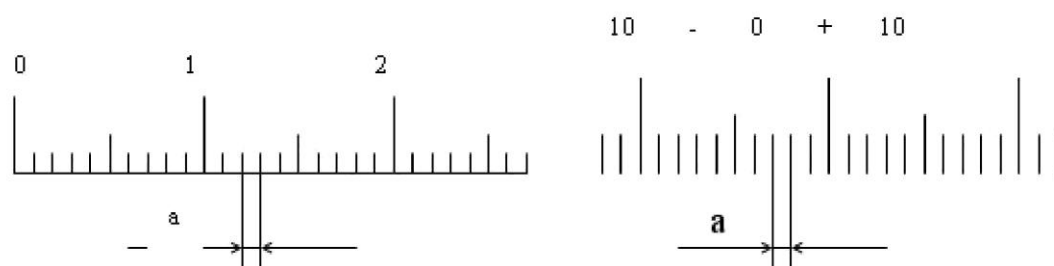


Рис. 1.11. Шкалы измерительных приборов

Начальное и конечное значения шкалы - наименьшее и наибольшее значения измеряемой величины, указанные на шкале.

Диапазон показаний – область значений измеряемой величины, для которой нормированы допускаемые погрешности прибора.

Предел измерений – наибольшее и наименьшее значения диапазона измерений.

Вариация показаний – разность показаний прибора в одной и той же точке диапазона измерений при плавном подходе к ней со стороны меньших и больших значений измеряемой величины.

Стабильность средства измерений – качество средства измерений, отображающее неизменность во времени его метрологических свойств.

Измерительное усилие прибора – сила, создаваемая прибором при контакте с изделием и действующая по линии измерения. Оно обычно вызывается пружиной, обеспечивающей контакт чувствительного элемента прибора, например, измерительного наконечника, с поверхностью измеряемого объекта. При деформации пружины происходит изменение усилия: разность между наибольшим и наименьшим значениями – максимальное колебание измерительного усилия.

1.5. Подготовка к измерениям

В каждом измерении можно выделить следующие элементы: объект измерений, метод измерений с условиями измерений. Измерения проводит оператор. Оператор и все эти элементы могут влиять на результат измерения. При этом возникает погрешность, являющаяся одной из важнейших характеристик качества измерений. Чтобы обеспечить высокую точность измерений, их проведение необходимо тщательно подготовить.

Подготовка процесса измерения включает:

- анализ постановки измерительной задачи;
- создание условий для измерений;
- выбор средств и метода измерений;
- выбор числа измерений;

подготовку оператора;
апробирование средств измерений.

1.5.1. Анализ постановки измерительной задачи

Анализ постановки измерительной задачи позволяет исключить проведение некорректных измерительных экспериментов. При таком анализе необходимо, прежде всего, выяснить:

какие физические величины или параметры объекта подлежат измерению;

какой точности должен быть результат измерения;

в какой форме его следует представить, чтобы это соответствовало цели измерительной задачи.

При ответе на *первый вопрос* выбирают модель объекта, параметры которой подлежат измерению. Выбранная модель должна удовлетворять двум требованиям.

Первое требование - соответствие модели реальному объекту. Например, следует измерить длину цилиндрической детали. Длиной цилиндра является его образующая, следовательно, в качестве модели примем правильный цилиндр, измеряемой величиной будет его образующая. Длина образующей измеряется в различных точках основания. Максимальная разность результатов измерений принимается в качестве погрешности модели. Эта погрешность не должна превышать 10% от погрешности измерения.

Второе требование - нестабильность измеряемых параметров модели в течение времени измерения не должна превышать 10% от заданной погрешности измерения. В этом случае речь идет об измерении постоянных физических величин.

Второй вопрос - точность результата измерений. Она зависит от качества средств измерений. Чем точнее средства измерений, тем точнее результаты измерения. Усложнение средств измерения приводит к резкому повышению стоимости измерительного процесса. Задача состоит в том, чтобы достигнуть наибольшей точности измерений при ограниченных затратах.

Третий вопрос. Для обеспечения единства измерений, возможности сопоставления результатов измерений и их последующего анализа предусмотрена единая форма представления результатов измерений.

При проведении измерений в динамическом режиме, когда регистрируют значения изменяющейся во времени величины, для каждого конкретного результата измерения указывают момент времени, которому этот результат приписывается.

При анализе постановки измерительной задачи необходимо выявить требования к скорости получения измерительной информации, ее дискретности, уровню автоматизации и др. От этого зависит выбор тех или иных средств измерений, метода и условий измерения, затрат труда оператора.

1.5.2. Создание условий для измерения

Каждое измерение выполняется в определенных условиях, которые характеризуются одной или несколькими физическими величинами. Их называют **внешними влияющими величинами**, т. к. они оказывают влияние на измеряемую величину. Например, условия измерений длины детали штангенциркулем характеризуются такими влияющими величинами, как температура окружающего воздуха и освещенность поверхности детали и штангенциркуля.

Наиболее существенной влияющей величиной в данном случае является температура. Изменение температуры приводит к изменению размера детали и, следовательно, к погрешности измерения. Освещенность также влияет на результат измерения: при плохой освещенности оператор может неточно снять показания измерительного прибора. Например, при плохой освещенности сложно правильно определить совпадение штрихов нониуса со штрихами основной шкалы штангенциркуля.

С целью обеспечения единства измерений к условиям их проведения предъявляются жесткие требования. Для конкретных областей измерений устанавливают единые условия, называемые нормальными. Значения физической величины, соответствующие нормальным условиям, называют **номинальным значением влияющей физической величины**. В табл. 1.2. приведены номинальные значения влияющих физических величин при выполнении линейных и угловых измерений.

Однако при выполнении измерений трудно поддерживать определенные номинальные значения влияющих величин. Поэтому необходимо установить пределы возможных изменений для каждой влияющей величины. Эти пределы называют пределами номинальной области значений влияющих величин и выбирают так, чтобы воздействия совокупности влияющих величин на результат измерения были по возможности минимальными.

В соответствии с ГОСТ 8.050 требования к нормальным условиям устанавливаются в зависимости от допуска на измеряемую величину и требований к допустимой погрешности измерений. Предельная погрешность измерений составляет от 20 до 35% допуска на измеряемую величину. Изменение погрешности средств измерений из-за действия влияющих

величин в нормальных условиях не должно превышать 35% погрешности измерений.

Таблица 1.2

Номинальные значения влияющих физических величин

№ п/п	Влияющая величина	Номинальное значение
1.	Температура окружающей среды	<u>20 °C</u>
2.	Атмосферное давление	101325 Па (760 мм рт. ст.)
3.	Относительная влажность окружающего воздуха	58%
4.	Ускорение свободного падения	<u>9,8 м/с²</u>
5.	Направление линии и плоскости измерения линейных размеров	горизонтальное

Окончание табл. 1.2

6.	Положение плоскости измерения углов	горизонтальная
7.	Относительная скорость движения внешней среды	нуль
8.	Значения внешних сил, кроме сил тяжести, атмосферного давления, действия магнитного поля Земли и сил сцепления элементов измерительной системы	нуль

Например, производится измерение диаметра вала $\varnothing 100^{+0,020}_{-0,020}$ мм. Допуск вала $T_d = 63$ мкм (в ГОСТ 8.650 обозначен Ал). Погрешность измерения составляет 25% от допуска ($63 \cdot 0,25 = 16$ мкм), а изменение погрешности из-за действия влияющих величин $\delta_{ин.л.} = 0,35 \cdot 16 = 5,6$ мкм. ГОСТ 8.050 приводит таблицу со значениями пределов допускаемых значений $\delta_{ин.л.}$ (погрешность из-за действия влияющих величин) в зависимости от допуска на размер Ал. В таблице учтено уменьшение процента при расчете погрешности измерений. Он уменьшается (от 35% до 20%) с увеличением допуска на размер.

При проведении поверки средств измерений должны соблюдаться нормальные условия согласно ГОСТ 8.395. Для нормальных условий поверки принята такая область совокупности влияющих величин, под действием которых погрешность поверяемого средства измерений может составлять не более чем 35%.

При подготовке к измерениям необходимо определить рабочее пространство - часть пространства, окружающего средство и объект

измерения. Если рабочее пространство не установлено, нормальные условия измерений обеспечиваются во всем помещении, где выполняются измерения.

При точных измерениях для поддержания нормальных условий применяют специальные средства защиты от воздействия влияющих величин. Так, влияние температуры исключают путем термостатирования – обеспечение определенной температуры в рабочем пространстве. Чтобы уменьшить влияние изменения атмосферного давления, применяют барокамеры. С целью устранения вибрации применяют амортизаторы и т.п.

При выполнении измерений в открытом пространстве при высокой или низкой температуре соблюдать нормальные условия часто невозможно. В таких случаях устанавливают условия выполнения измерений, называемые рабочими условиями. Если необходимо сопоставить результаты измерений, полученные в разных рабочих условиях, их приводят к нормальным условиям, для чего фиксируют действительные значения влияющих величин или их пределы.

1.5.3. Выбор средств измерения

Качество измерений зависит от правильного выбора средств измерений. Измерения, проведенные средствами измерений более низкого класса точности, чем это требуется, имеют малую ценность, а иногда они недопустимы, т.к. приводят к неправильной оценки точности измеряемой величины.

Применение точных средств измерений связано с большими материальными затратами. Поэтому при их выборе необходимо учитывать не только метрологические, но экономические и другие показатели. Обычно при выборе средств измерений учитывают измеряемую величину, метод измерения, диапазон измерений, характеристики погрешности средств измерений, условия проведения измерений, допускаемую погрешность измерений, стоимость средств измерений, простоту их в эксплуатации.

Основными характеристиками средств измерений является погрешности. Они наиболее существенно влияют на качество измерений, поэтому при выборе средств измерений их рассматривают в первую очередь. При выборе измерительных средств по точности необходимо учитывать требования к погрешности результата измерения и долю ее, приходящуюся на погрешность используемых средств измерений.

При выборе средств измерений по точности определяют суммарную погрешность измерения и сравнивают ее с допустимой

$$\Delta Z = \Delta M + \Delta_{\text{си}} + \Delta_{\text{усл}} + \Delta_0 < \Delta_d, \quad (1.11)$$

где Δ_m – предельная погрешность метода измерения; $\Delta_{си}$ – предел допускаемой погрешности используемых средств измерений; $\Delta_{усл}$ – предельная погрешность, обусловленная влиянием внешних факторов; Δ_o – предельная погрешность оператора; Δ_d – допускаемая погрешность измерения.

Рассмотрим влияние погрешности измерений при разбраковке изделий. Если бы контроль осуществляется абсолютно точными средствами измерений, все изделия, находящиеся в поле допуска, были бы признаны годными, а те изделия, у которых измеряемый параметр превышает допуск, были признаны негодными.

Из-за существования погрешности измерений при контроле часть негодных изделий будет признана годными (брак контроля 2-ого рода), а часть годных изделий – негодными (брак контроля 1-ого рода).

В случае, когда сведения о точности технологического процесса отсутствуют, но известен допуск контролируемого параметра, руководствуются масштабами производства контролируемых параметров, требованиями к их качеству, количеством контролируемых параметров и т.п. и оценивают допустимые значения брака контроля 1-ого и 2-ого рода. Воспользовавшись таблицей, приведенной в ГОСТ 8.051, находят отношение среднего квадратичного отклонения погрешности измерений к допуску на контролируемый параметр. Зная допуск, находят среднее квадратичное отклонение S , по которому определяют допустимую погрешность измерения $\Delta_d = 2S$.

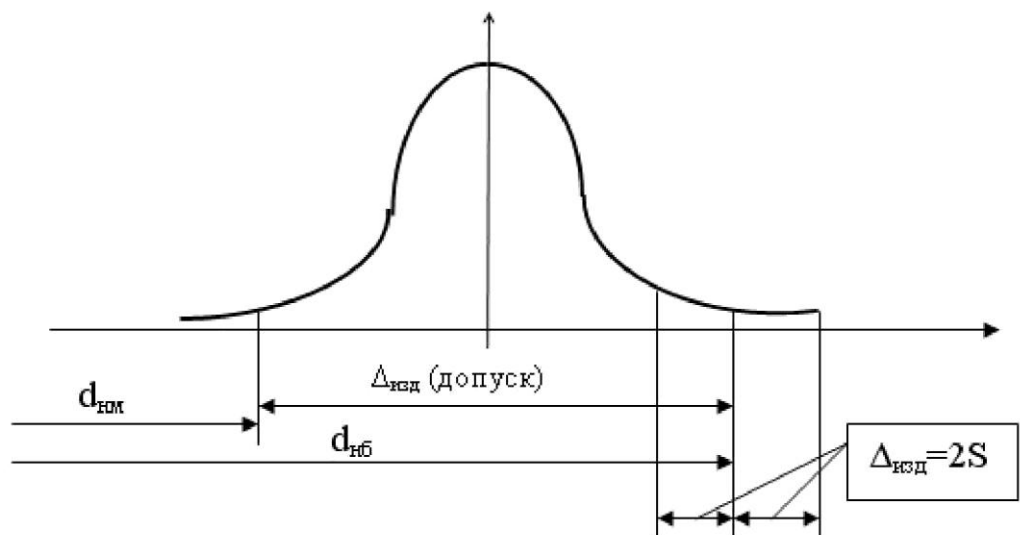


Рис 1.12. Брак контроля первого и второго рода

Например, допуск на контролируемый параметр равен 3мм, допустимый брак 1-го рода составляет 3,5%, допускаемый брак контроля 2-го рода 2,7%. По табл. 1.3 находим $S/\Delta_{изд}=8\%$.

Следовательно $S=\Delta_{изд} \cdot 0,08=3 \cdot 0,08=0,24$ мм. Отсюда предельная погрешность измерения $\Delta_d=2 \cdot 0,24=0,48$ мм.

Таблица 1.3

Зависимость брака контроля 1-го и 2-го рода от отношения $S/\Delta_{изд}$ при нормальном распределении измеряемых параметров

$S/\Delta_{изд}$, в %	n, в %	m, в %
1,6	0,70-0,75	0,37-0,39
3	1,20-1,30	0,87-0,90
5	2,00-2,25	1,60-1,70
8	3,40-3,70	2,00-2,80
10	4,50-4,75	3,10-3,50
12	5,40-5,80	3,75-4,10
16	7,80-8,25	5,00-5,40

1.5.4. Выбор метода измерений

Метод измерения представляет собой совокупность приемов применения средств измерений и характеризуется совокупностью тех физических явлений, на которых основаны измерения.

Наибольшее распространение получил метод непосредственной оценки, при которой измеряемую величину определяют непосредственно по отсчетному устройству средств измерений. Метод прост, не требует особых действий оператора и дополнительных вычислений. Основное внимание при измерениях этим методом уделяется используемым средствам измерений, т.к. они служат основными источниками погрешности измерений.

Если необходимо выполнить точное измерение, применяют дифференцированный или нулевой метод. Эти методы являются разновидностью метода сравнения с мерой. Для них характерно существования высокоточной меры. Погрешность этих методов характеризуется в основном погрешностью используемой меры.

При измерении массы часто используют метод замещения, который дает возможность уменьшить систематическую погрешность измерения на равноплечих весах.

1.5.5. Выбор числа измерений

Объем работы при выполнении измерений в значительной степени зависит от числа измерений. Число измерений определяется в основном требованиями к точности результата измерений. Путем увеличения числа измерений можно уменьшить случайную погрешность измерений. Однако в погрешности результата измерений помимо случайной составляющей может присутствовать и систематическая. Обычно действие систематической погрешности сводится к минимуму путем введения поправок. Погрешности поправок и неподдающиеся исключению систематические погрешности составляют неисключенные систематические погрешности. Поэтому случайную погрешность имеет смысл уменьшить только до разумных значений, зависящих от границ неисключенных систематических погрешностей.

На рис. 1.13. представлены графики изменения суммарной погрешности многократного измерения по сравнению с погрешностью однократного измерения. Относительное изменение погрешности $\gamma(n)$ приведено для различных соотношений неисключенной систематической погрешности Q к случайной погрешности, которая характеризуется средним квадратичным отклонением S , т.е. Q/S .

Из рисунка видно, что погрешность результата измерения при увеличении числа измерений может сначала резко уменьшаться, а достигая некоторое значения n , более или менее стабилизироваться.

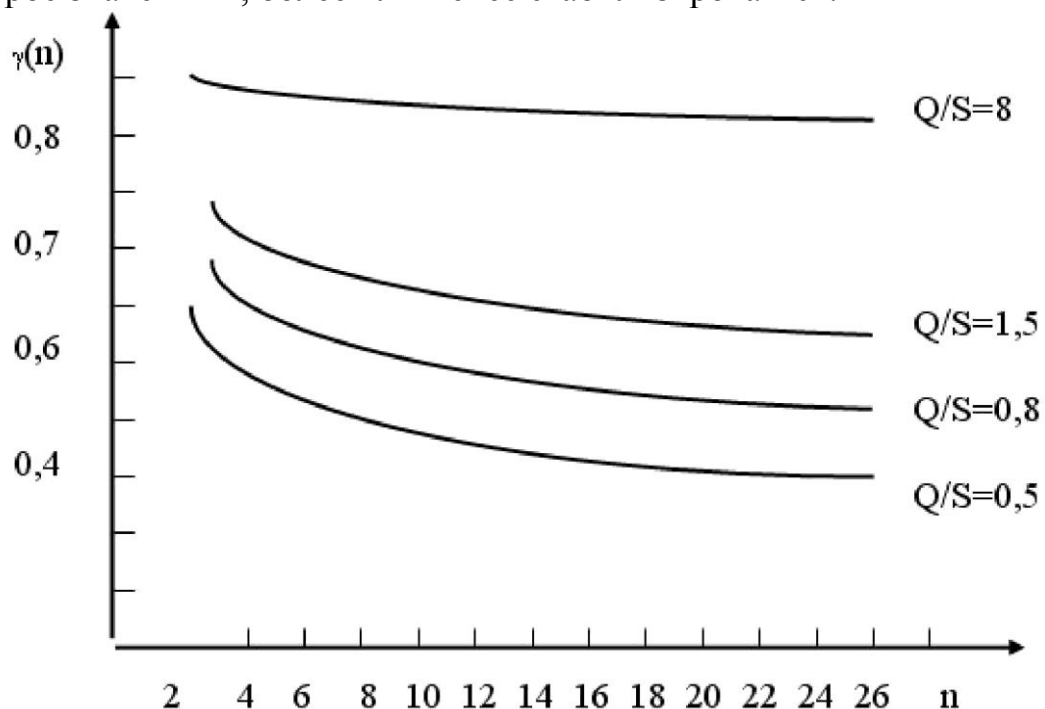


Рис. 1.13. Изменения погрешности результата измерений при увеличении числа измерений для различных соотношениях Q/S

При $Q/S=8$ кривая практически не зависит от n , поэтому при таком соотношении погрешностей нет смысла проводить многократные измерения. А, например, при соотношении $Q/S=1,5$ увеличение числа измерений n до 10 приводит к уменьшению суммарной погрешности результата измерения на 20%. Дальнейшее увеличение числа измерений нецелесообразно, т.к. дает незначительное уменьшение погрешности.

1.5.6. Подготовка оператора

Качество измерений в значительной степени зависит от квалификации оператора. При подготовке к измерениям оператору необходимо:

- ознакомится с процедурой выполнения измерений и последовательностью операций, с инструкциями по эксплуатации применяемых средств измерений;

- убедится, что средства измерений прошли поверку.

При проведении измерений оператор должен:

- соблюдать условия измерений и поддерживать их в заданном режиме;

- соблюдать технику безопасности;

- не допускать перерыва в проведении отсчетов, если указано, что отсчеты должны выполняться непрерывно;

- вести тщательную запись отсчетов;

- определять возможные источники систематических погрешностей и методы их исключения.

Качество работы оператора определяется и погрешностью округления при снятии отсчетов. Погрешность округления не должна превышать 10% от общей погрешности измерения.

1.5.7. Апробирование средств измерений

Перед выполнением измерений оператор апробирует средства измерений (проверяет действие органов управления, регулирования и коррекции). Переключатели и регулировочные элементы должны иметь четкую фиксацию во всех положениях, обладать плавностью регулирования.

При измерении электрических величин необходимо проверить установку указателя на нуль при включении и выключении питания, исправность источников питания и т.п.

При измерении пружинными измерительными головками надежно закрепляют фиксатор движения хода измерительного стержня. У силоизмерительных машин проверяют заземляющее устройство, обеспечивающего равномерного, без рывков, приложения силы.

Если измерительный процесс автоматизирован, то перед проведением измерений через систему пропускают определенный тест и проверяют результат, полученный на выходе системы. Это позволяет апробировать измерительную систему, убедиться в правильности ее функционирования, удостовериться в ее точности.

1.6. Методики выполнения измерений

Единство одних и тех же измерений обеспечивается едиными правилами и способами их выполнения. Чтобы этого добиться, унифицируют требования к модели, средствам измерений, условиями их проведения и т.п., при этом процедура измерений должна строиться так, чтобы она была максимально экономически выгодна.

Содержание методик определено ГОСТом 8.467. Согласно этому стандарту методики должны содержать следующие разделы:

- нормы точности измерений;
- используемые средства измерений;
- методы измерений;
- требования безопасности;
- требования к квалификации оператора;
- условия выполнения измерений;
- выполнение измерений;
- обработка и оформление результатов измерений.

В раздел *“Нормы точности измерений”* включают требования к точности выполняемых измерений, их устанавливают на основании предварительного исследования возможных источников погрешности измерений. При этом оценивают все составляющие погрешности измерения (погрешность средства измерений, метода измерений, оператора и т.п.). Нормы точности представляют в любой удобной форме (таблица, графики, уравнения). В тех случаях, когда нормы точности измерений установлены нормативно – техническими документами, во вводной части методики выполнения измерений дают ссылку на этот документ.

Раздел *“Средства измерений и вспомогательные устройства”* должен содержать перечень средств измерений и других технических средств, необходимых для выполнения измерений. Средства измерений должны пройти поверку (калибровку) и иметь свидетельство о поверке или поверочные клейма.

В разделе *“Метод измерений”* дается описание физического принципа, положенного в основу метода. Метод должен быть хорошо проанализирован, при анализе необходимо оценить его погрешность.

Раздел *“Требования безопасности”* составляют не всегда. Он необходим в том случае, если принимаются специальные меры для

обеспечения безопасности при эксплуатации средств измерений, например, пожаро- и взрывобезопасность, также для источников ионизирующих излучений, высоких напряжений и т.п. При изложении этого раздела следует руководствоваться требованиями ГОСТа 1.26.

Раздел *“Требования к квалификации оператора”* составляют в случае, если погрешность метода измерений определяется субъективными свойствами оператора и если эта погрешность составляет значительную часть в общей погрешности результата. Например, яркостную температуру лампы оператор определяет путем визуального сравнения яркости образцовой и поверяемой ламп.

При наличии такого раздела в методике выполнения измерения в него включают сведения об уровне квалификации (профессии, образовании, практическом опыте и т.п.) лиц, допускаемых к выполнению подобных измерений и обработке их результатов.

Раздел *“Условия выполнения измерений”* обычно содержит перечень влияющих величин, их номинальные значения и пределы допустимых отклонений от них.

В разделе *“Подготовка к выполнению измерений”* указывают подготовительные работы, которые необходимо провести перед измерениями (исследование источников влияющих величин, определение значений тех или иных констант, используемых при получении результата измерений и т. п.).

В разделе *“Выполнение измерений”* указывают перечень, объем и последовательность проведения операций, которые необходимо выполнять при измерениях, дают их описание.

В раздел *“Обработка результатов измерений”* включают описание способов получения результатов измерений.

Раздел *“Оформление результатов измерений”* должен содержать требования к форме представления окончательных результатов измерений.

1.7. Контрольные вопросы к разделу 1

1. Что называется измерением?
2. Дайте определение физической величины и приведите несколько примеров.
3. В чем отличие действительного и истинного значений физической величины?
4. Как классифицируются измерения по общим приемам получения результатов?
5. В чем различие между прямыми и косвенными измерениями?
6. Что означают совместные и совокупные измерения?
7. В чем различие абсолютных и относительных измерений?
8. Для чего используют равноточные и неравноточные измерения?

9. В чем отличие однократных измерений от многократных?
10. Что означают статические и динамические измерения?
11. В чем отличие метода непосредственной оценки результатов измерений от методов сравнения с мерой?
12. Перечислите методы сравнения с мерой.
13. Какие существуют основные виды средств измерений?
14. Что означает мера?
15. Какие измерительные приборы Вы знаете?
16. Что такое измерительный преобразователь?
17. Что представляет собой вспомогательное средство измерений?
18. Что такое измерительная система и измерительно-вычислительный комплекс?
19. Какие основные метрологические показатели измерительных приборов Вы знаете?
20. Что называют ценой действия шкалы?
21. Что такое диапазон измерения прибора?
22. Из каких ошибок складывается суммарная погрешность измерения?
23. Перечислите основные этапы подготовки к измерениям.
24. Какие основные условия влияют на линейные измерения?
25. Как осуществляется выбор средств измерения?
26. Перечислите основные разделы методики измерения.

6.1. Классификация методов и средств измерений, испытаний и контроля

Измерения, испытания и контроль являются основными методами оценки соответствия при сертификации. Особенности их применения определяются задачами, которые решает испытательная лаборатория при сертификации (табл. 6.1).

Задача испытания – получение количественных или качественных оценок характеристик продукции, т. е. оценивание способности выполнять требуемые функции в заданных условиях. Эта задача решается в испытательных лабораториях, её решением является подготовленный протокол испытаний с указанием параметров продукции.

Таблица 6.1.

Соотношение понятий «измерение», «испытание», «контроль»

Термин	Цель	Качество	Показатели точности
--------	------	----------	---------------------

Измерение	Определение значения величины (параметра)	Степень близости результатов измерения действительному значению	Погрешность измерения $\Delta_{изм}$
Испытание	То же, при заданных режимах и воздействующих факторах, определяющих значение величины (параметра)	То же, при заданных режимах испытания и воздействующих факторах	$\Delta_n = \Delta_p + \Delta_\phi + \Delta_{изм}$ где Δ_p - погрешность режима; Δ_ϕ - погрешность факторов
Контроль	Установление факта нахождения величины (параметра) в заданном допуске при заданных режимах испытания и воздействующих факторах	Степень достоверности нахождения параметра в допустимых пределах	Вероятность ошибок I и II рода с учетом Δ_n

ВИДЫ КОНТРОЛЯ

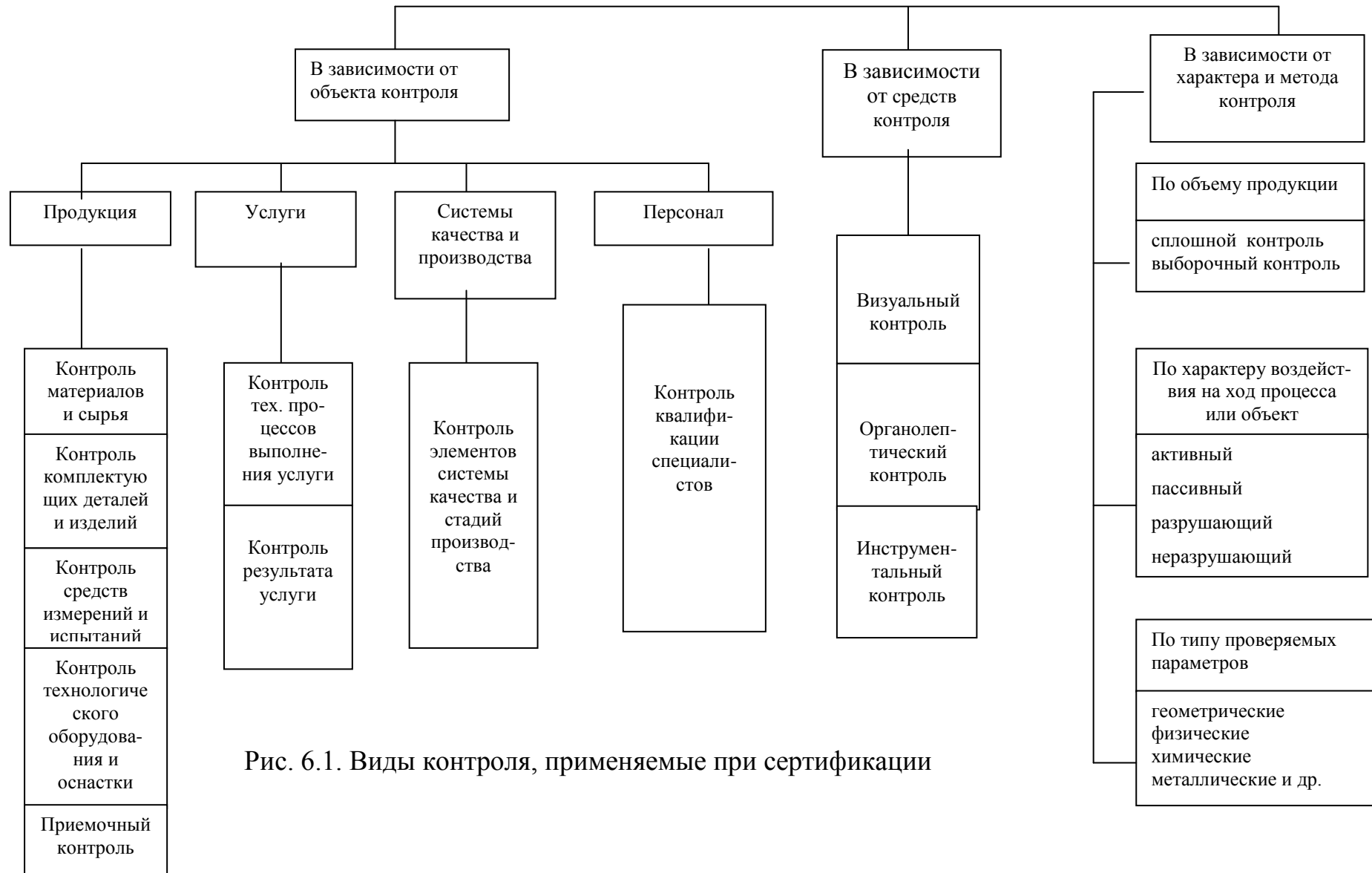


Рис. 6.1. Виды контроля, применяемые при сертификации

Задача контроля – установление соответствия характеристик продукции заданным в нормативных документах требованиям, в том числе и по результатам испытаний. Эту задачу решают эксперты органа по сертификации на основании протокола испытаний. Поэтому задачу контроля можно назвать задачей экспертной оценки.

При сертификации продукции обе эти операции связаны с изменениями параметров. Системы сертификации систем качества и услуг предусматривают оценку соответствия без применения измерительной техники с помощью визуальных и органолептических методов (аудиты, проверки, опросы и т. п.). При сертификации персонала осуществляется сертификационный экзамен по установленным правилам.

На рис 6.1. представлена классификация видов контроля, применяемых при сертификации. В зависимости от объекта контроля может быть контроль продукции, услуг, систем качества (производств) и персонала. Все объекты контролируются на соответствие требованиям норм, установленным на сырье, материалы, изделия, оборудование и инструмент. Одной из важнейших характеристик объектов контроля является их контролепригодность, удобство и надежность её контроля при изготовлении, испытании, техническом обслуживании и ремонте.

Кроме названных объектов контролю подвергаются элементы системы качества и стадии процесса производства. Контроль после какой-либо операции на станке, прессе, сборке называется операционным. После изготовления готовой детали, узла или изделия в качестве готовой продукции применяют приемочный контроль; проводится контроль комплектности, упаковки и транспортирования и, наконец, контроль хранения. Какие параметры подлежат контролю и каким инструментом или прибором контролируется объект при операционном контроле, регламентируется картой технологического процесса в графе «контрольная операция». Приемочный контроль проводят по государственным стандартам, общим техническим условиям.

Проверка соответствия характеристик, режимов и других показателей названных стадий производства и составляет суть контролируемых операций.

Контроль объектов или стадий процесса производства может быть: *летучим* – срок проведения его не регламентирован; *периодическим* – проводится через определенный промежуток времени (часы, сутки, месяцы); *непрерывным* – ведется непрерывно (постоянно). В зависимости от средств контроля различают контроль: *визуальный*, когда объект контроля подвергается осмотру и определяется его соответствие требованиям НТД (все ли операции выполнены, наличие маркировки, сопроводительной документации); *органолептический* – субъективный метод контроля, проводится специалистами – экспертами (оценка в баллах); *инструментальный* – контроль, осуществляемый при помощи измерительного инструмента, калибров, приборов, стендов, испытательных машин и др. Последний вид контроля может быть ручным, автоматизированным и автоматическим. При ручном контроле используется ручной измерительный инструмент (штангенциркули, микрометры, калибры, скобы, индикаторы и т. д.) для проверки деталей и

изделий. Данный контроль весьма субъективен: даже при сплошном контроле вручную обнаруживается лишь 2-4% дефектных деталей. Автоматизированный контроль связан с использованием специальных средств, позволяющих исключить субъективизм при измерении. Наиболее прогрессивным является автоматический контроль, т. е. при изготовлении деталей и узлов встраиваются автоматические средства контроля, с помощью которых осуществляют непрерывный контроль. Этот вид контроля широко применяется при производстве подшипников качения.

В зависимости от объема продукции различают контроль: *сплошной*, при котором решение о качестве контролируемой продукции принимается по результатам проверки каждой единицы продукции; *выборочный*, при котором решение о качестве принимается по результатам проверки одной или нескольких выборок (в зависимости от требований НТД) из партии или потока продукции.

По характеру воздействия на ход производственного процесса различают активный и пассивный контроль. При *активном* контроле (он осуществляется приборами, встроенными в технологическое оборудование) полученные результаты используются для непрерывного управления процессом изготовления изделий. *Пассивный* контроль лишь фиксирует полученный результат.

По характеру воздействия на объект контроль может быть *разрушающим*, при котором продукция становится непригодной для дальнейшего использования по назначению, и *неразрушающим*.

По типу проверяемых параметров выделяют контроль *геометрических параметров* (линейные, угловые размеры, форма и расположение поверхностей, осей, деталей, узлов и агрегатов и т. д.), *физических свойств* (электрических, теплотехнических, оптических и др.), *механических свойств* (прочность, твердость, пластичность при различных внешних условиях); *микро- и макроструктур* (металлографические исследования); *химических свойств* (химический анализ состава вещества, химическая стойкость в различных средах), а также *специальный контроль* (свето-, газонепроницаемость, герметичность).

Процесс контроля при сертификации является организованной системой. Ему присущи определенные признаки, характеризующие его целевую направленность, назначение и содержание. Основными элементами процесса являются объект, метод и исполнитель контроля, а также нормативно-техническая документация по контролю.

При организации процессов контроля, прежде всего технического, можно использовать ГОСТ 14.317-75, в котором указаны основные этапы разработки операций, применяемых при техническом контроле. Испытание продукции – это разновидность контроля, поэтому им также присущ системный подход. В систему испытаний входят следующие основные элементы: объект (изделие, продукция), категория испытания, средства для проведения испытания и замеров (испытательное оборудование и порочные или регулирующие средства), исполнитель испытания (программа, методики).

На рис. 6.2 приведена классификация основных видов испытаний.

В зависимости от стадии жизненного цикла продукции проводятся следующие испытания:

- исследования – исследовательские;
- разработка – доводочные, предварительные, приемочные;
- производство – квалификационные, предъявительские, приемосдаточные, периодические, типовые, инспекционные, сертификационные;
- эксплуатация – подконтрольная эксплуатация, эксплуатационные периодические, инспекционные.

Исследовательские испытания при необходимости при необходимости проводят на любых стадиях жизненного цикла продукции. В процессе производства продукции покупные материалы, комплектующие изделия могут подвергаться контрольным испытаниям при входном контроле, а составные части собственного изготовления – при операционном. Исследовательские испытания проводят для изучения поведения объекта при том или ином внешнем воздействующем факторе (ВВФ) или в том случае, если нет необходимого объема информации. Чаще всего это бывает, когда объект недостаточно изучен, например, при исследовательских работах, проектирования, ремонта и технического обслуживания.

В цехах опытного производства по эскизам изготавливают модели, макеты, опытные образцы сборочных узлов или деталей, которые затем испытывают. В процессе испытаний оценивают работоспособность образца, правильность конструкторского решения, определяют возможные характеристики, выясняют закономерности и тенденции изменения параметров. Различные проверки проводят по специальной программе, которую разрабатывает ведущий конструктор.

Исследовательские испытания проводят в основном на типовом представителе с целью получения информации о совокупности всех объектов данного вида. Таким образом, эти испытания проводятся для изучения характеристик свойств объекта, формирования исходных требований к продукции, выбора технических решений, определения характеристик продукции и её составных частей, выбора наиболее эффективных методов производства, эксплуатации (применения) и контроля продукции; определения условий эксплуатации.

Исследовательские испытания часто проводят как определительные и оценочные. Цель *определительных* испытаний - нахождение значений одной или нескольких величин с заданной точностью и достоверностью. Иногда при испытаниях надо лишь установить факт годности объекта, т. е.. определить, удовлетворяет ли данный экземпляр из ряда объектов данного вида установленным требованиям или нет. Такие испытания называются *оценочными*.



Рис. 6.2. Классификация основных видов испытаний

Испытания, проводимые для контроля качества объекта, называются *контрольными*. Назначения контрольных испытаний – проверка на соответствие техническим условиям определенных экземпляров комплектующих изделий или составных частей при изготовлении. В результате испытаний полученные данные сопоставляют с установленными в технических условиях и делают заключение о соответствии испытываемого (контролируемого) объекта нормативно-технической документации (документации на поставку комплектующих изделий).

Доводочные испытания проводят на стадии НИОКР для оценки влияния вносимых в техническую документацию изменений, чтобы обеспечить достижение заданных значений показателей качества продукции. Необходимость испытаний определяет разработчик либо при составлении технического задания на разработку, либо в процессе разработки; он же составляет программу и методику испытаний.

Испытаниям подвергают опытные или головные образцы продукции и её составные части. Испытания, как правило, проводит или организует разработчик, привлекая к ним при необходимости изготовителя.

Цель *предварительных испытаний* – определение возможности предъявления образцов на приемочные испытания. Испытания проводят в соответствии со стандартом или организационно-методическим документом министерства, ведомства, предприятия. При отсутствии последних необходимость испытаний определяет разработчик. Программа предварительных испытаний максимальна приближена к условиям эксплуатации изделия. Организация проведения испытаний такая же, как и при доводочных испытаниях.

Предварительные испытания проводят аттестованные испытательные подразделения с использованием аттестованного испытательного оборудования. Продукцию, закрепленную за головными организациями, испытывают с их участием или под их контролем. По результатам испытаний оформляют акт, отчет и определяют возможность предъявления изделия на приемочные испытания.

Приемочные испытания проводят для определения целесообразности и возможности постановки продукции на производство. Приемочные испытания изделий единичного производства проводят для решения вопроса о целесообразности передачи этих изделий в эксплуатацию. Испытаниям подвергают опытные или головные образцы (партии) продукции. При поставке на производство семейства, гаммы или типоразмерного ряда продукции типовой предъявитель выбирают исходя из условия возможности распространения результатов его испытаний на всю совокупность продукции. Приемочные испытания проводят аттестованные испытательные подразделения с использованием аттестованного испытательного оборудования. Продукцию, закрепленную за головными организациями по испытаниям, проверяют указанные организации.

По видам продукции, не закрепленной за головной организацией по государственным испытаниям, проведение испытаний организует одна из

сторон – заказчик (основной потребитель), разработчик или изготовитель при участии других сторон под руководством приемочной комиссии в аттестованных испытательных подразделениях.

При приемочных испытаниях контролируют все установленные в техническом задании значения показателей и требований. Приемочные испытания образцов модернизированной или модифицированной продукции по возможности проводят путем сравнительных испытаний образцов этой продукции и образцов выпускаемой продукции.

Квалификационные испытания проводят в следующих случаях: при оценке готовности предприятия к выпуску конкретной серийной продукции, если изготовители опытных образцов и серийной продукции разные, а также при постановке на производство продукции, освоенной на другом предприятии. В остальных случаях необходимость проведения квалификационных испытаний устанавливает приемочная комиссия. Испытаниям подвергают образцы из установочной серии (первой промышленной партии), а также первые образцы продукции, выпускаемой по лицензиям и освоенной на другом предприятии.

Приемосдаточные испытания проводят для принятия решения о пригодности продукции к поставке или её использованию. Испытания проводит служба технического контроля изготовителя с участием в установленных случаях представителя заказчика. При наличии на предприятии государственной приемки приемосдаточные испытания проводят её представители. При испытаниях контролируют значения основных параметров и работоспособность изделия. При этом контроль установленных в НТД показателей надежности изделий может осуществляться косвенными методами.

Порядок испытаний установлен в государственном стандарте общих технических требований или технических условиях, а для продукции единичного производства – в техническом задании.

Периодические испытания проводят с целью:

- периодического контроля качества продукции;
- контроля стабильности технологического процесса в период между очередными испытаниями;
- подтверждения возможности продолжения изготовления изделий по действующей документации и их приемки;
- подтверждения уровня качества продукции, выпущенной в течении контролируемого периода;
- подтверждения эффективности методов испытания, применяемых при приемочном контроле.

Периодические испытания предназначены для продукции установившегося серийного (массового) производства. При их проведении контролируют значения показателей, которые зависят от стабильности технологического процесса, но не проверяются при приемосдаточных испытаниях. Для испытаний представляют образцы продукции, отобранные в

соответствии с государственными стандартами, техническими условиями и прошедшие приемосдаточные испытания.

Программа периодических испытаний разнообразна и максимально приближена к условиям эксплуатации.

Типовые испытания – контроль продукции одного типоразмера, по единой методике, который проводят для оценки эффективности и целесообразности изменений, вносимых в конструкцию или технологический процесс. Испытаниям подвергают образцы выпускаемой продукции, в которых внесены изменения. Проводит эти испытания изготовитель с участием представителей государственной приемки или испытательная организация. Программу испытаний устанавливают в зависимости от характера внесенных изменений.

Инспекционные испытания осуществляются выборочно с целью контроля стабильности качества образцов готовой продукции и продукции, находящейся в эксплуатации. Их проводят специально уполномоченные организации (органы госнадзора, ведомственного контроля, организации, осуществляющие внешнеторговые операции и др.) в соответствии с НТД на эту продукцию по программе, установленной организацией, их выполняющей, или согласованной с ней.

Сертификационные испытания проводят для определения соответствия продукции требованиям безопасности и охраны окружающей среды, а в некоторых случаях и важнейших показателей качества продукции: надежности, экономичности и т. д. Сертификационные испытания – элемент системы мероприятий, направленных на подтверждение соответствия фактических характеристик продукции требованиям НТД. Сертификационные испытания, как правило, проводят независимые от производителя испытательные центры. По результатам испытаний выдается сертификат или знак соответствия продукции, что особенно важно при внешнеторговых операциях. Программу и методы испытаний устанавливают в сертификационной документации и указывают в положении по сертификации данного вида продукции с учетом особенностей её изготовления, испытаний и поставки.

Подконтрольную эксплуатацию проводят для подтверждения соответствия продукции требованиям НТД в условиях её применения, получения дополнительных сведений о надежности, рекомендаций по устранению недостатков, повышению эффективности применения, а также для получения данных, которые учитывались бы при последующих разработках. Для подконтрольной эксплуатации выделяют образцы, которые создают условия, близкие к эксплуатационным. Для серийной продукции предпочтительно ставить на подконтрольную эксплуатацию образцы, прошедшие квалификационные или периодические испытания. Результаты подконтрольной эксплуатации (сведения об отказах, техническом обслуживании, ремонте, расходе запасных частей и др.) потребитель вносит в извещения, которые отправляет изготовителю (разработчику), или в журнал на месте эксплуатации.

Эксплуатационные периодические испытания проводят для определения возможности или целесообразности дальнейшей эксплуатации (применения) продукции в том случае, если изменение её показателя качества может создать угрозу безопасности, здоровью, окружающей среде или привести к снижению эффективности её применения. Испытаниям подвергают каждую единицу эксплуатируемой продукции через установленные интервалы наработки или календарного времени. Испытания проводят органы госнадзора в соответствии с положением о них или потребитель. При испытаниях контролируют соответствие продукции нормам и требованиям по безопасности и экологии, установленным в НТД (стандартах, инструкциях, правилах), а также нормам и требованиям, определяющим эффективность её применения и приведенным в эксплуатационных документах.

Допускается совмещать следующие категории испытаний:

- предварительные с доводочными;
- приемочные с приемосдаточными – для продукции единичного производства;
- приемочные с квалификационными – при приемочных испытаниях;
- головных или опытных образцов (опытных партий) с подготовленным технологическим процессом для серийного производства на этом этапе;
- периодические с типовым – при согласии заказчика (основного потребителя), кроме продукции, подлежащей государственной приемке;
- сертификационные с приемочными и периодическими.

Испытания проводятся на следующих уровнях:

- государственном – для приемочных, квалификационных, инспекционных, сертификационных и периодических (если их результаты используют при аттестации продукции по категориям качества);
- межведомственном – для приемочных, квалификационных и инспекционных испытаний;
- ведомственном – для приемочных, квалификационных и инспекционных испытаний.

Испытания важнейших видов продукции производственно-технического и культурно-бытового назначения, проводимые в головных организациях по испытаниям именно этих видов продукции, называются государственными. Таким образом, наряду с приемочными испытаниями, т. е. испытаниями для выдачи разрешения на серийное производства, к государственным испытаниям могут относиться квалификационные, периодические (для аттестации продукции по категориям качества), инспекционные и сертификационные. В государственных испытаниях принимают участие представители всех заинтересованных министерств (ведомств).

Межведомственные испытания проводят, как правило, при приемочных испытаниях, когда в комиссии принимают участие представители нескольких

министерств (ведомств). Ведомственные испытания – это испытания, проводимые комиссией из представителей заинтересованного министерства (ведомства). При проведении испытаний необходимо обеспечить их единство, т. е. необходимую точность, воспроизводимость и достоверность результатов испытаний. Обеспечение единства испытаний направлено на устранение расхождений в результатах повторных испытаний у поставщика и потребителя и сокращение объема повторных испытаний. При этом главной целью испытания являются безусловная достоверность и полнота получаемой при испытаниях информации о качестве продукции.

Работы по обеспечению единства испытаний организуются министерствами (ведомствами) под методическим руководством Госстандарта России через головные организации по государственным испытаниям продукции, головные и базовые организации по стандартизации, контрольно-испытательные и метрологические службы объединений, предприятий, организаций. Технической основой обеспечения единства испытаний являются аттестованное испытательное оборудование и поверенные средства измерений, средства аттестации и поверки. Нормативно-методической основой обеспечения единства испытаний являются:

- стандарты и методы испытаний продукции, а также разделы методов испытаний в стандартах и технических условиях на конкретную продукцию;
- программы и методики испытаний продукции;
- организационно-методические документы, устанавливающие порядок деятельности испытательных подразделений, регламентирующие общие требования к испытаниям продукции, а также надзор за их проведением;
- стандарты “Государственной системы обеспечения единства измерений (ГСИ)”.

По условиям и месту проведения различают испытания:

- *лабораторные*, осуществляемые в лабораторных условиях;
- *стендовые*, проводимые на научно-исследовательском оборудовании в испытательных или научно – исследовательских подразделениях.

Испытательное оборудование может выпускаться серийно, например вибрационные стенды для испытаний на вибрацию, ударные стенды и др., а может специально разрабатываться (проектироваться и изготавливаться) в процессе создания нового изделия для его испытания с целью получения каких – либо характеристик (показателей);

- *полигонные*, выполняемые на испытательном полигоне, например испытание автомобилей;
- *натурные* – испытания в условиях, соответствующих условиям по прямому назначению. В данном случае испытываются не составные части изделия или его модель, а только непосредственно изготовленная продукция. Характеристики свойств изделия при натурных испытаниях определяется непосредственно без использования аналитических

зависимостей, отражающих физическую структуру объекта испытаний или его частей;

- *испытания с использованием моделей* проводятся на физической модели (упрощенной, уменьшенной) изделия или его составных частей; иногда при этих испытаниях возникает необходимость в проведении расчетов на математических и физико-математических моделях в сочетании с натурными испытаниями объекта и его составных частей.

По продолжительности, а вернее, по временной полноте проведения испытания могут быть:

- *нормальными*, когда методы и условия проведения обеспечивают получение необходимого объема информации о характеристиках свойств продукции (объекта) в такой же интервал времени, как и в предусмотренных условиях эксплуатации;
- *ускоренные*, когда методы и условия проведения обеспечивают получение необходимой информации о характеристиках объекта в более короткий срок, чем при нормальных испытаниях. Проведение ускоренных испытаний позволяет сокращать затраты средств и времени на создание продукции. Ускорение получения результатов испытаний может быть достигнуто за счет применения повышенных нагрузок, увеличения температур при термических испытаниях и т. д.;
- *сокращенные*, проводимые по сокращенной программе.

По результату воздействия, как и в методах контроля, различают испытания:

- *неразрушающие* – объект испытаний после проведения испытаний может функционировать (эксплуатироваться);
- *разрушающие* – объект после проведения испытаний не может быть использован для эксплуатации.

Наконец, по определяемым характеристикам объекта различают испытания:

- *функциональные* – проводятся с целью определения показателей надежности объекта;
- *на надежность* – проводятся для определения показателей надежности в заданных условиях;
- *на прочность* – проводятся для установления значений воздействующих факторов, при которых определенные характеристики объекта выходят за установленные пределы;
- *на устойчивость* – выполняются для контроля способности изделия реализовывать свои функции и сохранять значения параметров в пределах норм, установленных НТД, во время воздействия на него определенных факторов (агрессивных сред, ударной волны, электрического поля, радиационных излучений и т. д.);

- *на безопасность* – проводятся с целью подтверждения, установления фактора безопасности для обслуживаемого персонала или лиц, имеющих отношение к объекту испытаний;
- *на транспортабельность* – осуществляется с целью определения возможности транспортирования объекта в той или иной таре без нарушения способности объекта выполнять свои функции и сохранять значения параметров в пределах норм;
- *граничные* – проводятся для определения зависимостей между предельно допустимыми значениями параметров объекта и режимом эксплуатации;
- *технологические* – выполняются при изготовлении продукции с целью обеспечения её технологичности.

В руководстве ИСО/МЭК2 дано следующее определение термина «испытание»: *техническая операция, заключающаяся в определении одной или нескольких характеристик данной продукции, процесса или услуги в соответствии с установленной процедурой*. Другое определение дано в ГОСТ 16504-81 «Система государственных испытаний продукции. Испытание и контроль качества продукции. Основные термины и определения». Согласно этому документу, *испытания – экспериментальное определение (оценивание) количественных и (или) качественных свойств объекта как результата воздействия на него при его функционировании, а также при моделировании объекта и (или) воздействии на него*. Основными составляющими процесса испытаний являются следующие:

1. *Объект испытаний* – продукция, подвергаемая испытаниям. Главным признаком объекта испытаний является то, что по результатам испытаний принимается решение по этому объекту: о его годности или браковке, о возможности серийного выпуска и т. п. Характеристики свойств объекта при испытаниях можно определить путем измерений, анализов, диагностирования, применения органолептических методов или регистрации определенных событий при испытаниях (отказы, повреждения) и т. д. При испытаниях характеристики свойств объекта либо оценивают, либо контролируют. В первом случае задачей испытаний является получение количественных или качественных оценок свойств объекта; во втором – только установление соответствия характеристик объекта заданным требованиям.
2. *Условия испытаний* – это совокупность воздействующих факторов и (или) режимов функционирования объекта при испытаниях. Условия испытаний могут быть реальными и моделируемыми, предусматривать определение характеристик объекта при его функционировании и отсутствии функционирования, при наличии воздействия или после их приложения.
3. *Средства испытаний* – это технические устройства, необходимые для проведения испытаний. Сюда входят средства измерений,

испытательное оборудование и вспомогательные технические устройства (рис. 6.3).

4. *Исполнители испытаний* – это персонал, участвующий в процессе испытаний. К нему предъявляются требования по квалификации, образованию, опыту работы, другим критериям.

Нормативно-методическую основу процесса испытаний составляют:

- комплекс стандартов, регламентирующих организационно-методические и нормативно-технические основы испытаний;
- комплекс стандартов системы разработки и постановки продукции на производство;
- комплекс стандартов государственной системы обеспечения единства измерений (ГСИ);
- нормативно-технические и технические документы, регламентирующие требования к продукции и методам её испытаний;
- нормативно-технические документы, регламентирующие требования к средствам испытаний и порядок их использования.

Основным документом, определяющим качество технологического процесса испытаний, является методика испытаний.

С учетом вышеуказанных составляющих на рис. 6.4 приводится структура процесса сертификационных испытаний.

Сертификационные испытания продукции в большинстве случаев проводятся для оценки соответствия функционирующих показателей условиям эксплуатации, способности к воздействию внешних факторов и критериям надежности. Внешние воздействующие факторы (ВВФ) во многом определяют требования к безопасности продукции в сфере её применения и поэтому обычно оцениваются в рамках обязательной сертификации. Надежность как основное потребительское свойство продукции играет существенную роль в её конкурентоспособности на рынке. Показатели надежности часто являются предметом оценки добровольной сертификации.

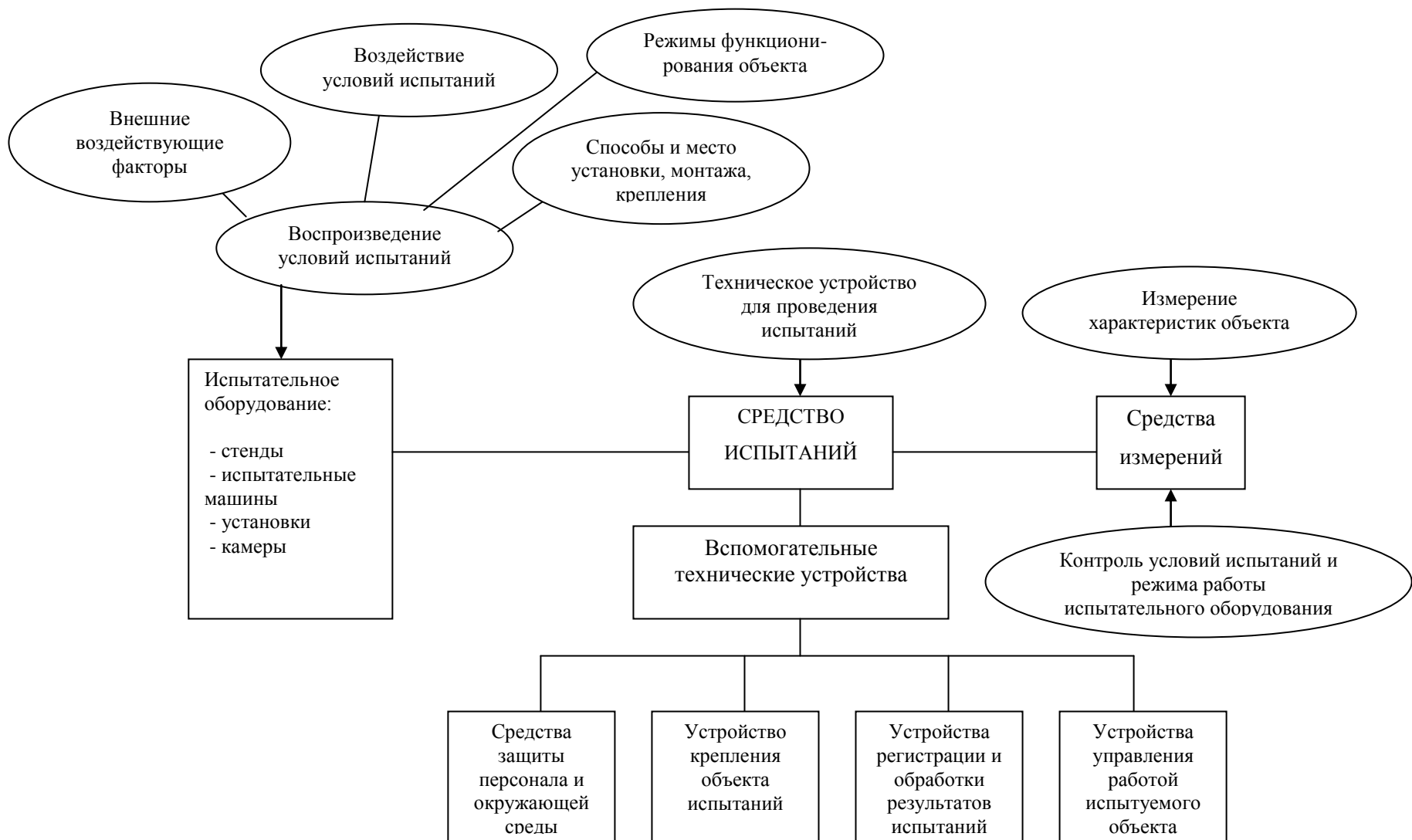


Рис. 6.3. Виды и задачи средств испытаний.

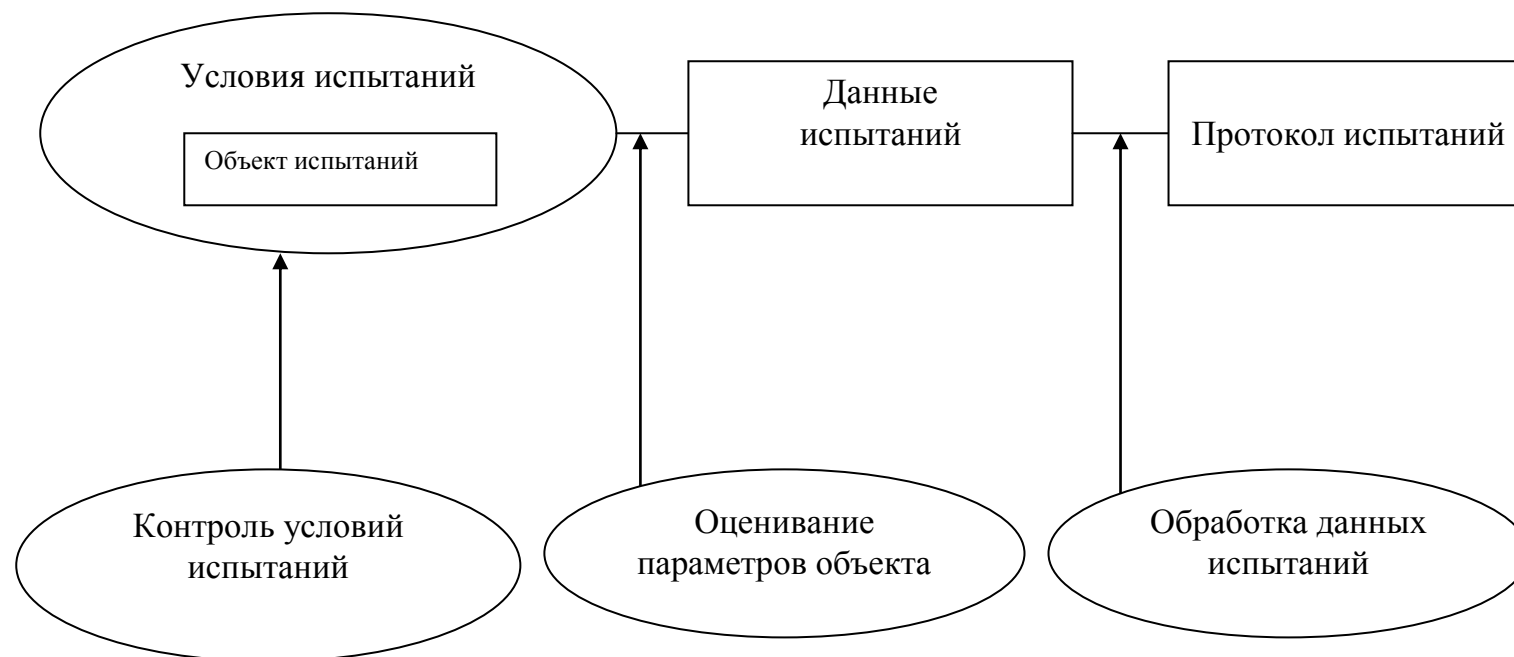


Рис. 6.4. Структура сертификационных испытаний

В зависимости от характера воздействия на изделие все ВВФ делятся на классы: механические, климатические и другие природные, биологические, радиационные, электромагнитных полей, специальных сред, термические[12].

Сертификационные испытания на надежность проводят с целью оценки соответствия показателей надежности продукции технического применения. Для этого в испытательные лаборатории определяются количественные значения показателей надежности.

В зависимости от свойства, которое характеризуется тем или иным показателем, различают показатели безотказности, долговечности, ремонтпригодности и сохраняемости.

Безотказность – свойство объекта непрерывно сохранять работоспособное состояние в течение некоторого времени или некоторой наработки. Безотказность свойственна объекту в той или иной степени в любом из возможных режимов его существования – не только в режиме работы, но и зачастую при его хранении и транспортировании.

Долговечность – свойство объекта сохранять работоспособное состояние до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонта. Объект может перейти в предельное состояние, оставаясь работоспособным, если, например, его дальнейшее применение по назначению станет допустимым по требованию безопасности, экономичности, эффективности и безвредности.

Ремонтпригодность – свойство объекта сохранять и восстанавливать работоспособное состояние путем проведения технического обслуживания или ремонтов. Ремонтпригодность представляет собой сложное свойство, заключающееся в приспособленности объекта к проведению технических обслуживаний или ремонтов, а также учитывающее потребность в проведении технических обслуживаний и ремонтов. Затраты времени и труда определяются в заданных условиях выполнения операций технологического обслуживания и ремонта в части организации технологии, материально-технического обеспечения, квалификации персонала и т. д.

Сохраняемость – свойство объекта сохранять значения показателей безотказности, долговечности и ремонтпригодности в течение срока хранения, а также после него и транспортирования. Сохраняемость объекта характеризуется его способностью противостоять отрицательному влиянию условий и продолжительности хранения и транспортирования на его безотказность, ремонтпригодность и долговечность. Сохраняемость представляют в виде двух составляющих, одна из которых проявляется во время хранения, а другая – во время применения объекта после хранения и транспортирования. Очевидно, что продолжительное хранение и транспортирование в необходимых условиях для многих объектов может отрицательно влиять не только на их поведение во время хранения, но и при последующем применении объекта. Вторая составляющая сохраняемости имеет особенно существенное значение.

Срок сохраняемости – это такая продолжительность пребывания объекта в режимах хранения и транспортирования, при которой изменения значений

показателей безотказности, ремонтпригодности и долговечности объекта, обусловленные его хранением и транспортированием.

6.2. Точность и достоверность сертификационных испытаний и контроля

Параметры продукции, оцениваемые при испытаниях, обычно могут отклоняться от номинального значения Π_H как в одну, так и в другую сторону. Данную ситуацию можно показать неравенством:

$$\Pi'_H < \Pi'_d < \Pi_H < \Pi_d < \Pi_H, \quad (6.1)$$

где

Π'_H, Π_H - предельные отклонения параметра,
 Π'_d, Π_d - допустимые отклонения параметра.

Тогда справедливо следующее: составная часть технической системы (ТС) работоспособна, если $\Pi'_d < x < \Pi_H$;
 требует замены, если $\Pi'_H < x < \Pi'_d$ или $\Pi'_d < x < \Pi_H$;
 неработоспособна, если $\Pi'_H > x$ или $x > \Pi_H$.

При известной плотности $f(x)$ закона распределения значений параметра могут возникать ситуации:

- ТС работоспособна с вероятностью

$$P_1 = \int_{\Pi_H}^{\Pi_d} f(x) dx; \quad (6.2)$$

- ТС неработоспособна, так как требует замены или регулировки по контрольному параметру с вероятностью

$$P_2 = \int_{\Pi_H}^{\Pi_d} f(x) dx + \int_{\Pi_d}^{\Pi_H} f(x) dx; \quad (6.3)$$

- ТС неработоспособна с вероятностью

$$P_3 = \int_{\Pi_H}^{\Pi_d} f(x) dx + \int_{\Pi_H}^{\infty} f(x) dx; \quad (6.4)$$

Вероятности P_1, P_2, P_3 есть априорные вероятности появления события без учета погрешности измерений $\Delta_{изм}$. Последняя, как известно, приведет к деформации закона распределения параметра, и вместо фактической величины x будет зарегистрирована случайная величина $y = x \pm \Delta x$.

На рис. 6.5 графически показана деформация закона распределения $f(x)$ параметра (сплошная линия) за счет погрешности измерения (штриховая линия). В результате образуются зоны I и II, характеризующие соответственно забракование работоспособной и пропуск неработоспособной ТС. Здесь σ_x - СКО измеряемого параметра, а σ_Δ - СКО погрешности измерения. Тогда допуск параметра $T_\Pi = 6\sigma_\Delta$, что приводит к возникновению другой области допустимых значений. Фактические границы примут вид: $a = \Pi_d - \Delta$; $a' = \Pi_d + \Delta$; $b = \Pi_\Pi + \Delta$; $b' = \Pi_\Pi - \Delta$. Поэтому в реальных условиях будет наблюдаться одно из восьми несовместимых событий (табл. 6.2)

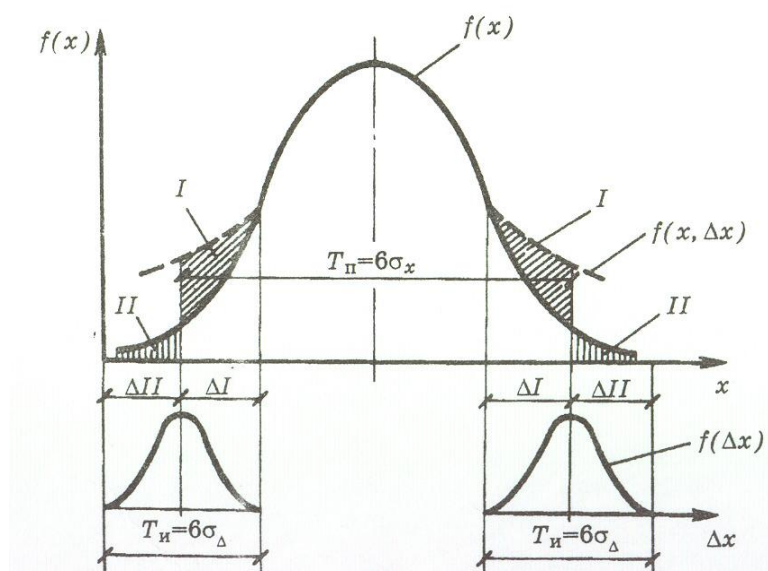


Рис. 6.5. Деформация закона распределения

Таблица 6.2

Вариации границ параметров

Событие	Истинное значение x	Измеренное значение x
H_1	$\Pi_d < x < \Pi_d$	$a' < y < a$
H_2	$\Pi_d < x < \Pi_d$	$y < \Pi_d, y > \Pi_d$
H_3	$x < \Pi_d, x > \Pi_d$	$a' < y < a$
H_4	$x < \Pi_d, x > \Pi_d$	$y < \Pi_d, y > \Pi_d$
H_5	$\Pi_\Pi < x < \Pi_\Pi$	$b' < y < b$
H_6	$\Pi_\Pi < x < \Pi_\Pi$	$y < \Pi_\Pi, y > \Pi_\Pi$
H_7	$x < \Pi_\Pi, x > \Pi_\Pi$	$b' < y < b$
H_8	$x < \Pi_\Pi, x > \Pi_\Pi$	$y < \Pi_\Pi', y > \Pi_\Pi$

События H_1, H_4, H_5 и H_8 соответствуют правильным результатам измерения, а события H_2, H_3, H_6 и H_7 – неверным заключениям. Соответствующие им вероятности $P(H)$ характеризуют степень достоверности D результатов контроля, т. е. его качество:

$$D = P(H_1) + P(H_4) + P(H_5) + P(H_8) = 1 - [P(H_2) + P(H_3) + P(H_6) + P(H_7)] \quad (6.5)$$

Испытателей интересуют и основные события H_2, H_3, H_6 и H_7 , поскольку при событиях H_3 и H_7 «негодный» параметр признается годным. Поэтому назовем сумму $P(H_2) + P(H_6) = P_I$ вероятностью ошибки I рода, а $P(H_3) + P(H_7) = P_{II}$ – вероятностью ошибки II рода. В специализированной литературе эти ошибки называют по-разному: риском поставщика и риском заказчика, ложным и необнаруженным отказами, ложной тревогой и ложным отбоем, ложным стиранием и необнаруженной ошибкой и т. п. Однако физический смысл здесь заложен один: P_I характеризует вероятность забракования по результатам контроля параметра годного элемента, а P_{II} – вероятность признания бракованного элемента годным.

Тогда достоверность контроля, количественно характеризующая вероятность принятия правильного решения по результатам измерений, или степень объективности контрольно-измерительной процедуры, можно оценить как

$$D = 1 - (P_I + P_{II}) \quad (6.6)$$

Если известны плотности вероятностей законов распределения параметра $f(x)$ и погрешности измерений $f(\Delta_{изм})$, то при взаимной независимости этих законов и заданных допустимых верхней x_g и нижней x_n границах значения параметров вероятности ошибок I и II рода в общем виде определяются как

$$P_I = \int_{x_n}^{x_g} f(x) dx \left[\int_{-\infty}^{x_g - x_n} f(\Delta x) d(\Delta x) \right] dx + \int_{x_n}^{x_g} f(x) \left[\int_{x_g - x_n}^{\infty} f(\Delta x) d(\Delta x) \right] dx \quad (6.7)$$

$$P_{II} = \int_{-\infty}^{x_n - x} f(x) dx \left[\int_{x_n - x}^{x_g - x_n} f(\Delta x) d(\Delta x) \right] dx + \int_{x_g - x}^{\infty} f(x) \left[\int_{x_n - x}^{x_g - x} f(\Delta x) d(\Delta x) \right] dx \quad (6.8)$$

Ошибки I рода при сертификационных испытаниях приводят к неверным заключениям при оценке соответствия продукции или услуг, что может послужить причиной для жалоб со стороны заявителя сертификации. Проявление ошибки II рода влечет за собой выдачу сертификата на продукцию,

не соответствующую заданным требованиям. Последствия этого проявляются в ходе эксплуатации сертификационного изделия и могут подорвать доверие к органам по сертификации и испытательным лабораториям со стороны потребителей продукции.

Измерение параметров высокоточными СИ еще не гарантирует высокой достоверности, поскольку кроме СИ на результаты контроля влияет множество других факторов (внешние, внутренние, неинформативные параметры, режим работы и т. д.). Поэтому при эксплуатации ТС целесообразно говорить о погрешности измерений $\Delta_{изм}$ (или $\sigma_{изм}$), которая учитывает все виды основных и дополнительных погрешностей измерения.

Учитывая, что аналитическое определение вероятностей P_I и P_{II} сопряжено со значительными трудностями как математического моделирования, так и вычислительными, для инженерных расчетов можно пользоваться упрощенными формулами или монограммами [21].

6.3. Основные понятия по качеству

Студент должен:

знать:

- основные понятия о качестве продукции;
- показатели качества;

уметь:

- выбирать показатели качества для оценки качества продукции.

Качество продукции и научно-технический прогресс. Основные направления и задачи повышения качества продукции и эффективности производства на трех стадиях «жизненного цикла» продукции.

Показатели качества продукции, условия и факторы, влияющие на качество продукции, уровень качества продукции.

Методические указания

При изучении данной темы следует уяснить, что необходимость улучшения качества продукции обусловлена ростом потребностей населения, постоянно возрастающей сложностью техники, требованием повышения конкурентоспособности на внутреннем и мировом рынках. Низкое качество невыгодно экономически, так как требуются дополнительные расходы на доводку и ремонт изделий, недостаточна эффективность таких изделий при эксплуатации.

Очень большие требования к качеству оборудования в новых отраслях: химической промышленности, атомной энергетике, космической технике и др.,

где неисправность оборудования приводит к катастрофам. Следовательно, повышение качества продукции затрагивает не только технические, но и социальные вопросы.

Повышение качества продукции означает прежде всего создание новых материалов и новых конструкций изделий, основанных на прогрессивных технических решениях.

Новые материалы и конструкции могут быть получены в результате создания новых, более прогрессивных технологий, обеспечивающих высокое качество продукции, заложенное при её разработке.

Большое внимание надо уделять и на правильную эксплуатацию новых изделий, так как от этого зависит объективная оценка их качества.

Надо ознакомиться с показателями качества, которые применяются для оценки качества продукции.

К ним относятся следующие группы показателей:

1. Показатели назначения – характеризуют свойства продукции, определяющие основные функции, для выполнения которых она предназначена. Они подразделяются на классификационные (грузоподъемность, скороходность, производительность, мощность); конструктивные (проектно-конструкторские решения, удобство монтажа, обзора); показатели состава структуры характеризуют содержание в продукции химических элементов; эксплуатационные показатели характеризуют полезный эффект от эксплуатации или потребления продукции.

2. Показатели надежности характеризуют безотказность, долговечность, ремонтпригодность и сохраняемость технических устройств в конкретных условиях использования.

Показатели безотказности характеризуют свойство изделия сохранять работоспособность в течении некоторого времени или некоторой наработки изделия.

Показатели долговечности характеризуют свойства изделия сохранять работоспособность до определенного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонта.

Показатели ремонтпригодности характеризуют свойство изделия, заключающееся в приспособленности к предупреждению причин возникновения отказов, повреждений и устранения их последствий путем ремонта и технического обслуживания.

Показатели сохраняемости характеризуют свойства продукции, обусловленные эксплуатационные показатели в течении и после срока хранения и транспортирования.

3. Показатели технологичности характеризуют свойства продукции, обуславливающие оптимальное распределение затрат материалов, средств, труда и времени при технологической подготовке производства, изготовлении и эксплуатации продукции. К числу основных показателей технологичности относят показатели трудоемкости, материалоемкости, себестоимости (суммарные, удельные, относительные).

4. Эргономические показатели характеризуют систему «человек-машина» и учитывают комплекс гигиенических, антропометрических, физиологических и психологических свойств человека, проявляющихся в производственных и бытовых процессах. К ним относятся следующие подгруппы показателей:

- *гигиенические* – показатели, используемые при определении соответствия изделия гигиеническим условиям жизнедеятельности и работоспособности человека. Например: освещенность, температура, влажность, уровень шума, вибрации, ускорение;
- *антропометрические* – показатели, характеризующие соответствие изделия и его элементов форме и размерам человеческого тела и его частей;
- *физиологические и психофизиологические* – показатели, характеризующие соответствие изделия физиологическим свойствам человека и особенностям функционирования его органов чувств (скоростные и силовые возможности человека, а также пороги слуха, зрения и т. д.);
- *психологические* – показатели, характеризующие соответствие изделия психологическим особенностям человека, возможностям его высшей нервной деятельности.

5. Показатели унификации характеризуют насыщенность продукции стандартными, унифицированными и заимствованными составными частями.

Коэффициент унификации K_y определяется по формуле:

$$K_y = \frac{n - n_0}{n} \cdot 100, \quad (6.9)$$

где n – общее число деталей в изделии, шт;

n_0 - число оригинальных деталей в изделии, шт.

6. Эстетические показатели характеризуют информационную выразительность, рациональность формы, целостность композиции и совершенства производственного исполнения продукции.

7. Патентно-правовые показатели характеризуют новизну и патентную защиту технических решений, используемых при создании продукции.

8. Показатели и транспортабельности характеризуют приспособленность продукции к транспортированию, а также к подготовительным и заключительным операциям, связанным с транспортированием.

9. Экологические показатели характеризуют уровень вредных воздействий на окружающую среду, возникающих при эксплуатации или потреблении продукции.

10. Показатели безопасности характеризуют особенности продукции, обуславливающие безопасность обслуживающего персонала при её эксплуатации или потреблении.

11. Экономические показатели характеризуют суммарные затраты на разработку, производство и эксплуатацию (потребление) продукции

Уровень качества продукции – относительная характеристика качества продукции, основанная на сравнении значений показателей качества оцениваемой продукции с базовыми значениями.

Под оптимальным уровнем качества продукции понимается такое сочетание всех её свойств, которое обеспечивает удовлетворение определенных потребностей при минимальных затратах общественного труда [3,9].

6.4. Надежность в технике.

Студент должен:

иметь представление:

- о методах оценки надежности изделия;

знать:

- понятия: надежность изделия, показатели надежности, оценка надежности изделия;

уметь:

- рассчитывать надежность изделий с различными видами и способами резервирования.

Основные понятия и термины теории надежности. Надежность изделий. Методы оценки надежности изделий. Показатели надежности. Надежность технологических систем.

Методические указания

При изучении темы необходимо помнить, что показатели надежности являются важнейшими показателями качества продукции. Студенту необходимо изучить ГОСТ 27.002-83 «Надежность в технике» и усвоить понятия: надежность, безотказность, долговечность, ремонтпригодность, сохраняемость, зависимые и независимые, внезапные и постепенные отказы.

При выборе показателей надежности все изделия делятся на ремонтируемые и неремонтируемые. К показателям надежности неремонтируемых изделий относятся: вероятность безотказной работы, интенсивность отказов, наработка на отказ.

Вероятность безотказной работы- это вероятность того, что в пределах определенного времени t не произойдет ни одного отказа. Она определяется соотношением:

$$P(t) = \frac{N(t)}{N_0}, \quad (6.10)$$

где N_0 – количество изделий, работавших в начале промежутка времени;
 $N(t)$ – количество исправных изделий в конце промежутка времени.

Например, если $t = 1000$ ч; $N_0 = 1000$; $N(t) = 970$, то вероятность безотказной работы данного изделия в течение 1000 ч равна:

$$P(1000\text{ч}) = \frac{970}{1000} = 0,97. \quad (6.11)$$

Интенсивностью отказов называется вероятность отказа неремонтируемого изделия в единицу времени отнесенная к среднему числу изделий, исправно работающих в данный отрезок времени.

Интенсивность отказов λ определяется по формуле:

$$\lambda = \frac{n(\Delta t)}{N_{cp} \cdot \Delta t}, \quad (6.12)$$

где $n(\Delta t)$ – число изделий, отказавших за время работы Δt ;

N_{cp} – среднее число изделий, исправно работающих в начале и конце интервала Δt ;

Δt – промежуток времени, следующий после t , на котором определяется λ .

Например, если из 1000 изделий за время $\Delta t = 100$ ч вышли из строя 40 изделий, то интенсивность отказов в этом случае будет равна

$$\lambda = \frac{40}{(1000 + 960)/2 \cdot 100} = 4 \cdot 10^{-4} \text{ 1/ч}. \quad (6.13)$$

Средней наработкой до первого отказа T_{cp} является среднее значение наработки изделий в партии до первого отказа. Она определяется по формуле:

$$T_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n T_i}{N_0}, \quad (6.14)$$

где T_i – время работы i -того изделия до первого отказа;

N_0 – число испытываемых изделий.

Надежность ремонтируемых изделий определяется показателями безотказности, долговечности, ремонтпригодности и сохраняемости. При

определении показателей безотказности вводятся новые понятия: поток отказов и наработка между отказами.

Параметром потока отказов $w(t)$ называется среднее количество отказов ремонтируемого изделия в единицу времени, взятое для рассматриваемого промежутка времени. Он определяется по формуле:

$$w(t) = \frac{n(\Delta t)}{N(t) \cdot \Delta t}, \quad (6.15)$$

где $n(\Delta t)$ – число отказов в интервале Δt ;

$N(t)$ – количество работавших изделий в промежутке Δt .

Наработкой на отказ (T) называется среднее значение наработки ремонтируемого изделия между отказами. Её можно определить по формуле:

$$T = \frac{\sum_{i=1}^n T_{cpi}}{n}, \quad (6.16)$$

где T_{cpi} – среднее значение наработки на отказ i -того изделия;

n – число изделий в партии.

Значение T_{cpi} находится по формуле:

$$T_{cpi} = \frac{\sum_{j=1}^m T_{ij}}{m}, \quad (6.17)$$

где T_{ij} – среднее время исправной работы i -того изделия между $j-1$ и $i+1$ -ми отказами;

m – число отказов i -того изделия.

Показателями долговечности ремонтируемых изделий являются срок службы и ресурс. Надо научиться рассчитывать показатели надежности.

Сложные устройства, состоящие из большого числа элементов, обычно подчиняются экспоненциальному закону надежности, при котором вероятность работы $P(t)$ определяется по формуле:

$$P(t) = e^{-(\lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_n)t}, \quad (6.18)$$

где $e = 2,72$ – основание натурального логарифма;

$\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ – интенсивность отказов комплектующих изделий.

Из формулы видно, что изделия, состоящие из большого числа элементов, имеют низкую надежность. Предположим, что устройство состоит из 1000 элементов, имеющих малую интенсивность отказов $1 \cdot 10^{-5}$ 1/ч. Отказ любого элемента вызывает отказ устройства. Тогда вероятность безотказной работы устройства в течении 100 ч будет равна:

$$P(100) = e^{-100 \cdot 10^{-5} / 100000000} = e^{-1} = 1/2,72 = 0,34, \text{ т. е. очень низкая } [1,3,56].$$

6.5. Оценка уровня качества продукции и технологических процессов.

Студент должен:

знать:

- методы оценки уровня качества продукции и технологических процессов;

уметь:

- оценить уровень качества продукции.

Методы оценки уровня качества однородной продукции: дифференциальный, комплексный и смешанный. Карта технического уровня и качества продукции. Конкурентоспособность.

Методические указания.

В результате изучения этой темы студенты должны знать методы оценки уровня качества продукции, порядок составления карты технического уровня и качества продукции.

Оценка уровня качества продукции проводится в соответствии с ГОСТ 22732-77 и методическими указаниями РД 50-149-79. Для оценки уровня качества однородной продукции применяют дифференциальный, комплексный и смешанный методы.

Дифференциальным называется метод оценки уровня качества продукции, основанный на использовании единичных показателей её качества. При этом методе рассчитывают относительный показатель качества продукции g по следующим формулам:

$$g = \frac{P_1}{P_i} \quad (6.19)$$

или

$$g = \frac{P_{i\sigma}}{P_i} \quad (i = 1, 2, \dots, n), \quad (6.20)$$

где P_i – значение i -того показателя качества оцениваемой продукции;

$P_{i\sigma}$ – значение i -того базового показателя;

n – количество показателей качества продукции.

Из двух формул выбирают ту, при которой увеличению относительного показателя отвечает улучшение качества продукции. В результате оценки уровня качества продукции дифференциальным методом уровень качества оцениваемой может быть выше, ниже и равен уровню базового образца, если все значения относительных показателей соответственно больше, меньше или равны единице.

В случаях, когда часть относительных показателей больше или равна единице, а часть меньше единицы, следует применять комплексный или смешанный метод оценки качества продукции.

Комплексный метод оценки качества продукции основан на применении обобщенного показателя качества продукции.

Обобщенный показатель может быть выражен:

- главным показателем;
- интегральным показателем качества продукции;
- средним взвешенным показателем.

Во всех случаях, когда это возможно, определяют главный показатель, определяющий основное назначение продукции (например, для шин – ходимость в километрах, для двигателя – ресурс), и устанавливают функциональную зависимость от исходных единичных показателей.

Комплексным показателем надежности. Например, является коэффициент готовности K_r :

$$K_r = \frac{T_0}{T_0 + T_B}, \quad (6.21)$$

где T_0 – наработка на отказ;

T_B – среднее время восстановления до работоспособного состояния.

Интегральный показатель применяют, когда установлен суммарный полезный эффект от эксплуатации или потребления продукции и суммарные затраты на создание и эксплуатацию или потребление продукции.

При сроке службы продукции более одного года интегральный показатель вычисляют $I(t)$ по формуле:

$$I(t) = \frac{n \Sigma}{3_c \cdot Y(t) + 3_э}, \quad (6.22)$$

где n_{Σ} – суммарный полезный эффект от эксплуатации или потребления продукции, выраженный в натуральных единицах (м, кг, шт. и т. д.);

3_c – суммарные капитальные (единовременные) затраты на создание продукции, руб;

$3_э$ – суммарные эксплуатационные затраты, относящиеся к одному году, руб;

$Y(t)$ – поправочный коэффициент, зависящий от срока службы изделия.

Коэффициент $Y(t)$ вычисляют по формуле:

$$Y(t) = \frac{E_H \cdot (1 + E_H)^{t-1}}{(1 + E_H)^t - 1}, \quad (6.23)$$

где E_H – нормативный коэффициент экономической эффективности, равный 0,15;

t – срок службы продукции, лет.

Средние взвешенные показатели применяют в случаях, когда невозможно определить главный показатель, и определяются по формуле:

$$Q = \sum_{i=1}^n m_i \cdot g, \quad (6.24)$$

где m_i – параметр весомости i -го показателя;

g_i – относительный i -й показатель качества.

В случае, когда параметры весомости удовлетворяют условию $\sum m_i = 1$, они могут быть названы коэффициентами весомости.

Смешанный метод оценки уровня качества продукции основан на совместном применении единичных и комплексных (групповых) показателей. Рассмотрим применение средневзвешиваемого метода оценки качества продукции.

Пример. Оценить уровень качества нового станка. Расчет производим с помощью таблицы 6.3.

Таблица 6.3.

Оценка качества нового станка

Показатели	Значения показателей		q_i	m_i	Вид показателя
	новый	базовый			
Производительность станка, дет\ч	15	10	1,50	0,25	Назначение
Обеспечиваемая точность, мм	0,004	0,005	1,25	0,25	Назначение
Потребляемая мощность, кВт	6,5	6,5	1,00	0,10	Экономический
Уровень шума, дБ	40	50	1,25	0,20	Безопасность
Стоимость, млн. руб.	0,30	0,24	0,80	0,10	Экономический
Гарантийный срок, лет	1,5	2	0,75	0,10	Надежность

1. Определяем относительный показатель качества q_i по формулам:

для 1-го показателя:

$$q_i = \frac{P_1}{P_{1\sigma}} = \frac{15}{10} = 1,5. \quad (6.25)$$

Остальные относительные показатели определяются аналогично и сводятся в таблицу 6.3.

2. Так как относительные показатели качества больше, равны и меньше единицы, то применяем средневзвешенный метод оценки качества продукции. Уровень качества продукции Q_i определяем по формуле (6.11).

Назначаем коэффициенты весомости m_i исходя из того, что какой из приведенных показателей качества наиболее важен для данного изделия. При этом $\sum m_i = 1$.

Тогда: $Q = 0,25 \cdot 1,50 + 0,25 \cdot 1,25 + 0,1 \cdot 1,0 + 0,2 \cdot 1,25 + 0,1 \cdot 0,8 + 0,1 \cdot 0,75 = 1,193$.

Новый станок на 0.193 (19,3%) лучше базового.

Примечания.

1. В учебных целях параметры станка приняты условно.
2. За базовый образец берется предыдущая модель изделия, или лучший отечественный (зарубежный) аналог.

Студент должен также представлять, какими процессами оценивается стабильность технологического процесса.

Настроив технологический процесс на некоторое номинальное значение параметра, из-за большего числа факторов, влияющих на него, получим

рассеяние значений этого параметра. При этом наблюдаемое рассеяние параметров подчиняется некоторой закономерности – закону распределения случайной величины (рис.6.6).

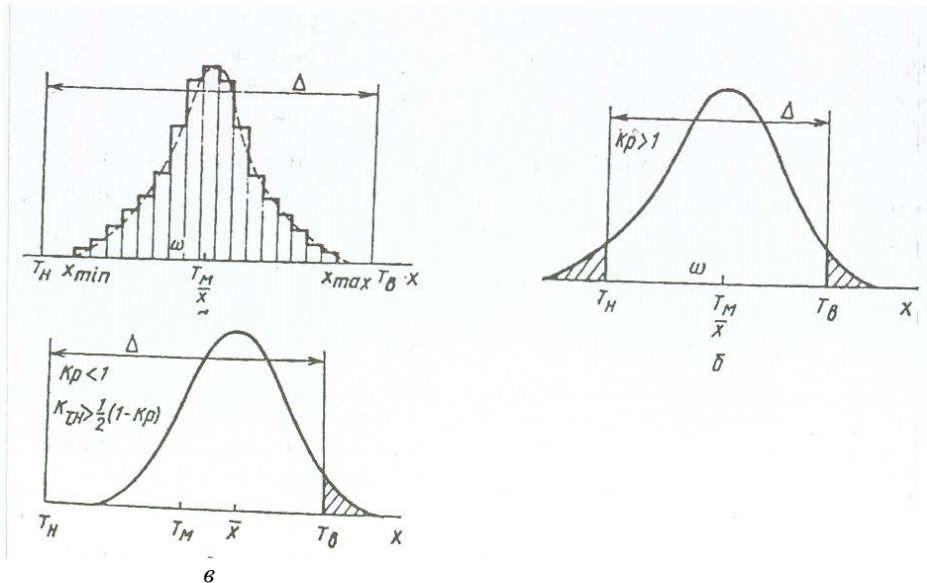


Рис. 6.6. Распределение случайной величины X.

Обозначения, приведенные на рисунке:

X_{\min} , X_{\max} – предельные значения контролируемого параметра;

\bar{X} – среднее арифметическое значение контролируемого параметра;

T_N , T_B – нижнее и верхнее значение границ допуска;

T_M – номинальное значение параметра, а который настроен техпроцесс;

W – технологических допуск;

$$W = X_{\max} - X_{\min} , \quad (6.27)$$

Δ - конструкторский допуск;

$$\Delta = T_B - T_N .$$

Конструкторский допуск указывает, что должно быть, а технологический, что есть на самом деле.

В качестве меры точности техпроцесса используется коэффициент рассеяния K_p , который определяется по формуле:

$$K_p = W / \Delta . \quad (6.28)$$

Параметр W устанавливается путем статистической оценки техпроцесса ($W = 6\sigma$), а параметр Δ - по чертежу. Техпроцесс считается точным, если $K_p < 1$. В современной практике принят коэффициент рассеяния не выше 0,75, предусматривая 25% - ный запас поля допуска, которые оказались на неизбежные неточности в настройке оборудования.

В случае $K_p > 1$ (рис. 6.13, б) техпроцесс не может обеспечить изготовление бездефектной продукции, и те значения показателя качества, которые оказались за пределами нижней T_H и верхней T_B границ допуска, соответствуют дефектной продукции.

Однако, если центр распределения X смещен от середины допуска, то даже и при $K_p < 1$ техпроцесс не обеспечивает точность изготовления (рис. 6.13, в).

Для характеристики наладки технологического процесса применяют коэффициент точности настройки $K_{T.H}$, который определяется по формуле:

$$K_{T.H} = ([IX - Tm1] / \Delta). \quad (6.29)$$

Чтобы процесс обеспечивал необходимую точность, нужно иметь не только $K_p < 1$, но и

$$K_{T.H} < 1/2(1 - K_p), \quad (6.30)$$

при $K_p > 1$ управление качеством техпроцесса невозможно.

Студент должен ознакомиться с назначением, содержанием, порядком составления карты технического уровня продукции (ГОСТ 2.116-84).

6.6. Статистические методы в управлении качеством продукции

Применение методов статистического контроля и анализа в процессе сертификации обусловлено всеобщим признанием этих инструментов в обеспечении качества продукции и услуг. Стандарты ИСО серии 9000 определяют применение статистических методов как самостоятельного элемента системы качества предприятий. Одним из критериев аккредитации органов по сертификации и испытательных лабораторий является также использование статистических методов в работе по оценке соответствия и для функционирования системы обеспечения качества.

К настоящему времени в промышленности накоплен большой опыт применения статистического контроля и регулирования качества продукции и технологических процессов. С учетом спецификации сертификации он успешно применяется при сертификационных испытаниях, инспекционном контроле, аудитах элементов систем качества, мероприятиях по осуществлению корректирующих воздействий и др.

Все методы статистического анализа, применяемые для целей сертификации, условно можно разделить на две группы (рис. 6.7). Первая группа – методы статистического приемочного контроля – используется для оценки соответствия продукции требованиям нормативных документов. Вторая группа – методы статистического регулирования качества технологических

процессов – используется органами по сертификации и испытательными лабораториями для управления внутренними рабочими процедурами, а также на предприятиях при подготовке к сертификации систем качества и производств.

Под *статистическим приемочным контролем* качества продукции понимают выборочный контроль, основанный на применении методов математической статистики для проверки соответствия качества продукции установленным требованиям. Основная идея такого контроля состоит в том, что о качестве контролируемой партии продукции судят по выборочным характеристикам, определяемым по малой выборке из этой партии. Различают приемочный контроль по качественному и количественному признакам. При контроле по качественному признаку каждую проверяемую единицу продукции относят к определенной группе, а последующее решение принимают в зависимости от соотношения чисел её единиц, оказавшихся в разных группах.

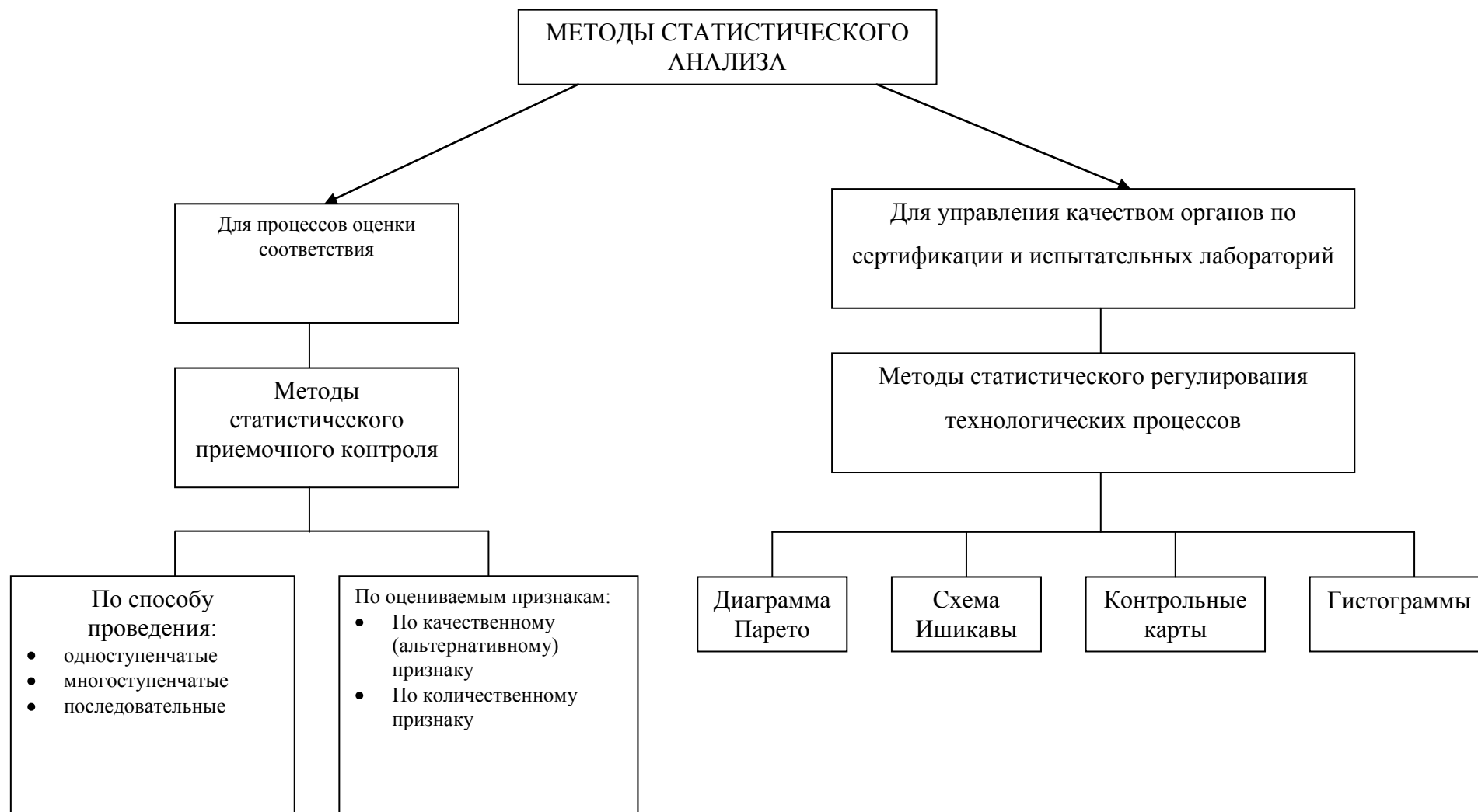


Рис. 6.7. Статистические методы управления качеством

Обычно рассматривают лишь две группы (категории): годные и дефектные единицы продукции. В данном случае контроль называется *альтернативным*. При контроле по количественному признаку определяют значения одного или нескольких параметров единиц продукции, а последующее решение принимают в зависимости от этих значений.

Для организации приемочного контроля необходимо задать контрольные нормативы, т. е. критерии для принятия решения по результатам контроля (приемочное число, браковочное число), и решающие правила, т. е. указания, предназначенные для принятия решений относительно приемки партии продукции по результатам её контроля. Наибольшее распространение на практике получили три вида контроля:

- *одноступенчатый* – решение о принятии или забраковании партии продукции принимают по результатам контроля только одной выборки или пробы;
- *многоступенчатый* – решение о принятии или забраковании партии принимается на основании последовательных испытаний $k \geq 2$ выборок или проб, причем максимальное их количество установлено заранее (обычно $k = 2$);
- *последовательный* – решение о принятии партии, забраковании или продолжении испытаний принимается после оценки каждой последовательно проверяемой единицы продукции (выборки или пробы).

При рассмотрении особенностей различных видов статистического приемочного контроля принято говорить о плане контроля, совокупности данных о виде контроля, объемах контролируемой продукции, выборок или проб, о контролируемых нормативах и решающих правилах.

Для сопоставления и оценки различных планов выборочного контроля служит оперативная характеристика – зависимость вероятности L принятия партии от доли дефектных единиц продукции q . При сплошном контроле партии имеем идеальную оперативную характеристику (рис. 6.8, а), при которой принимаются все партии с $q \leq q_{кр}$ и бракуются все партии с $q > q_{кр}$:

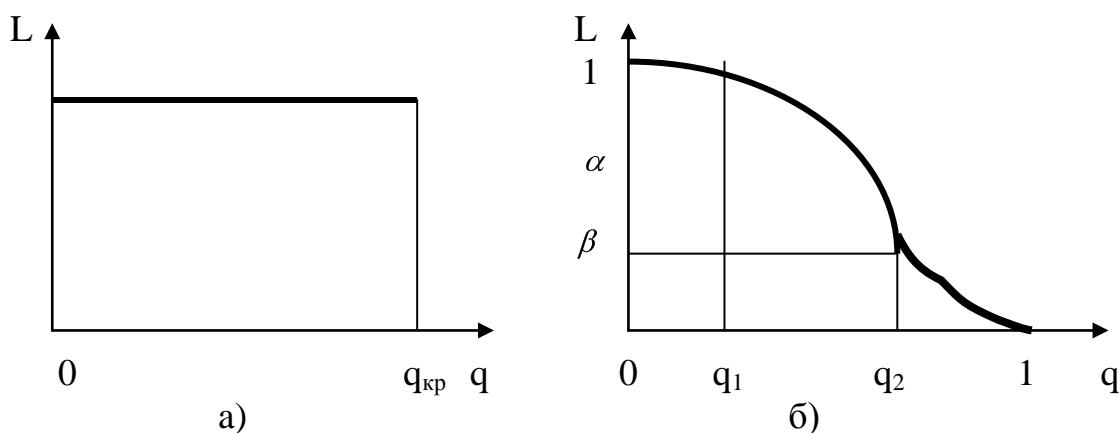


Рис. 6.8. Графики оперативных характеристик:

а) при 100%-ном контроле; б) при выборочном контроле

$$L(q) = \begin{cases} 1 & \text{при } q \leq q_{кр} \\ 0 & \text{при } q > q_{кр} \end{cases}$$

Оперативная характеристика $L(q)$ при выборочном контроле показана на рис. 6.8, б. Чем ближе эта характеристика к идеальной, тем план контроля лучше (обеспечивает большую уверенность в результатах). Однако с увеличением крутизны оперативной характеристики в средней её части (между q_1 и q_2) растет объем выборки, т. е. стоимость контроля. Поэтому обычно ищут компромиссное решение.

Иногда применяют статистический приемочный контроль с корректируемым планом. В ходе такого контроля его план подлежит изменению в зависимости от результатов проверки определенного числа предыдущих партий продукции. При этом может осуществляться переход от нормального режима контроля к ослабленному или усиленному.

Нормальный режим контроля сохраняется, если результаты проверки заданного числа предыдущих партий продукции не дают основания сделать вывод о том, что действительный уровень дефективности существенно отклоняется от приемочного. Если результаты контроля показывают, что действительный уровень дефективности ниже приемочного, то переходят к *ослабленному* режиму контроля с меньшим объемом выборки, чем при нормальном. Если же действительный уровень дефективности выше приемочного, переходят к *усиленному* контролю с более строгими контрольными нормативами.

Одноступенчатый контроль. Поскольку при одноступенчатом контроле решение принимают по результатам проверки только одной выборки или пробы, эта выборка должна хорошо отражать свойства всей партии, а потому быть случайной. Случайную выборку получают отбором единиц продукции из различных частей партии или перемешиванием единиц продукции в партии при отборе.

Планом одноступенчатого контроля устанавливаются объем выборки n из партии объемом N и приемочное число c . Партия принимается, если количество дефектных единиц продукции в выборке $X \leq c$; при $X > c$ партия бракуется. Кроме того, партия принимается, если наступает одно из несовместных событий: $X = 1, \dots, X = c$. Поэтому вероятность приемки партии равна сумме вероятностей этих событий:

$$L(q) = p\{X \leq c\} = \sum_{k=0}^c P\{X = k\} \quad (6.31)$$

Слагаемые в формуле (6.31) зависят от вида закона распределения случайной величины X – количества дефектных единиц продукции в выборке из n единиц продукции.

Многоступенчатый контроль. При данном контроле из общего количества N единиц продукции в партии могут отбираться последовательно

несколько выборок или проб, максимальное число которых установлено заранее. Необходимость отбора следующей выборки или пробы зависит от результатов контроля предыдущих выборок или проб.

Если в первой выборке объемом n_1 единиц продукции число дефектных единиц $X_1 \leq c_1$, то партия принимается. При $X_1 \geq d_1$ партия бракуется. Если $c_1 < X_1 < d_1$, принимают решение о назначении второй выборки объемом n_2 . Для второй выборки также имеются контрольные нормативы c_2 и d_2 , с которыми сравнивается суммарное число дефектных единиц продукции в первой и второй выборках $X_1 + X_2$. При $(X_1 + X_2) \leq c_2$ партия принимается; при $(X_1 + X_2) \geq d_2$ партия бракуется; при $c_2 < (X_1 + X_2) < d_2$ принимают решение о назначении третьей выборки и т. д. Такая процедура продолжается до тех пор, пока не будет принято решение о приемке или браковке партии. Приемку партий изделий при двухступенчатом контроле можно рассматривать как сумму двух несовместимых случайных событий:

А – партия принята по результатам контроля единиц продукции первой выборки;

В – партия принята по результатам контроля единиц продукции первой и второй выборок.

При этом вероятность приемки партии $L(q) = P\{A\} + P\{B\}$. Вероятность приемки партии по первой выборке $L\{A\} = \sum_{k=0}^{c_1} P_{n_1}\{X = k\}$.

Для приемки партии по второй выборке необходимо совмещение событий:

V_1 – число дефектных единиц продукции в первой выборке находится в пределах $c_1 < X < d_1$;

V_2 – суммарное число дефектных изделий в обеих выборках $(X_1 + X_2) < c_2$.

Учтем, что если в первой выборке имеется k дефектных изделий, причем $c_1 < k < d_1$, то партия будет принята, если число дефектных изделий во второй выборке окажется не больше, чем $c_2 - k$. При этом

$$P\{B\} = \sum_{k=c_1+1}^{d_1-1} P_{n_1}\{X = k\} \sum_{l=0}^{c_2-k} P\{X = l\}.$$

Вероятность приемки партии

$$L\{A\} = \sum_{k=0}^{c_1} P_{n_1}\{X = k\} + \sum_{k=c_1+1}^{d_1-1} P_{n_1}\{X = k\} \sum_{l=0}^{c_2-k} P\{X = l\} \quad (6.32).$$

Первое слагаемое в (6.32) показывает вероятность приемки партии по первой выборке, второе – вероятность приемки партии по второй выборке при условии, что решение о приемке или браковке партии по первой выборке принято не было.

Последовательный контроль. Его можно рассматривать как предельный случай многоступенчатого контроля. При этом объем выборки не фиксируется

– отдельные единицы продукции извлекают из партии случайным образом и проверяют. После каждой проверки принимают одно из трех решений: принять партию, продолжить проверку, забраковать партию.

При контроле по количественному признаку измеряют числовые значения контролируемого параметра единиц продукции, вычисляют выборочное среднееарифметическое значение и оценивают его отклонение от одной или одновременно от двух заданных границ.

Преимущество контроля по количественному признаку – малые объемы выборок (в 10-20 раз меньше, чем при контроле по альтернативному признаку). Это связано с тем, что каждая выборка дает объем информации, состоящий из n чисел. При контроле по альтернативному признаку объем информации состоит из количества дефектных единиц продукции в выборке (одного числа). Недостатки метода – измерения дороже и планы контроля сложнее.

Обычно предполагают, что количественный признак (параметр) единицы продукции имеет нормальное распределение с параметрами a и σ :

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{x-a}{\sigma}\right)^2\right]$$

Могут использоваться и другие распределения.

Вероятность q изготовления дефектного изделия полностью определяется границами допуска (ω_1, ω_2), математическим ожиданием a и среднеквадратическим отклонением σ параметра изделия. Цель выборочного контроля в данном случае состоит в том, чтобы по результатам анализа среднеквадратического отклонения σ^* сделать вывод: принять или забраковать партию.

Для контроля за состоянием технологических процессов на производстве используют методы статистического регулирования. Эти методы могут применяться при управлении рабочими процессами в органах по сертификации и испытательных лабораториях. Статистическое регулирование технологических процессов заключается в том, что в определенные моменты времени фиксируют параметры данного процесса, например количественные значения или качественные признаки при внутреннем аудите. Затем определяют статистические характеристики этих несоответствий и наносят на контрольную карту. В зависимости от анализа контрольных карт принимают решение о корректировке процесса или его продолжения без осуществления корректирующих воздействий.

Существует множество видов контрольных карт. Все их можно разделить на две большие группы: по количественному (измеримому) и качественному (альтернативному) признакам. В карты первой группы заносят выборочные числовые характеристики контролируемого параметра продукции, а в карты второй группы – выборочные характеристики количества дефектных единиц продукции или дефектов, приходящиеся на определенное число единиц продукции. Карты по количественному признаку делят на ординарные (для

выполнения одной функции) и комбинированные (для одновременного воздействия на уровень настройки процесса и рассеивание показателей качества) (рис. 6.9).

Контрольные карты различают также по назначению (функциям).

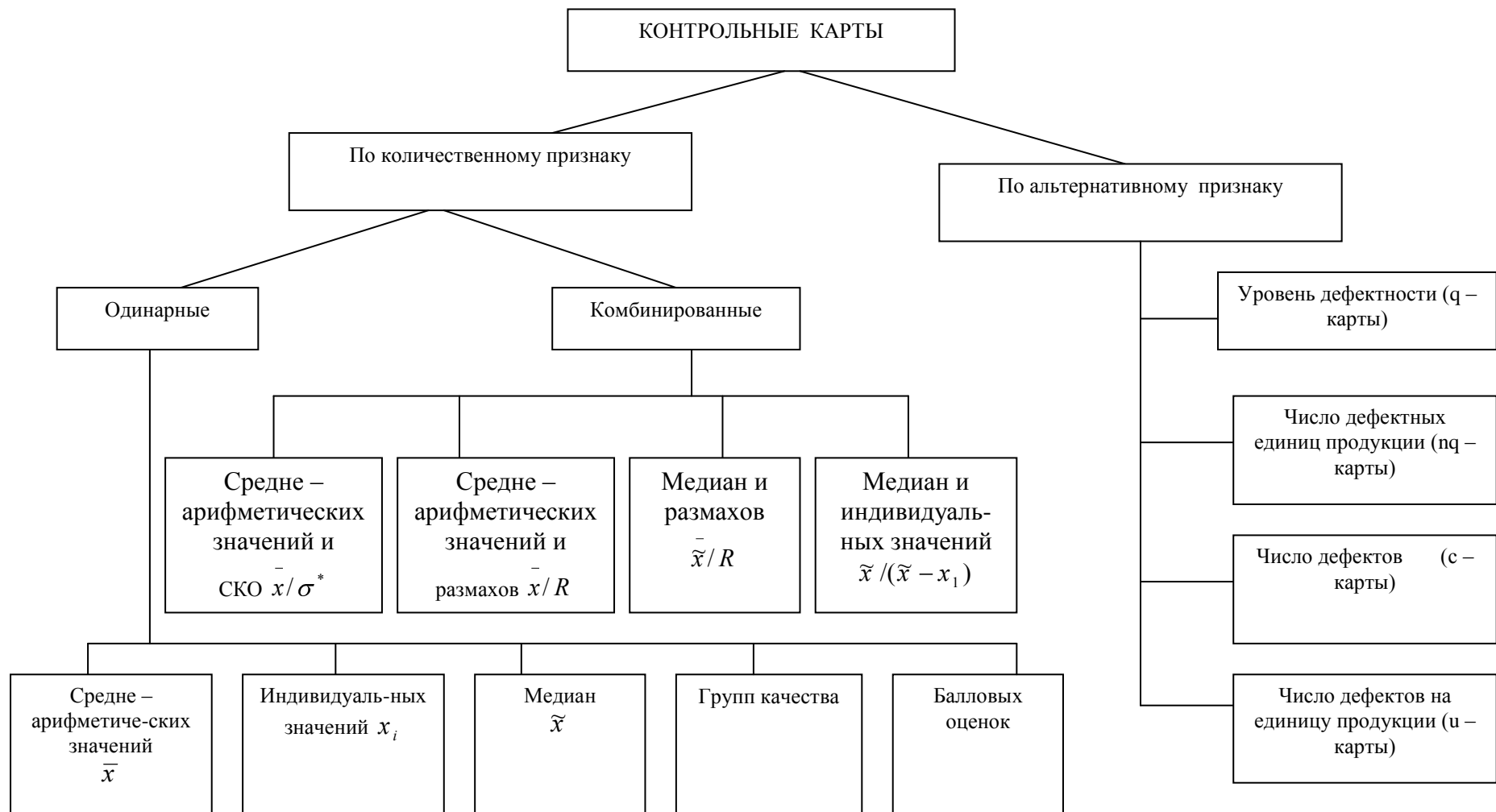


Рис. 6.9. Классификация контрольных карт для статистических характеристик

Они могут применяться для регулирования установки (настройки) производственного процесса (карты среднеарифметических значений, медиан и т. д.) и для регулирования рассеивания показателей качества (карты среднеквадратических отклонений, размахов и т. д.).

Кроме того, можно выделить обычные контрольные карты, в которые заносят значения статистических характеристик текущих выборок, и контрольные карты кумулятивных сумм, в которые заносят накопленные суммы значений статистических характеристик предшествующих выборок.

Следует различать две стадии применения контрольных карт. На первой производится статистическое исследование производственного процесса. В ходе этого исследования на контрольную карту сначала наносят точки значений статистических характеристик выборок и затем вычисляют и проводят линии границ. Если обнаруживается, что некоторые точки выходят за границы регулирования, то эти точки исключают и вычисляют исправленные (соответствующие остальным точкам) границы регулирования, которые опять наносят на карту. На второй стадии контрольные карты используются для текущего контроля. При этом на картах проводят среднюю линию и границы регулирования, затем наносят значения статистических характеристик выборок. По расположению этих точек относительно границ регулирования определяют момент остановки производственного процесса для регулирования.

Кроме контрольных карт в практике статистических методов управления качеством широко известны также такие инструменты, как расслоение, графики, диаграмма Парето, причинно-следственные диаграммы разброса (6.11). Все они в той или иной степени могут успешно применяться на различных стадиях процесса сертификации.

Расслоение – один из наиболее простых статистических методов. В соответствии с этим методом производят расслоение данных, т. е. группируют их в зависимости от условий получения и производят обработку каждой группы данных в отдельности. Например, данные, относящиеся к испытаниям образца в лаборатории, могут в какой-то мере различаться в зависимости от исполнителя, применяемого оборудования, правильности соблюдения условий испытаний и т. д. Все эти отличия могут быть факторами расслоения.

Графическое представление данных широко применяют в производственной практике с целью наглядности и облегчения понимания смысла данных. Различают следующие виды графиков:

- график, представляющий собой ломаную линию, - отражает временные и тому подобные изменения;
- линейный график, отображающий зависимость количественных величин;
- круговой график, выражающий процентное соотношение рассматриваемых данных;
- ленточный график, выражающий процентное соотношение рассматриваемых данных;
- Z – образный график, отображающий баланс между несколькими факторами;

- карта сравнения плановых и фактических показателей, применяемая для выражения зависимости между планом и состоянием его выполнения.

Диаграмма Парето названа по имени итальянского экономиста Парето (1845-1923). Диаграммы Парето часто используют для анализа причин брака. С их помощью в удобной и наглядной форме можно представить потери от брака в зависимости от причин его появления. Диаграмма Парето может выражать результаты расслоения дефектов по причинам, условиям, положению и т. д. Анализ диаграммы Парето позволяет выявить причины брака, имеющие небольшую долю (наибольший процентный вклад), и наметить мероприятия по их устранению. Сравнивая диаграммы Парето, построенные по данным до и после улучшения процесса, можно оценить эффективность принятых мер.

Причинно-следственная диаграмма, часто называемая также диаграммой Ишикавы (по имени автора), причинно-следственной, “рыбьей костью”, “рыбьим скелетом” (рис. 6.10), позволяет выявить и систематизировать различные факторы и условия (например, исходные материалы, условия процессов, испытательное оборудование, персонал), оказывающие влияние на рассматриваемую проблему.

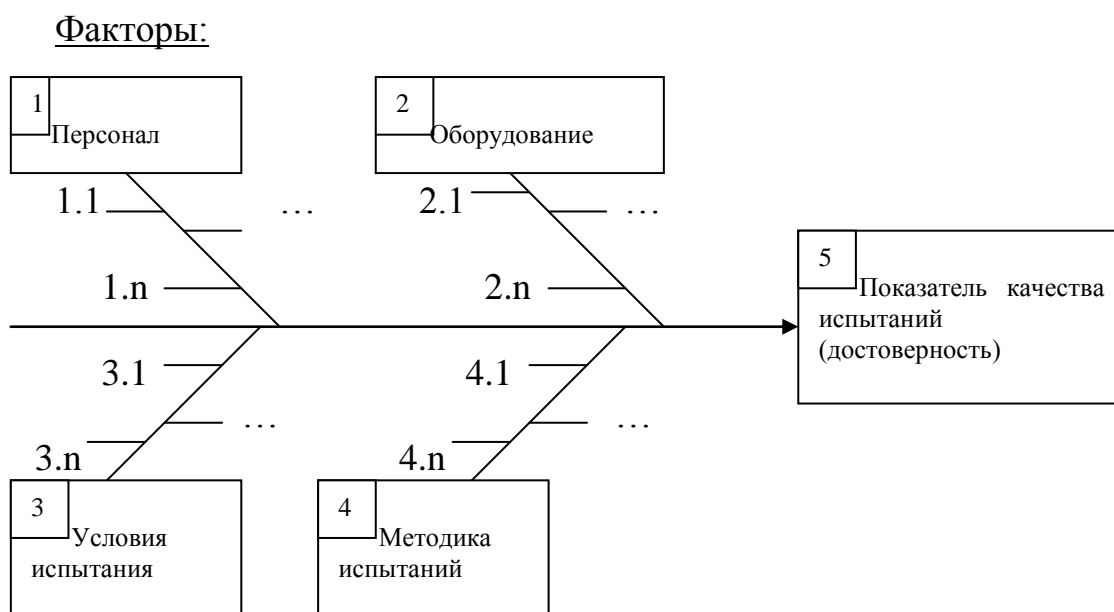


Рис. 6.10. Причинно-следственная диаграмма («рыбий скелет») анализа качества сертификационных испытаний

Информация о показателях качества для построения диаграммы собирается из всех доступных источников: журнала регистрации процесса испытания, журнала регистрации данных контроля, сообщений специалистов и т. д. При построении диаграммы выбираются наиболее важные с технической точки зрения факторы. Причины сортируются по видам: наиболее вероятные; связанные с ошибками персонала; трудноустраняемые и вообще неустранимые. Разброс факторов (причин), таких как условия испытаний и количественные данные, получаемые с помощью измерений, анализируется с использованием гистограмм и других графических методов. При обнаружении отклонений,

указывающих на возможность появления брака, принимают меры по устранению причин отклонений.

Часто можно проследить корреляционную зависимость между причинными факторами (параметрами процесса) и показателями качества. В этом случае параметры легко поддаются корректированию.

Сложная причинно-следственная диаграмма анализируется с помощью расслоения по отдельным факторам, таким как материалы, исполнители, условия испытаний и др. При выявленной заметной разнице в разбросе между “слоями” принимают соответствующие меры для ликвидации этой разницы и устранения причины её появления. Причинно-следственная диаграмма как метод решения проблем сертификационных испытаний используется не только в основных технологических процессах, но и при работе с клиентами, менеджменте образцов, обсуждении результатов аудитов и др.

Гистограмма – это график, на котором графически в виде столбиков представлено распределение данных ежедневных параметров, сгруппированных по частоте попадания в тот или иной интервал значений. Гистограмма может дать много ценной информации, если сравнить полученное распределение с контрольными нормативами. Информация может оказаться ещё более полезной, если по полученному распределению частоты определить среднее значение и стандартное отклонение.

Диаграмма разброса используется для выявления зависимости между показателями качества (результат) и основными факторами сертификации (причина) при анализе причинно-следственной диаграммы или корреляционной зависимости между факторами. Диаграмма разброса строится как график зависимости двух переменных. Эффективным методом определения наличия или отсутствия корреляционной зависимости является метод медиан.