



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
УПРАВЛЕНИЕ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ
КВАЛИФИКАЦИИ

Кафедра «Технология технического регулирования»

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

по дисциплине

«Методы и средства измерений и контроля»

«Основные понятия в области измерений и контроля»

Авторы

Русин А.П., Мутилина Е.В., Алексеева О.Д.

Ростов-на-Дону, 2015





Аннотация

Учебное пособие предназначено для студентов направления 221700 очной и заочной форм обучения.

Авторы

Доцент, канд. техн. наук Русин А.П.

Ст. преподаватель Мутилина Е.В.

Ст. преподаватель Алексеева О.Д.





Оглавление

ВВЕДЕНИЕ	4
1 ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ [1]	5
2 КЛАССИФИКАЦИЯ МЕТОДОВ И СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ [1]	10
2.1 Методы измерений.....	10
2.2 Средства измерений	14
3 ПОГРЕШНОСТИ И ХАРАКТЕРИСТИКИ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ [1]	20
3.1 Общие сведения о погрешностях	20
3.2 Характеристики средств измерений	24
3.3 Классы точности	29
4 ВИДЫ ИЗМЕРЕНИЙ [1]	32
5 ВИДЫ КОНТРОЛЯ [2,3]	37
6 ВИДЫ ИСПЫТАНИЙ [2, 4]	40
ГЛОССАРИЙ	52
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	57



ВВЕДЕНИЕ

Специалисты в области метрологии, стандартизации, сертификации и управления качеством должны владеть необходимыми знаниями о методах и средствах измерений и контроля характеристик продукции, поскольку инструментальный контроль позволяет наиболее объективно подтвердить соответствие объекта предъявляемым требованиям. Таким образом, цель данного пособия - помочь студентам определить место и значение измерений при контроле и испытаниях продукции.

Изучение любой дисциплины начинается с усвоения терминологии и усвоения основных понятий. Эта база позволит обеспечить точность и чёткость формулировок и избежать двусмысленности при принятии решений по выбору и использованию средств измерений.



1 ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ [1]

Измерения, испытания и контроль являются основными методами подтверждения соответствия продукции. Особенности их применения определяются задачами, которые решает испытательная лаборатория при сертификации.

Цель курса «Методы и средства измерений и контроля» заключается в формировании у студентов знаний и умений, необходимых для осознанного выбора, создания, внедрения и эксплуатации современных испытательных стендов, измерительных установок и систем, используемых при оценке соответствия продукции. Дисциплина закладывает основы профессиональной деятельности в любом из её проявлений. Её азы необходимы и для стандартизации, и для метрологии, и для подтверждения соответствия, и для управления качеством при выработке верных управляющих решений.

Рассмотрим основные понятия дисциплины, полный перечень которых представлен в глоссарии.

Физическая величина (ФВ) - одно из свойств физического объекта (физической системы, явления или процесса), общее в качественном отношении для многих физических объектов, но в количественном отношении индивидуальное для каждого из них (например, длина, масса, время, сила тока и т.д.). Физической величиной может быть характеристика продукции, подлежащая определению при оценке соответствия. Термин «величина» обычно применяется в отношении тех свойств или характеристик, которые могут быть оценены количественно, т.е. могут быть измерены. Существуют такие свойства или характеристики, которые современный уровень науки и техники ещё не позволяет оценивать количественно, например, запах, вкус, цвет. Поэтому такие характеристики обычно избегают называть величинами, а называют свойствами.

Размер ФВ - количественная определённость физической величины, присущая конкретному материальному объекту, системе, явлению или процессу. Другими словами, размер ФВ есть количественное содержание в данном объекте свойства, соответствующего понятию «физическая величина» (например, размер



Основные понятия в области измерений и контроля

длины, массы, силы тока и т.д.)

Значение ФВ - оценка физической величины в виде некоторого числа принятых для неё единиц, причём отвлечённое (безразмерное) число, входящее в значение физической величины, называется числовым значением.

Истинное значение ФВ - значение физической величины, которое идеальным образом характеризует в качественном и количественном отношении соответствующую физическую величину. Например, скорость света в вакууме, плотность дистиллированной воды при температуре 4 °С имеют вполне определённое значение - идеальное, которого мы не знаем.

Действительное значение ФВ - значение физической величины, полученное экспериментальным путём и настолько близкое к истинному значению, что в поставленной измерительной задаче может быть использовано вместо него. Например, действительное значение скорости света в вакууме составляет $2,997925 \times 10^8$ м/с, плотность дистиллированной воды при температуре 4 °С составляет 10^3 кг/м³.

Единица ФВ - физическая величина, которой по определению присвоено числовое значение, равное единице. Единицы одной и той же ФВ могут различаться по своему размеру. Например, метр, фут и дюйм, являясь единицами длины, имеют различные числовые значения: 1 фут = 0,3048 м, 1 дюйм = 0,0254 м.

Кратная единица ФВ - единица, которая в целое число раз больше основной или производной единицы.

Дольная единица ФВ - единица, которая в целое число раз меньше основной или производной единицы.

Кратные и дольные единицы ФВ образуются благодаря соответствующим приставкам к основным единицам.

В названии системы величин применяют символы величин, принятых за основные. Система основных величин, соответствующая Международной системе единиц (СИ), должна обозначаться символами $L M T I \Theta N J$, обозначающими соответственно символы основных величин — длины L , массы M , времени T , силы электрического тока I , температуры Θ , количества вещества N и силы света J



Основные понятия в области измерений и контроля

Размерность ФВ - выражение в форме степенного одночлена, составленного из произведений символов основных физических величин в различных степенях и отражающего связь данной физической величины с физическими величинами, принятыми в данной системе величин за основные, с коэффициентом пропорциональности $\alpha, \beta, \gamma, \dots$, равным 1.

Примечания:

1. Степени символов основных величин, входящих в одночлен, в зависимости от связи рассматриваемой физической величины с основными, могут быть целыми, дробными, положительными и отрицательными. Понятие «размерность» распространяется и на основные величины. Размерность основной величины в отношении самой себя равна единице, т.е. формула размерности основной величины совпадает с её символом.
2. В соответствии с международным стандартом ИСО 31/0, размерность величин следует обозначать знаком \dim . В системе величин LMT размерность величины x будет:
$$\dim x = L^\alpha M^\beta T^\gamma \dots$$
 где $L, M, T \dots$ - символы величин, принятых за основные (соответственно длины, массы, времени...).

Производные единицы системы СИ образуются с помощью простейших уравнений связи между величинами.

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



Основные понятия в области измерений и контроля



Рисунок 1.1 Классификация измерений

Примеры:

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

Примечания:

1. Приведенное определение понятия «измерение» удовлетворяет общему уравнению измерений, что имеет существенное значение в деле упорядочения системы понятий в метрологии. В нём учтена техническая сторона (совокупность операций), раскрыта метрологическая суть измерений (сравнение с единицей) и показан гносеологический аспект (получение значения величины).
2. От термина «измерение» происходит термин «измерять»,



Основные понятия в области измерений и контроля

которым широко пользуются на практике. Всё же нередко применяются такие термины, как «мерить», «обмерять», «замерять», «промерять», не вписывающиеся в систему метрологических терминов. Их применять не следует.

3. Не следует также применять такие выражения, как «измерение значения» (например, мгновенного значения напряжения или его среднего квадратического значения), так как значение величины - это уже результат измерений.

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

Испытание - определение одной или нескольких характеристик продукции согласно установленной процедуре.

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.

Контроль - процедура оценивания соответствия путём наблюдений и суждений, сопровождаемых соответствующими измерениями, испытаниями и калибровкой.



2 КЛАССИФИКАЦИЯ МЕТОДОВ И СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ [1]

2.1 Методы измерений

Метод измерений – прием или совокупность приемов сравнения измеряемой физической величины с её единицей в соответствии с реализуемым принципом измерения. **Принцип измерений** – это физическое явление или эффект, положенные в основу измерений тем или иным типом средства измерения.

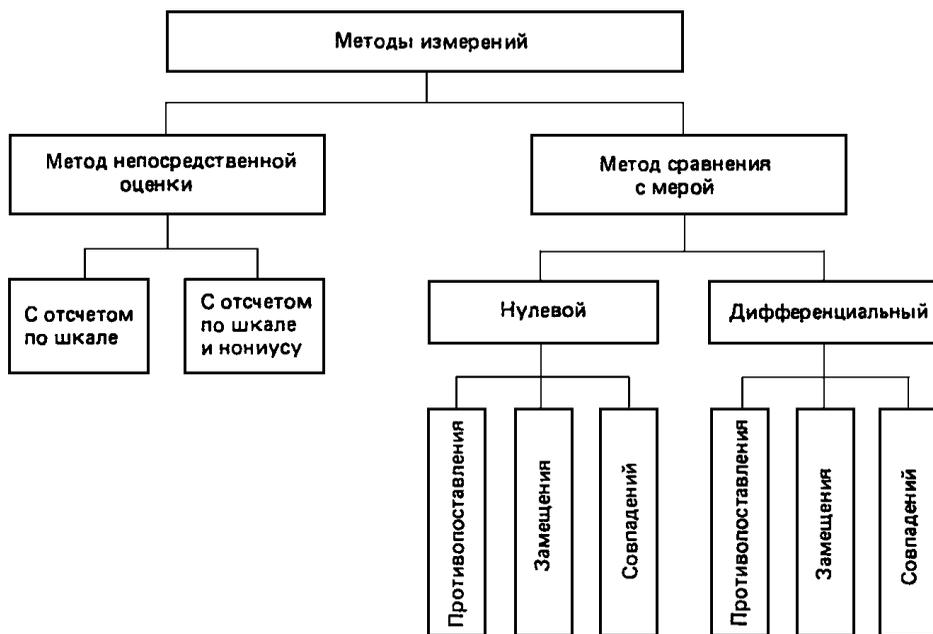


Рисунок 2.1 Классификация методов измерения

Методы измерений - это способы решения измерительных задач, характеризующиеся их теоретическими обоснованиями и разработкой основных приёмов применения средств измерений. Методы измерения весьма разнообразны. Их появление обусловлено научно-техническим прогрессом.

Классификационным признаком в разделении методов измерений является наличие или отсутствие при измерении меры. В этой связи методы измерений делятся на метод непосред-



ственной оценки и метод сравнения с мерой.

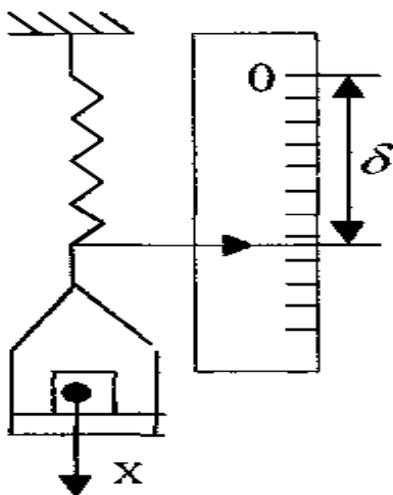
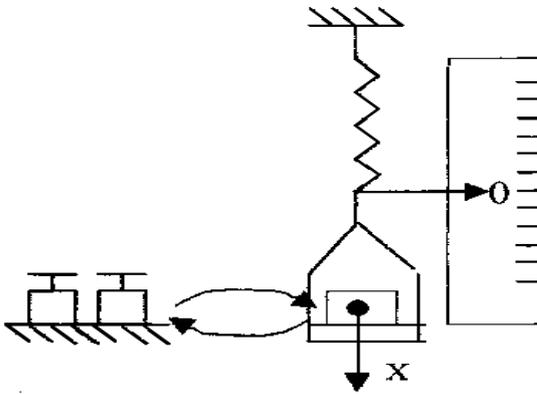
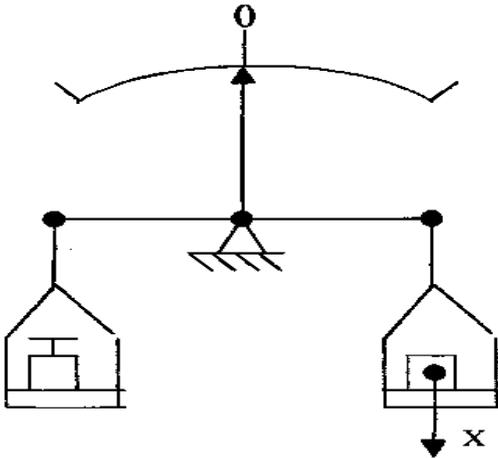


Рисунок 2.2 Схема измерения методом непосредственной оценки

Метод непосредственной оценки (отсчета) – метод измерений, в котором значение ФВ определяется непосредственно по отсчетному устройству измерительного средства. На рис. 2.2 вес груза X определяется на основе измерительного преобразования по значению δ - деформации пружины.



метод замещения

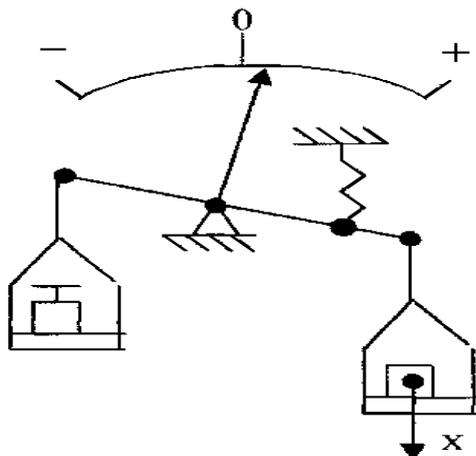


метод противопоставления

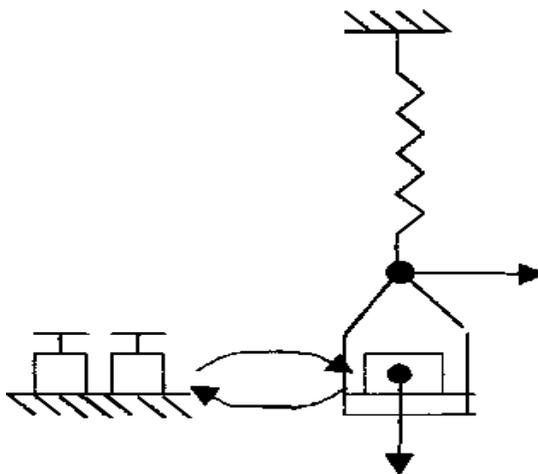
Рисунок 2.3 Схемы измерений нулевым методом



Основные понятия в области измерений и контроля



Метод противопоставления



Метод замещения

Рисунок 2.4 Схемы измерения дифференциальным методом

Методы сравнения с мерой – методы измерений, в которых измеряемую величину сравнивают с величиной, воспроизводимой мерой. В зависимости от наличия или отсутствия при



Основные понятия в области измерений и контроля

сравнении разности между измеряемой величиной и величиной, воспроизводимой мерой, методы сравнения, подразделяются на **нулевой и дифференциальный** методы.

Нулевой метод измерений – метод сравнения с мерой, в котором результирующий эффект воздействия измеряемой величины и меры на прибор сравнения доводят до нуля

Дифференциальный метод измерений – метод измерений, при котором измеряемая величина сравнивается с однородной величиной, имеющей известное значение, изначально отличающееся от измеряемой величины и при котором измеряется разность между этими двумя величинами.

Измерения нулевым и дифференциальным методами могут осуществляться методами *противопоставления, замещения, совпадения*.

Метод противопоставления – метод сравнения с мерой, в котором измеряемая величина и величина, воспроизводимая мерой, одновременно воздействуют на средство сравнения, с помощью которого устанавливаются соотношение между этими величинами.

Метод замещения - метод сравнения с мерой, в котором измеряемую величину замещают мерой известной величины.

Метод совпадения (метод - «нониуса») - метод сравнения с мерой, в котором разность между измеряемой величиной и величиной воспроизводимой мерой, измеряют, используя совпадение отметок шкалы или периодических сигналов.

2.2 Средства измерений

Средством измерений называется техническое средство (или их комплекс), используемое при измерениях и имеющее нормированные метрологические характеристики. В отличие от таких технических средств, как индикаторы, предназначенных для обнаружения физических свойств (компас, лакмусовая бумага, осветительная электрическая лампочка), средства измерений позволяют не только обнаружить физическую величину, но и измерить её, т.е. сопоставить неизвестный размер с известным.

Другими отличительными признаками средств измерений являются, во-первых, «умение» хранить (или воспроизводить)



Основные понятия в области измерений и контроля

единицу физической величины; во-вторых, неизменность размера хранимой единицы. Если же размер единицы в процессе измерений изменяется более чем установлено нормами, то с помощью такого средства невозможно получить результат с требуемой точностью. Отсюда следует, что измерять можно только тогда, когда техническое средство, предназначенное для этой цели, может хранить единицу, достаточно неизменную по размеру (во времени).

Средства измерений можно классифицировать по двум признакам: конструктивное исполнение; метрологическое назначение.

По конструктивному исполнению средства измерений подразделяются на (рис. 2.5) меры, измерительные приборы, измерительные преобразователи, измерительные системы (комплексы).

Мера физической величины - средство измерений, предназначенное для воспроизведения и (или) хранения физической величины одного или нескольких заданных размеров, значения которых выражены в установленных единицах и известны с необходимой точностью.

Различают меры: **однозначные** (гиря 1 кг, калибр, конденсатор постоянной ёмкости); **многозначные** (масштабная линейка, конденсатор переменной ёмкости); **наборы мер** (набор гирь, набор калибров). Набор мер, конструктивно объединённых в единое устройство, в котором имеются приспособления для их соединения в различных комбинациях, называется **магазином мер**. Примером такого набора может быть магазин электрических сопротивлений, магазин индуктивностей. Сравнение с мерой выполняется с помощью специальных технических средств - **компараторов** (рычажные весы, измерительный мост и т.д.).



Основные понятия в области измерений и контроля

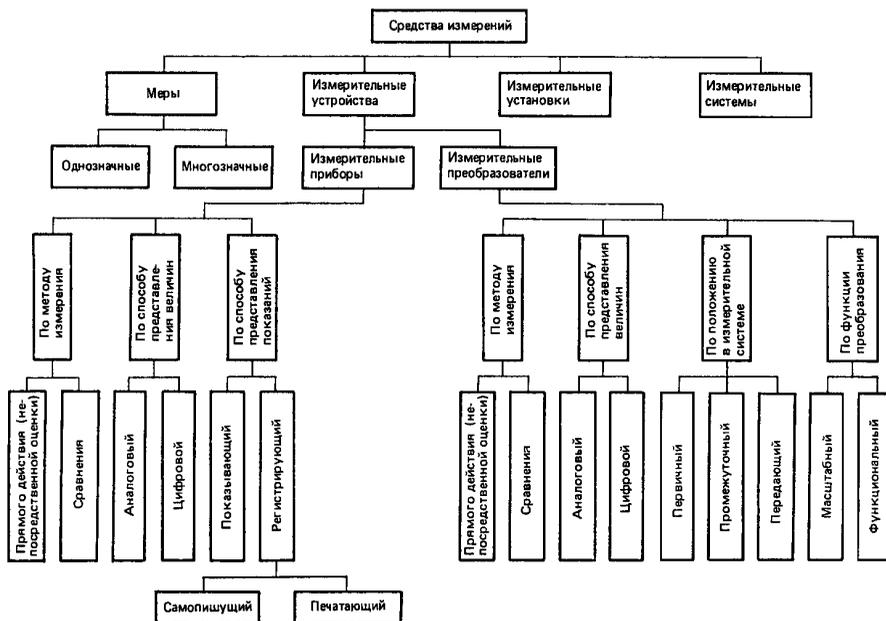


Рисунок 2.5 Классификация средств измерений по конструктивному исполнению

К однозначным мерам можно отнести стандартные образцы (СО). Существуют СО состава и СО свойств - образцы с установленными значениями величин, характеризующих свойства или состав веществ и материалов.

Измерительный преобразователь - техническое средство с нормированными метрологическими характеристиками, служащее для преобразования измеряемой величины в другую величину или измерительный сигнал, удобный для обработки, хранения, дальнейших преобразований, индикации или передачи. Принцип его действия основан на различных физических явлениях.

По характеру преобразования различают аналоговые, аналого-цифровые преобразователи (АЦП), преобразующие непрерывную величину в числовой эквивалент, цифроаналоговые преобразователи (ЦАП), выполняющие обратное преобразование.

По месту в измерительной цепи преобразователи разделяют на первичный (сенсор, чувствительный элемент), на



Основные понятия в области измерений и контроля

который непосредственно воздействует измеряемая физическая величина; промежуточный, включённый в измерительную цепь после первичного; преобразователи, предназначенные для масштабного преобразования, т.е. для изменения значения величины в некоторое число раз; передающие и др.

К измерительным преобразователям можно отнести преобразователи переменного напряжения в постоянное, измерительные трансформаторы напряжения и тока, делители тока, напряжения, усилители, компараторы, термопары и др. Измерительные преобразователи входят в состав какого-либо измерительного прибора, измерительной установки, измерительной системы или применяются вместе с каким-либо средством измерений.

Датчик - конструктивно обособленный первичный преобразователь, от которого поступают измерительные сигналы (он «даёт» информацию).

Датчик может быть вынесен на значительное расстояние от средства измерений, принимающего его сигналы. В области аналитических измерений иногда применяют термин «детектор».

Пример - датчики запущенного метеорологического радиозонда передают измерительную информацию о температуре, давлении, влажности и других параметрах атмосферы.

Измерительный прибор (ИП) - средство измерений, предназначенное для получения значений измеряемой физической величины в установленном диапазоне.

По способу индикации значений измеряемой величины измерительные приборы разделяют на показывающие и регистрирующие. По действию измерительные приборы разделяют на интегрирующие и суммирующие. Различают также приборы прямого действия и приборы сравнения, аналоговые и цифровые приборы, самопишущие и печатающие приборы

Измерительная установка (ИУ) - совокупность функционально объединённых мер, измерительных приборов, измерительных преобразователей и других устройств, предназначенная для измерений одной или нескольких физических величин и расположенная в одном месте, например, установка для измерения



Основные понятия в области измерений и контроля

характеристик транзистора, установка для измерения мощности в трёхфазных цепях и др.

Измерительная машина (ИМ) - измерительная установка крупных размеров, предназначенная для точных измерений физических величин, характеризующих изделие.

Примеры:

1. Силоизмерительная машина.
2. Машина для измерения больших длин в промышленном производстве.
3. Делительная машина.
4. Координатно-измерительная машина.

Измерительно-вычислительный комплекс (ИВК) - функционально объединенная совокупность средств измерений, ЭВМ и вспомогательных устройств, предназначенная для выполнения в составе измерительной системы конкретной измерительной задачи.

Измерительная система - совокупность функционально объединённых мер, измерительных приборов, измерительных преобразователей, ЭВМ и других технических средств, размещённых в разных точках контролируемого объекта и т.п. с целью измерений одной или нескольких физических величин, свойственных этому объекту, и выработки измерительных сигналов в разных целях.

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

Измерительную систему, перестраиваемую в зависимости от изменения измерительной задачи, называют гибкой измерительной системой (ГИС).

Примеры:

1. Измерительная система теплоэлектростанции, позволяющая получать измерительную информацию о ряде физических величин в разных энергоблоках. Она может содержать сотни измерительных каналов.
2. Радионавигационная система для определения местоположения различных объектов, состоящая из ряда измеритель-



Основные понятия в области измерений и контроля

но-вычислительных комплексов, разнесённых в пространстве на значительное расстояние друг от друга.

Измерительное устройство - часть измерительного прибора (установки или системы), связанная с измерительным сигналом и имеющая обособленную конструкцию и назначение.

Пример: измерительным устройством может быть названо регистрирующее устройство измерительного прибора (включающее ленту для записи, лентопротяжный механизм и пишущий элемент), измерительный преобразователь.



3 ПОГРЕШНОСТИ И ХАРАКТЕРИСТИКИ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ [1]

3.1 Общие сведения о погрешностях

Методы и технические средства не являются идеальными, а органы восприятия экспериментатора не могут идеально воспринимать показания приборов. Поэтому после завершения процесса измерения остаётся некоторая неопределённость в знаниях об объекте измерения, т.е. получить истинное значение ФВ невозможно. Остаточная неопределённость наших знаний об измеряемом объекте может характеризоваться различными мерами неопределённости. В теории измерений мерой неопределённости результата измерения является погрешность результата наблюдения.

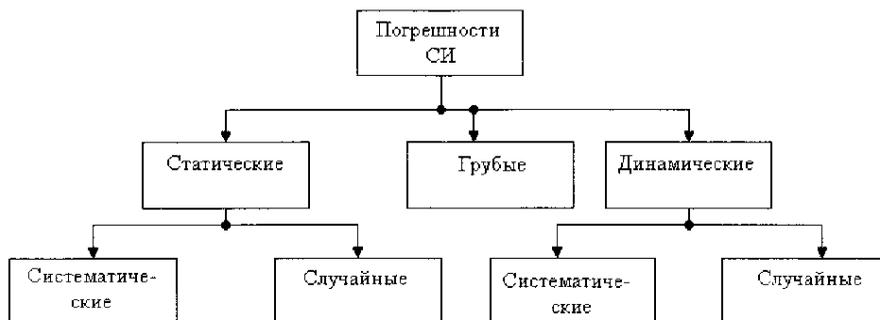


Рисунок 3.1 Классификация погрешностей измерений

Под **погрешностью результата измерения**, или просто погрешностью измерения, понимается отклонение результата измерения от истинного (действительного) значения измеряемой физической величины. Записывается это следующим образом:

$$\Delta = X_{\text{изм.}} - X$$

где $X_{\text{изм.}}$ - результат измерения; X - истинное значение ФВ.

Однако, поскольку истинное значение ФВ остаётся неизвестным, то неизвестна и погрешность измерения. Поэтому на практике имеют дело с приближёнными значениями погрешности или с так называемыми их оценками. В формулу для оценки по-



Основные понятия в области измерений и контроля

грешности подставляют вместо истинного значения ФВ её действительное значение. Таким образом, формула для оценки погрешности имеет следующий вид:

$$\Delta = X_{\text{изм.}} - X_{\text{д}}$$

где $X_{\text{д}}$ - действительное значение ФВ.

Каковы же основные причины возникновения погрешности? Можно выделить четыре основные группы погрешностей измерения:

- погрешности, вызванные методиками выполнения измерения (погрешность метода измерения);
- погрешность средств измерения;
- погрешность органов чувств наблюдателей (субъективные погрешности);
- погрешности, обусловленные влиянием условий измерения.

Все эти погрешности дают суммарную погрешность измерения.

Статистические погрешности СИ - это погрешности средств измерений, возникающие при измерении неизменных во времени величин или установившихся периодических процессов.

Динамические погрешности - это погрешности средств измерений, возникающие при измерении изменяющихся во времени величин или неустановившихся периодических процессов. Динамические погрешности детально рассмотрены в 6-й главе настоящего учебного пособия.

Кроме того, различают так называемую **грубую погрешность** измерения. Иногда в литературе эту погрешность называют **промахом**. Грубая погрешность результата измерения - это такая погрешность, которая значительно превышает ожидаемую.

В метрологии принято разделять суммарную погрешность измерения на две составляющие - случайную и систематическую погрешности.

Случайная погрешность измерения - составляющая погрешности результатов измерения, изменяющаяся случайным образом (по знаку и значению) в повторных наблюдениях, прове-



Основные понятия в области измерений и контроля

дѣнных с одинаковой тщательностью одной и той же неизменяющейся (детерминированной) ФВ. пренебрегают. Например, при измерениях, проводимых с помощью линейки или рулетки, как правило, преобладает случайная составляющая погрешности, а систематическая - мала, ею пренебрегают. Случайная составляющая в этом случае объясняется следующими основными причинами:

- неточностью (перекосом) установки рулетки (линейки);
- неточностью установки начала отсчёта;
- изменением угла наблюдения;
- усталостью глаз;
- изменением освещѣнности.

Систематическая погрешность возникает из-за несовершенства метода выполнения измерения, погрешностей СИ, неточного знания математической модели измерения, из-за влияния условий, погрешностей градуировки и поверки СИ, личных причин.

Поскольку случайные погрешности результатов измерения являются случайными величинами, в основе их обработки лежат методы теории вероятностей и математической статистики.

Как уже отмечалось, в общем случае проявляются одновременно обе составляющие суммарной погрешности измерения - случайная и систематическая, поэтому

$$\Delta = \overset{\circ}{\Delta} + \Delta_{\text{сист.}}$$

где Δ - суммарная погрешность измерения, она может быть представлена в виде суммы; $\overset{\circ}{\Delta}$ - случайная составляющая погрешности измерения; $\Delta_{\text{сист.}}$ - систематическая составляющая погрешности измерения.

Различают также абсолютные и относительные погрешности.

Абсолютная погрешность - погрешность, выраженная в единицах измеряемой величины. Например, погрешность измерения массы в 5 кг - 0,0001 кг. Она обозначается D . Данная погрешность может быть как отрицательной, так и положительной. Как правило, она позволяет определить интервал возможных



Основные понятия в области измерений и контроля

значений измеряемой величины и не позволяет судить о точности измерений. Например, абсолютная погрешность измерения длины составила $\pm 0,5$ м. Если измерялось расстояние между поверхностями Земли и Луны в какой-либо момент времени, то это точное измерение, а если измерялась длина стола – точность измерения была крайне низка. Поэтому для характеристики точности измерений удобно применять относительную погрешность.

Относительная погрешность - это безразмерная величина, определяемая отношением абсолютной погрешности к действительному значению измеряемой ФВ. Как правило, она выражается в процентах (%). Относительная погрешность обозначается δ и определяется следующим образом:

$$\delta = \frac{\Delta}{x_0} (100\%) = \frac{x_{изм.} - x_0}{x_0} (100\%)$$

Точностью измерения называется величина, обратная относительной погрешности:

$$\varepsilon = \frac{1}{\gamma} .$$

Поскольку значение X_d близко к $X_{изм}$ (очень мало отличается от него), то на практике обычно принимается

$$\delta = \frac{\Delta}{x_{изм}} (100\%) .$$

Приведённой погрешностью средства измерения по входу γ_x или выходу γ_y называют отношение абсолютной погрешности к нормирующему значению входного X_N или выходного Y_N сигнала. Вычисление погрешности по входу (выходу) проводят по формулам:

$$\gamma_x = \frac{\Delta}{x_N} 100\%; \quad \gamma_y = \frac{\Delta}{y_N} 100\%;$$

Обычно в качестве нормирующего значения используется диапазон измерений преобразователя ($X_в - X_н$) или соответствующий ему диапазон измерений выходного сигнала ($Y_в - Y_н$).



Основные понятия в области измерений и контроля

Приведённая погрешность не позволяет судить о точности измерений, поскольку на точность измерения в данном случае влияет ещё диапазон измерения.

Чрезвычайно важными для применения измерительных устройств и правильной оценки погрешности измерений, получаемой при их использовании, являются сведения о зависимости погрешности от значения измерительной величины в пределах диапазона измерений, а также сведения об изменениях этой погрешности под действием влияющих величин.

3.2 Характеристики средств измерений

Зависимость погрешности от значения измеряемой величины определяется принятой конструкцией (схемой) и технологией изготовления измерительного устройства. Для рассмотрения этих зависимостей удобно использовать понятие номинальной и реальной статической характеристики измерительного устройства.

Градуировочная характеристика - зависимость между значениями величин на входе и выходе средства измерений, полученная экспериментально. Зависимость выходной величины средства измерения от величины на входе в статическом режиме называется статической характеристикой.

Статическая характеристика преобразования (функция преобразования) - функциональная зависимость между входной « x » и выходной « y » величинами:

$$y = f(x).$$

Эта зависимость может выражать некоторый закон (или законы), которому подчиняется явление, положенное в основу работы средства измерения (СИ). Иногда выходная величина зависит не только от измеряемой величины x , но и от ряда других воздействующих на СИ факторов z_1, z_2, \dots, z_n , являющихся помехами и искажающих результат измерения. В этом случае

Очевидно, что воздействие на СИ посторонних факторов z_1, z_2, \dots, z_n необходимо устранить или уменьшить. Это достигается



Основные понятия в области измерений и контроля

путем экранирования и изоляции СИ от воздействия помех, их компенсации, стабилизации и т. д.

Статические характеристики преобразования могут быть аналоговые и дискретные, без гистерезиса и с гистерезисом (рисунок 3.2).

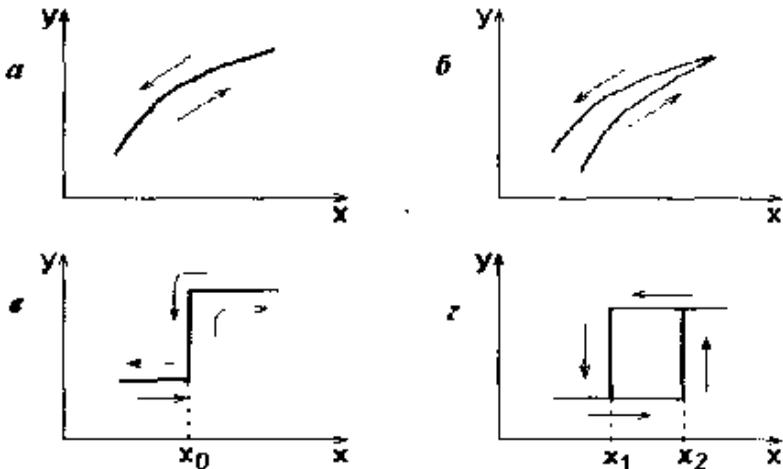


Рис. 3.2. Статические характеристики преобразования средств измерений:

а - аналоговая без гистерезиса; *б* - аналоговая с гистерезисом; *в* - дискретная без гистерезиса; *г* - дискретная с гистерезисом

Номинальной (или идеальной) статической характеристикой (*НСХ*) называется характеристика, которая приписана измерительному устройству данного типа, указанная в его паспорте и используется при выполнении с его помощью измерений.

Реальной статической характеристикой (*РСХ*) называется характеристика, которой обладает конкретный экземпляр измерительного устройства данного типа.

Из-за несовершенства конструкций и технологий изготовления измерительных устройств *РСХ* отличается от *НСХ*. Это отличие и определяет природу погрешностей данного измерительного устройства. Отклонения реальной характеристики от номинальной различны и зависят от значений измеряемой величины



Основные понятия в области измерений и контроля

по всей шкале. По этому признаку погрешности принято разделять на аддитивную, мультипликативную, линейности и гистерезиса.

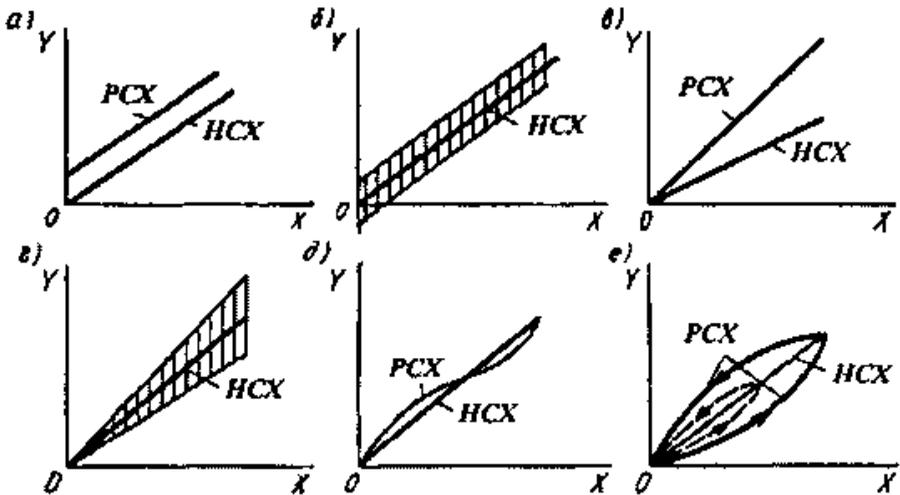


Рисунок 3.3 Статические погрешности средств измерения

Аддитивной погрешностью, или «погрешностью нуля» измерительного устройства (получаемой путем сложения), называется погрешность, которая остаётся постоянной при всех значениях измеряемой величины.

На рисунке 3.3, *а* показана величина, где реальная характеристика несколько смещена относительно номинальной, т.е. выходной сигнал измерительного устройства при всех значениях X будет больше или меньше на одну и ту же величину, чем он должен быть, в соответствии с $HСХ$. Если аддитивная погрешность является систематической, то она может быть устранена. Для этого в измерительных устройствах имеется специально настроенный узел (корректор) нулевого значения выходного сигнала. Но если аддитивная погрешность случайная, то её нельзя исключить, а PCX смещается по отношению к $HСХ$ во времени произвольным образом. При этом для реальной характеристики можно определить некоторую полосу (рис. 3.3, *б*), ширина которой остаётся постоянной при всех значениях измеряемой величины. Возникновение случайной аддитивной погрешности



Основные понятия в области измерений и контроля

обычно вызвано трением в опорах, контактными сопротивлениями, дрейфом нуля, шумом и фоном измерительных устройств.

Мультипликативной погрешностью (получаемой путём умножения), или «погрешностью чувствительности» измерительных устройств, называется погрешность, которая линейно возрастает с увеличением измеряемой величины. Это хорошо просматривается на рис. 3.3, *в*. При случайной, мультипликативной погрешности, на реальной функции она представляется некоторой угловой полосой (рис. 3.3, *г*). Причинами мультипликативных погрешностей являются изменения коэффициентов преобразования отдельных элементов и узлов измерительных устройств.

На рисунке 3.3 *д* показано взаимное расположение номинальной и реальной функций преобразования измерительных устройств. Это бывает в случае, когда отличие этих функций вызвано нелинейными эффектами. В таких случаях эту погрешность называют погрешностью линейности, а причины её могут быть связаны с несовершенством электронных элементов в технологии их изготовления и их нелинейных собственных характеристик. Наиболее затруднительной является погрешность гистерезиса (в переводе с греческого языка - запаздывание) или погрешность обратного хода, выражающаяся в несовпадении РСХ измерительного устройства при увеличении (прямой ход) и уменьшении (обратный ход) измеряемой величины (рис. 3.3, *е*).

Причинами гистерезиса являются: люфт, сухое трение в механических узлах, гистерезисный эффект в ферромагнитных материалах, внутреннее трение в материалах пружин, явление упругого последействия в упругих чувствительных элементах, явление поляризации в электрических, пьезоэлектрических и электрохимических элементах и т.д. Существенным при этом является тот факт, что форма получаемой петли реальной функции преобразования зависит от предыстории, а именно от значения измеряемой величины, при котором после постепенного увеличения последней начинается её уменьшение (на рис. 3.3, *е* это показано пунктирными линиями).

Если влияющие величины, вызывающие изменения поло-



Основные понятия в области измерений и контроля

жения и формы PCX , при измерении не выявляются, то рассматриваемое явление определяется как невоспроизводимость и характеризует случайную погрешность измерительного устройства. При этом используют понятия «размах» и «вариация».

Размахом (непостоянством) R выходного сигнала измерительного преобразователя (показаний измерительного прибора) называется разность между наибольшим и наименьшим значениями выходного сигнала. Этот «размах» соответствует одному и тому же значению измеряемой величины, полученному при многократном и одностороннем подходе к этому значению, т.е. при постепенном увеличении или уменьшении измеряемой величины (только при прямом или только при обратном ходе).

Вариацией ε_y выходного сигнала измерительного преобразователя (показаний измерительного прибора) называют среднюю разность между значениями выходного сигнала, соответствующими одному и тому же значению измеряемой величины, полученными при многократном и двустороннем подходе к этому значению, т.е. при постепенном увеличении и последующем уменьшении измеряемой величины (иначе говоря, при прямом и обратном ходе),

Основная погрешность - это погрешность СИ, находящегося в нормальных условиях эксплуатации. Она возникает из-за неидеальности собственных свойств СИ и показывает отличие действительной функции преобразования СИ в нормальных условиях от номинальной.

Нормативными документами на СИ конкретного типа (стандартами, техническими условиями и др.) оговариваются нормальные условия измерений - это условия измерения, характеризующие совокупностью значений или областей значений влияющих величин, при которых изменением результата измерений пренебрегают вследствие малости. Среди таких влияющих величин наиболее общими являются температура и влажность окружающей среды, напряжение, частота и форма кривой питающего напряжения, наличие внешних электрических и магнитных полей и др. Для нормальных условий применения СИ нормативными документами предусматриваются:



Основные понятия в области измерений и контроля

- нормальная область значений влияющей величины (диапазон значений): температура окружающей среды - (20 ± 5) °С;
- положение прибора - горизонтальное с отклонением от горизонтального $\pm 2^\circ$;
- относительная влажность - $(65 \pm 15)\%$;
- практическое отсутствие электрических и магнитных полей;
- напряжение питающей сети - $(220 \pm 4,4)$ В;
- частота питающей сети - (50 ± 1) Гц и т.д.;
- рабочая область значений влияющей величины (область значений влияющей величины, в пределах которой нормируют дополнительную погрешность или изменение показаний средства измерений);
- рабочие условия измерений (условия измерений, при которых значения влияющих величин находятся в пределах рабочих областей).

Например, для измерительного конденсатора нормируют дополнительную погрешность на отклонение температуры окружающего воздуха от нормальной. Для амперметра - изменение показаний, вызванное отклонением частоты переменного тока от 50 Гц (значение частоты 50 Гц в данном случае принимают за нормальное значение частоты).

Дополнительная погрешность - составляющая погрешности СИ, возникающая дополнительно к основной погрешности вследствие отклонения какой-либо из влияющих величин от нормального её значения или вследствие её выхода за пределы нормальной области значений.

3.3 Классы точности

Класс точности средства измерений - это обобщенная характеристика средства измерений, выражаемая пределами его допускаемых основной и дополнительных погрешностей, а также другими характеристиками, влияющими на точность.

Класс точности дает возможность судить о том, в каких пределах находится погрешность средств измерений этого класса, но не является непосредственным показателем погрешности измерений, выполняемых с помощью этих средств.



Основные понятия в области измерений и контроля

Класс точности может выражаться в форме абсолютных Δ , приведенных у или относительных δ погрешностей в зависимости от характера изменения погрешностей в пределах диапазона измерений, а также от условий применения и назначения средств измерений конкретного вида (см. ГОСТ 8.401-80 [45]):

$$\Delta = \pm a,$$

$$\Delta = \pm(a + b \cdot x),$$

$$\gamma = \frac{\Delta}{x_N} \cdot 100 \% \leq \pm p$$

$$\delta = \frac{\Delta}{x} \cdot 100 \% \leq \pm p,$$

$$\delta = \frac{\Delta}{x} \cdot 100 \% \leq \pm \left[c + d \left(\left| \frac{x_k}{x} \right| - 1 \right) \right] \% \lim_{x \rightarrow \infty},$$

где x - значение измеряемой величины;

a, b - положительные числа, не зависящие от x ;

x_N - верхний предел шкалы;

x_N - нормирующее значение, выраженное в тех же единицах, что и Δ (обычно

$x_N = x_k$);

p, q, c, d - отвлеченные положительные числа, выбираемые из ряда 1×10^n ; $1,5 \times 10^n$; $(1,6 \times 10^n)$; 2×10^n ; $2,5 \times 10^n$; (3×10^n) ; 4×10^n ; 5×10^n ; 6×10^n ($n = 1; 0; -1; -2; -3$ и т. д.).

Допускаемые основные и дополнительные погрешности приводятся в технических описаниях и формулярах средств измерений.

На циферблаты, шкалы, щитки и корпуса средств измерений (кроме линейных и угловых) наносятся условные обозначения классов точности. Например, могут быть нанесены обозначения в виде 1,5; 1,5 или 0,02/0,01, что означает следующее:

– 1,5 - предел допускаемой приведенной основной по-



Основные понятия в области измерений и контроля

грешности определяется по формуле (3.18) и не превосходит $\pm 1,5\%$ от верхнего предела измерения для рассматриваемого прибора (или диапазона измерения);

- предел допускаемой относительной основной погрешности не превосходит $\pm 1,5\%$ от значения измеряемой величины;
- 0,02/0,01 - предел допускаемой относительной основной

погрешности не превосходит $\pm \left[0,02 + 0,01 \left(\left| \frac{x_k}{x} \right| - 1 \right) \right] \%$

от значения измеряемой величины.

Правила построения и примеры обозначения классов точности приведены в табл. 3.1.

Таблица 3.1 Примеры построения и обозначения классов точности

Форма выражения погрешности	Пример обозначения класса точности	Пределы допускаемой основной погрешности
Абсолютная Δ	$\pm 0,1$ мм	$\Delta = \pm 0,1$ мм
Относительная δ	1,5	$= \pm 0,5\%$
Относительная δ	0,2/0,1	$\delta = \pm \left[0,02 + 0,01 \left(\left \frac{x_k}{x} \right - 1 \right) \right] \%$
Приведенная γ	1,0	$\gamma = \pm 1,0\%$
Приведенная γ	2,5	$\gamma = \pm 2,5\%$



4 ВИДЫ ИЗМЕРЕНИЙ [1]

Виды измерений обычно классифицируются по следующим признакам:

- **характеристике точности** - равноточные, неравноточные (равнорассеянные, неравнорассеянные);
- **числу измерений** - однократные, многократные;
- **отношению к изменению измеряемой величины - статические, динамические;**
- **метрологическому назначению** - метрологические, технические;
- **выражению результата измерений — абсолютные, относительные;**
- **по общим приемам получения результатов измерений - прямые, косвенные, совместные, совокупные.**

Равноточные измерения - ряд измерений какой-либо величины, выполненных одинаковыми по точности СИ и в одних и тех же условиях.

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

Однократное измерение - измерение, выполненное один раз.

Многократные измерения - измерения одного и того же размера ФВ, результат которого получен из нескольких следующих друг за другом наблюдений, т.е. состоящих из ряда однократных измерений.

Статическое измерение – измерение ФВ, принимаемой в соответствие с конкретной измерительной задачей за неизменную на протяжении времени измерения. Например, измерение постоянного напряжения электрического тока, измерение размеров земельного участка.

Динамическое измерение - измерение изменяющейся по размеру физической величины. Например, измерение высоты снижающегося самолета, то есть при непрерывном изменении размера измеряемой величины; измерение переменного напряжения электрического тока.



Основные понятия в области измерений и контроля

Технические измерения – измерения с помощью рабочих средств измерений. Технические измерения выполняются с целью контроля и управления технологическими процессами, научными экспериментами, диагностики заболеваний и так далее. Примером технических измерений является измерение скорости движения автобуса, самолета, измерения массы в торговле, измерение температуры в помещении или вне помещения и т.д.

Метрологические измерения – это измерения, выполняемые при помощи эталонов и образцовых средств измерений с целью воспроизведения единиц физических величин или передачи их размера рабочим средствам измерений. Например, поверка или калибровка рабочих гирь 2-го класса точности согласно поверочной схеме, выполняется образцовыми гирями 1-го разряда на весах 1-го разряда. Такие измерения производятся с целью установления точности эталонов и рабочих средств измерений, то есть являются метрологическими. Метрологические измерения делятся на измерения максимально возможной точности и контрольно-поверочные измерения.

Абсолютное измерение – это измерение, основанное на прямых измерениях одной или нескольких величин в её единицах.

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

Прямое измерение - измерение ФВ, проводимое прямым методом, при котором искомое значение ФВ получают непосредственно из опытных данных. Прямое измерение производится путём экспериментального сравнения измеряемой ФВ с мерой этой величины или путём отсчёта показаний СИ по шкале или цифровому прибору. (Например, измерения длины, высоты с помощью линейки, напряжения - с помощью вольтметра, массы - с помощью весов.)

Косвенное измерение - измерение, проводимое косвенным методом, при котором искомое значение ФВ находят на ос-



Основные понятия в области измерений и контроля

новании результата прямого измерения другой ФВ, функционально связанной с искомой величиной известной зависимостью между этой ФВ и величиной, получаемой прямым измерением.

Примеры косвенных измерений:

- определение значения активного сопротивления R резистора на основе прямых измерений силы тока I через резистор и падения напряжения U на нём по формуле

$$R = \frac{U}{I}$$

- определение плотности ρ тела цилиндрической формы на основе прямых измерений его массы m , диаметра d и высо-

ты h цилиндра по формуле
$$\rho = \frac{4m}{\pi d^2 h}$$
 и т.п.

Отметим, что измерения, в которых искомая величина определяется на основе прямых измерений основных физических величин системы и при использовании физических констант, называются **абсолютными**.

Косвенные измерения сложнее прямых, однако, они широко применяются в практике либо потому, что прямые измерения практически невыполнимы, либо потому, что косвенное измерение позволяет получить более точный результат по сравнению с прямым измерением.

Совокупные измерения - одновременно проводимые измерения нескольких одноимённых величин, при которых искомые значения величин определяют путём решения системы уравнений, получаемых при измерениях различных сочетаний этих величин.

Пример: значение массы отдельных гирь набора определяют по известному значению массы одной из гирь и по результатам измерений (сравнений) масс различных сочетаний гирь.

Совместные измерения - это производимые одновременно измерения двух или нескольких неоднородных величин для нахождения зависимости между ними.

Числовые значения искомых величин при совокупных и совместных измерениях определяются из системы уравнений,



Основные понятия в области измерений и контроля

связывающих значения искомых величин со значениями величин, измеренных прямым (или косвенным) способом.

Чтобы определить числовые значения искомых величин, необходимо получить, по крайней мере, столько уравнений, сколько имеется этих величин. Хотя в общем случае число прямых измерений может быть и больше минимально необходимого.

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

$$R_t = R_0(1 + \alpha t + \beta t^2)$$

где, R_t и R_0 - значения сопротивлений резистора при нулевой температуре и температуре t соответственно; α и β - постоянные температурные коэффициенты. Требуется определить значения

величин R_0 , α и β . Очевидно, ни прямыми, ни косвенными измерениями здесь задачу не решить. Поступим следующим образом. При различных (известных) значениях температуры (она может быть измерена прямо или косвенно) t_1 , t_2 и t_3 изме-

ряем (прямо или косвенно) значения R_{t1} , R_{t2} и R_{t3} записываем систему уравнений

$$R_{t1} = R_0(1 + \alpha t_1 + \beta t_1^2);$$

$$R_{t2} = R_0(1 + \alpha t_2 + \beta t_2^2);$$

$$R_{t3} = R_0(1 + \alpha t_3 + \beta t_3^2)$$

Решая эту систему относительно R_0 , α и β получаем



Основные понятия в области измерений и контроля

значения искомых величин. Это пример совместных измерений.



5 ВИДЫ КОНТРОЛЯ [2,3]

В зависимости от вида объекта контроля может быть контроль продукции, услуг, систем качества (производств) и персонала. Все объекты контролируются на соответствие требованиям норм, установленным на сырьё, материалы, изделия, оборудование и инструмент. Одной из важнейших характеристик объектов контроля является их контролепригодность, т.е. свойство конструкции изделия, обеспечивающее возможность, удобство и надёжность 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 детали, узла или изделия в качестве готовой продукции применяют **приёмочный** 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». Приёмочный контроль проводят по нормативнотехнической документации (НТД), общим техническим условиям и соответствующим 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 определённый промежуток времени (часы, сутки, месяцы);
- *непрерывным* - ведётся непрерывно (постоянно).

В зависимости от **средств** контроля различают контроль:

- *визуальный* - когда объект контроля подвергается осмотру и определяется его соответствие требованиям НТД (все



Основные понятия в области измерений и контроля

ли операции выполнены, наличие маркировки, сопроводительной документации);

- *органолептический* — субъективный метод контроля, проводимый специалистами-экспертами (оценка в баллах);
- *инструментальный* - контроль, осуществляемый при помощи измерительного инструмента, калибров, приборов, стенодов, 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.

В зависимости от **объёма 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 и является основанием для разбраковки продукции.

По характеру воздействия на объект контроль может



Основные понятия в области измерений и контроля

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* (электрические, теплотехнические, оптические и др.), *механических свойств* (прочность, твёрдость, 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-, газо- непроницаемость, герметичность).

Процесс контроля при сертификации является организованной системой. Ему присущи определённые признаки, характеризующие его целевую направленность, назначение и содержание. Основными элементами процесса контроля 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.



6 ВИДЫ ИСПЫТАНИЙ [2, 4]

Испытания 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 испытаний и замеров (испытательное оборудование и измерительные приборы или регистрирующие средства измерений), исполнитель испытания, нормативно-техническая документация на испытания (программа, методики).

В зависимости от стадии жизненного цикла продукции проводятся следующие испытания:

- исследования - **исследовательские;**
- разработка - **доводочные, предварительные;**
- производство - **приёмочные, квалификационные, предъявительские, приёмсдаточные, периодические, типовые, инспекционные, сертификационные;**
- эксплуатация - **подконтрольная эксплуатация, эксплуатационные периодические, инспекционные.**

Исследовательские испытания 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 объёма информации. Чаще всего это бывает, когда объект недостаточно изучен, например, при исследовательских работах, проектировании, выборе оптимальных способов хранения, транспортирования, 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 провер-



Основные понятия в области измерений и контроля

ки 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*.

Испытания, проводимые для контроля качества объекта, называются *контрольными*. Назначение контрольных испытаний - проверка на соответствие техническим условиям определённых 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



Основные понятия в области измерений и контроля

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 приёмочные испытания. Испытания проводят в соответствии со стандартом или организационно-методическим документом министерства, ведомства, предприятия. При отсутствии последних необходимость испытаний определяет разработчик. Программа предварительных испытаний максимально 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, закреплённую за головными организациями, испытывают с их участием или под их контролем.

По результатам испытаний оформляют акт, отчёт и определяют возможность предъявления изделия на приёмочные испытания.

Приёмочные испытания проводят для определения целесообразности и возможности постановки продукции на производство. Приёмочные 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 представитель выбирают исходя из условия возможности распространения результатов его испытаний на всю совокупность продукции. Приёмочные испытания проводят аттестованные испытательные подразделения с использованием аттестованного испытательного оборудования. Продукцию, закреплённую за головными организациями по испытаниям, проверяют указанные организации.

По видам продукции, не закреплённой за головной организацией по государственным испытаниям, проведение испыта-



Основные понятия в области измерений и контроля

ний организует одна из сторон - заказчик (основной потребитель), разработчик или изготовитель при участии других сторон под руководством приёмочной комиссии в аттестованных испытательных подразделениях.

При приёмочных испытаниях контролируют все установленные в техническом задании значения показателей и требований. Приёмочные испытания образцов модернизированной или модифицированной продукции по возможности проводят путём 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 по лицензиям и продукции, освоенной на другом предприятии. В остальных случаях необходимость проведения квалификационных испытаний устанавливает приёмочная комиссия.

Испытаниям подвергают образцы из установочной серии (первой промышленной партии), а также первые образцы продукции, выпускаемой по лицензиям и освоенной на другом предприятии.

Инспекционные испытания осуществляют 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: надёжности, экономичности и т.д.

Сертификационные испытания - элемент системы мероприятий, направленных на подтверждение соответствия фактиче-



Основные понятия в области измерений и контроля

ских характеристик продукции требованиям НТД. Сертификационные испытания, как правило, проводят независимые от производителя испытательные центры. По результатам испытаний орган по сертификации принимает решение о соответствии продукции требованиям НТД. Сертификация предполагает взаимное признание результатов испытаний поставщиком и потребителем 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 учётом особенностей её изготовления, испытаний и поставки.

Подконтрольную эксплуатацию проводят для подтверждения соответствия продукции требованиям НТД в условиях её применения, получения дополнительных сведений о надёжности, рекомендаций по устранению недостатков, повышению эффективности применения, а также для получения данных, которые учитывались бы при последующих разработках. Для подконтрольной эксплуатации выделяют образцы, которым 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 работы 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



Основные понятия в области измерений и контроля

(стандартах, инструкциях, правилах), а также нормам и требованиям, определяющим эффективность её применения и приведённым в эксплуатационных документах.

Допускается совмещать следующие категории испытаний:

- предварительные с доводочными;
- приёмочные с приёмосдаточными - для продукции единичного производства;
- приёмочные с квалификационными - при приёмочных испытаниях головных или опытных образцов (опытных партий) с подготовленным технологическим процессом для серийного производства на этом этапе;
- периодические с типовыми - при согласии заказчика (основного потребителя), кроме продукции, подлежащей государственной приёмке;
- сертификационные с приёмочными и периодическими.

Испытания проводятся на следующих уровнях:

- государственном - для приёмочных, квалификационных, инспекционных, сертификационных и периодических (если их результаты используют при аттестации продукции по категориям качества);
- межведомственном - для приёмочных, квалификационных и инспекционных испытаний;
- ведомственном - для приёмочных, 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 приёмочными испытаниями, т.е. испытаниями для выдачи разрешения на серийное производство, 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



Основные понятия в области измерений и контроля

приёмочных 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 объёма повторных испытаний. При этом главной целью испытаний являются безусловная достоверность и полнота получаемой при испытаниях информации о качестве продукции.

Работы по обеспечению единства испытаний организуются министерствами (ведомствами) под методическим руководством Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии через головные организации по государственным испытаниям продукции, головные и базовые организации по стандартизации, контрольноиспытательные и метрологические службы объединений, предприятий, организаций. Технической основой обеспечения единства испытаний являются аттестованное испытательное оборудование и поверенные средства измерений, средства аттестации и поверки. Нормативнометодической основой обеспечения единства испытаний являются:

- стандарты на 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 испытательном оборудовании в



Основные понятия в области измерений и контроля

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 испытания автомобилей;
- *натурные* - испытания в условиях, соответствующих условиям его использования 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 определяются непосредственно без использования аналитических зависимостей, отражающих физическую структуру объекта испытаний или его частей;
- *испытания с использованием моделей* проводятся на физической модели (упрощённой, уменьшенной) изделия или его составных частей; иногда при этих испытаниях возникает необходимость в проведении расчётов 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:

- *нормальные*, когда методы и условия проведения обеспечивают получение необходимого объёма 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 свойств объекта в более короткий срок, чем при нормальных испытаниях. Проведение ускоренных испытаний позволяет сокращать затраты средств и времени на создание продукции. Ускорение получения результатов испыта-



Основные понятия в области измерений и контроля

ний может быть достигнуто за счёт применения повышенных нагрузок, увеличения температур при термических испытаниях и т.д.;

- *сокращённые*, проводимые по сокращённой 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 назначения объекта;
- *на надёжность* - осуществляются для определения показателей надёжности в заданных условиях;
- *на прочность* - проводятся для установления значений воздействующих факторов, при которых определённые 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 определённых 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* - осуществляются 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;



Основные понятия в области измерений и контроля

- *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. Испытания 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:

- Объект испытаний - продукция, подвергаемая испытаниям. Главным признаком объекта испытаний является то, что по результатам испытаний принимается решение именно по этому объекту: о его годности или браковке, о возможности предъявления на последующие испытания, о возможности серийного выпуска и т.п. Характеристики свойств объекта при испытаниях можно определить путём измерений, анализов, диагностирования, применения органолептических методов или регистрации определённых 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.
- Условия испытаний - это совокупность воздействующих факторов и (или) режимов функционирования объекта при испытаниях. Условия испытаний могут быть реальными или моделируемыми, предусматривать определение характеристик объекта при его функционировании и отсутствии



Основные понятия в области измерений и контроля

функционирования, при наличии воздействий или после их приложения.

- Средства испытаний - это технические устройства, необходимые для проведения испытаний. Сюда входят средства измерений, испытательное оборудование и вспомогательные технические устройства.
- 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.



Рисунок 7.1 Структурная схема процесса испытаний
Основным документом, определяющим качество техноло-



Основные понятия в области измерений и контроля

гического процесса испытаний, является методика испытаний. С учётом вышеуказанных составляющих на рис. 7.1 приводится структура процесса сертификационных испытаний.

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

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



ГЛОССАРИЙ

Абсолютная погрешность - погрешность, выраженная в единицах измеряемой величины.

Градуировочная характеристика - зависимость между значениями величин на входе и выходе средства измерений, полученная экспериментально.

Датчик - конструктивно обособленный первичный преобразователь, от которого поступают измерительные сигналы.

Дефект - каждое отдельное несоответствие продукции установленным требованиям.

Дополнительная погрешность - составляющая погрешности средства измерений, возникающая дополнительно к основной погрешности вследствие отклонения какой-либо из влияющих величин от нормального её значения или вследствие её выхода за пределы нормальной области значений.

Действительное значение физической величины - значение физической величины, полученное экспериментальным путём и настолько близкое к истинному значению, что в поставленной измерительной задаче может быть использовано вместо него.

Дифференциальный метод измерений - метод измерений, при котором измеряемая величина сравнивается с однородной величиной, имеющей известное значение, незначительно отличающееся от значения измеряемой величины, и при котором измеряется разность между этими двумя величинами.

Задача испытания - получение количественных или качественных оценок характеристик продукции, т.е. оценивание способности объекта выполнять требуемые функции в заданных условиях.

Значение физической величины - выражение размера физической величины в виде некоторого числа принятых для неё единиц.

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



этой величины.

Измерительный преобразователь - техническое средство с нормативными метрологическими характеристиками, служащее для преобразования измеряемой величины в другую величину или измерительный сигнал, удобный для обработки, хранения, дальнейших преобразований, индикации или передачи.

Измерительно-вычислительный комплекс (ИВК) - функционально объединённая совокупность средств измерений, ЭВМ и вспомогательных устройств, предназначенная для выполнения в составе измерительной системы конкретной измерительной задачи.

Измерительная машина (ИМ) - измерительная установка крупных размеров, предназначенная для точных измерений физических величин, характеризующих изделие.

Измерительный прибор (ИП) - средство измерений, предназначенное для получения значений измеряемой физической величины в установленном диапазоне.

Измерительная задача - задача, заключающаяся в определении значения физической величины путём её измерения с требуемой точностью в данных условиях измерений.

Измерительная система - совокупность функционально объединённых мер, измерительных приборов, измерительных преобразователей, ЭВМ и других технических средств, размещённых в разных точках контролируемого объекта и т.п. с целью измерений одной или нескольких физических величин, свойственных этому объекту, и выработки измерительных сигналов в разных целях.

Измерительная установка (ИУ) - совокупность функционально объединённых мер, измерительных приборов, измерительных преобразователей и других устройств, предназначенная для измерений одной или нескольких физических величин и расположенная в одном месте, например, установка для измерения характеристик транзистора, установка для измерения мощности в трёхфазных цепях и др.

Измерительное устройство - часть измерительного прибора (установки или системы), связанная с измерительным сиг-



Основные понятия в области измерений и контроля

налом и имеющая обособленную конструкцию и назначение.

Истинное значение физической величины - значение физической величины, которое идеальным образом характеризует в качественном и количественном отношении соответствующую физическую величину.

Контроль - процедура оценивания соответствия путём наблюдений и суждений, сопровождаемых соответствующими измерениями, испытаниями и калибровкой.

Косвенное измерение - определение искомого значения физической величины на основании результатов прямых измерений других физических величин, функционально связанных с искомой величиной.

Мера физической величины - средство измерений, предназначенное для воспроизведения и (или) хранения физической величины одного или нескольких заданных размеров, значения которых выражены в установленных единицах и известны с необходимой точностью.

Метод измерений замещением - метод сравнения с мерой, в котором измеряемую величину замещают мерой с известным значением величины.

Метод измерений - приём или совокупность приёмов сравнения измеряемой физической величины с её единицей в соответствии с реализованным принципом измерений.

Метод непосредственной оценки - метод измерений, при котором значение величины определяют непосредственно по показывающему средству измерений.

Метод совпадений - метод сравнения с мерой, в котором разность между измеряемой величиной и величиной, воспроизводимой мерой, измеряют, используя совпадения отметок шкал или периодических сигналов.

Нулевой метод измерений - метод сравнения с мерой, в котором результирующий эффект воздействия измеряемой величины и меры на прибор сравнения доводят до нуля.

Объект испытаний - продукция, подвергаемая испытаниям.

Основная погрешность - погрешность средства измере-



Основные понятия в области измерений и контроля

ний, применяемого в нормальных условиях.

Относительная погрешность - безразмерная величина, определяющаяся отношением абсолютной погрешности к действительному значению измеряемой ФВ.

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

Прибор с емкостным датчиком - измерительное средство с электрическим преобразованием, в котором линейные (или угловые) перемещения преобразуются в изменения электрической ёмкости электрической цепи.

Прибор с индуктивным датчиком - измерительное средство с электрическим преобразованием, в котором линейные или угловые перемещения преобразуются в изменения индуктивности электрической цепи.

Приведённая погрешность средства измерения - погрешность, выраженная отношением абсолютной погрешности средства измерений к условно принятому значению величины, постоянному во всём диапазоне измерений или в части диапазона.

Прямое измерение - измерение, при котором искомое значение физической величины (ФВ) получают непосредственно.

Размер физической величины - количественная определённость физической величины, присущая конкретному материальному объекту, системе, явлению или процессу.

Систематическая погрешность измерения - составляющая погрешности результата измерения, остающаяся постоянной или же закономерно изменяющаяся при повторных наблюдениях одной и той же неизменяющейся ФВ.

Система физических величин - совокупность физических величин, образованная в соответствии с принятыми принципами, когда одни величины принимают за независимые, а другие определяют как функции независимых величин.

Случайная погрешность измерения - составляющая погрешности результатов измерения, изменяющаяся случайным образом (по знаку и значению) в повторных наблюдениях, прове-



Основные понятия в области измерений и контроля

дённых с одинаковой тщательностью одной и той же неизменяющейся (детерминированной) ФВ.

Совокупные измерения - проводимые одновременно измерения нескольких одноимённых величин, при которых искомые значения величин определяют путём решения системы уравнений, получаемых при измерениях этих величин в различных сочетаниях.

Совместные измерения - измерения, проводимые одновременно для двух или нескольких неоднородных величин для определения зависимости между ними.

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

Универсальные осциллографы - электронно-лучевые осциллографы, в которых исследуемый сигнал подаётся на вертикально отклоняющую систему, а горизонтальное отклонение осуществляется генератором развёртки.

Условия испытаний - совокупность воздействующих факторов и (или) режимов функционирования объекта при испытаниях.

Физическая величина (ФВ) - одно из свойств физического объекта (физической системы, явления или процесса), общее в качественном отношении для многих физических объектов, но в количественном отношении индивидуальное для каждого из них



СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. РМГ 29-99. Рекомендации по межгосударственной стандартизации. Государственная система обеспечения единства измерений. Метрология. Основные термины и определения.
2. ГОСТ 24851-81. Калибры для гладких цилиндрических отверстий и валов.
3. ГОСТ 16504—81. Испытания и контроль качества продукции. Основные термины и определения.
4. Сергеев, А.Г. Сертификация : учебное пособие для студентов вузов / А.Г. Сергеев, М.В. Латышев. - М. : Издательская корпорация «Логос», 2000. - 248 с.