

Министерство образования Республики Беларусь

**Учреждение образования
«Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого»**

Кафедра «Электроснабжение»

Н. В. Грунтович, О. Г. Широков

МЕТРОЛОГИЯ И СТАНДАРТИЗАЦИЯ

КУРС ЛЕКЦИЙ

по одноименной дисциплине

для студентов специальностей

1-43 01 02 «Электроэнергетические системы и сети»

и 1-43 01 03 «Электроснабжение (по отраслям)»

дневной и заочной форм обучения

Гомель 2011

УДК 006+621.317.3(075.8)
ББК 30.10я73
Г90

*Рекомендовано научно-методическим советом
энергетического факультета ГГТУ им. П. О. Сухого
(протокол № 6 от 29.03.2011 г.)*

Рецензент: канд. техн. наук, доц. каф. «Автоматизированный электропривод»
ГГТУ им. П. О. Сухого *В. В. Тодарев*

Грунтович, Н. В.

Г90 Метрология и стандартизация : курс лекций по одной дисциплине для студентов специальностей 1-43 01 02 «Электроэнергетические системы и сети» и 1-43 01 03 «Электроснабжение (по отраслям)» днев. и заоч. форм обучения / Н. В. Грунтович, О. Г. Широков. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2011. – 169 с. – Систем. требования: PC не ниже Intel Celeron 300 МГц ; 32 Mb RAM ; свободное место на HDD 16 Mb ; Windows 98 и выше ; Adobe Acrobat Reader. – Режим доступа: <http://lib.gstu.local>. – Загл. с титул. экрана.

Изложены основные термины и определения метрологии, система физических величин и единиц измерений, система эталонов. Рассмотрены способы и методики оценки погрешностей измерений, их классификация.

Для студентов специальностей 1-43 01 02 «Электроэнергетические системы и сети» и 1-43 01 03 «Электроснабжение (по отраслям)» дневной и заочной форм обучения.

УДК 006+621.317.3(075.8)
ББК 30.10я73

© Учреждение образования «Гомельский
государственный технический университет
имени П. О. Сухого», 2011

Тема 1. ВВЕДЕНИЕ В МЕТРОЛОГИЮ И СТАНДАРТИЗАЦИЮ

Вопросы лекции:

- Определение метрологии
- Связь метрологии, стандартизации и сертификации
- Метрология и стандартизация в Республике Беларусь

1.1 Определение метрологии

Первоначально метрология возникла как наука о различных мерах и соотношениях между ними. Слово метрология образовано из двух греческих слов: «метрон» – мера и «логос» – учение, и означает – учение о мерах.

Г.Галилей (1564-1642) «Измеряй все доступное измерению и делай доступным все недоступное ему».

Д.И.Менделеев (1834-1907) определил значение измерений для науки следующим образом: «Наука начинается с тех пор, как начинают измерять. Точная наука немыслима без меры».

У.Томсон (1824-1907) «Каждая вещь известна лишь в той степени, в какой можно измерить» (барон Кельвин с 1892 г.).

Общепринятое определение метрологии дано в ГОСТ 16263-70 «ГСИ. Метрология. Термины и определения»: *метрология* – наука об измерениях, методах, средствах обеспечения их единства и способах достижения требуемой точности.

Вся правда про сосиски... и не только

- ИЗ ЧЕГО сделаны мясные продукты, сколько в них мяса и есть ли оно вообще?
- Поможет узнать это новый технический регламент на мясную продукцию.
- Он обещает быть ещё более революционным, чем молочный регламент. Если, конечно, в процессе принятия его не изуродуют до неузнаваемости.

МНЕНИЕ ЭКСПЕРТА

Борис ГУТНИК заместитель директора ВНИИ мясной промышленности:

– Разрабатывая регламент, мы преследовали две главные цели. Первая: защитить отечественного производителя. Чтобы, когда мы вступим в ВТО, к нам из других стран не везли всякую дрянь, как на помойку. Благодаря такому закону подобные продукты у нас будут запрещены.

Вторая цель – защитить отрасль от бесконечных я никому не нужных проверок. Документ регламентирует работу всей отрасли, и если производитель не выполняет этих требований, то отвечает по закону. Пока судьба регламента складывается непросто из-за разногласий между ведомствами. Есть опасения, что его примут не как закон, а как постановление правительства. И тогда его формулировки будет легче менять.

СОГЛАСНО новому регламенту **«мясо»** – это «совокупность мышечной, жировой, соединительной и костной ткани».

Но для потребителей важнее другой термин – **«мышечная ткань»**. По сути, это единица измерения мяса в продукте.

Если отвлечься от анатомической терминологии, то получится обычное постное мясо без жира, жил и костей. Все продукты будут разделены на несколько категорий по содержанию в них именно постного мяса

Например, в **«мясном продукте»** (это официальный термин) мышечной ткани должно быть не менее 60%. Если её меньше, то это уже **«мясосодержащий продукт»**. Он может быть трёх категорий – А, Б и В. Запомните эти термины, они скажут о продукте гораздо больше, чем привычные понятия вроде колбасы, сосисок, ветчины или сарделек.

В будущем, покупая колбасу, сосиски и другие мясные товары, ищите на этикетке определение продукта: **мясной, мясосодержащий, мясо-растительный, растительно-мясной или даже «аналог мясного продукта»** (см. рис. 1.1).



Рис. 1.1. ***

Для потребителя станет явным ещё один тайный вид мяса – «мясо механической обвалки» или «дообвалки».

Что это такое? Обвалка – отделение мяса от костей вручную. А дообвалка – удаление того, что ещё осталось после этого. Мощный пресс плющит кости, отжимая остатки мяса, связок и жира. Получается пастообразная масса с примесью измельчённых костей. По регламенту костей должно быть не больше 0,8%. Этот дешёвый продукт очень часто добавляют в колбасы, полуфабрикаты и во всё, что делают из фарша. Его нужно будет указывать на этикетке.

Метрология делится на три самостоятельных и взаимно дополняющих раздела, основным из которых является «Теоретическая метрология». В нем излагаются общие вопросы теории измерений.

Раздел «Прикладная метрология» посвящен изучению вопросов практического применения в различных сферах деятельности результатов теоретических исследований.

В заключительном разделе «Законодательная метрология» рассматриваются комплексы взаимосвязанных и взаимообусловленных общих правил, требований и норм, а также другие вопросы, нуждающиеся в регламентации и контроле со стороны государства, направленные на обеспечение единства измерений и единообразия средств измерений (СИ).

Основное понятие метрологии – измерение. Согласно ГОСТ 16263-70, измерение – это нахождение значения физической величины (ФВ) опытным путем с помощью специальных технических средств.

Значимость измерений выражается в трех аспектах: философском, научном и техническом.

Философский аспект состоит в том, что измерения являются важнейшим универсальным методом познания физических явлений и процессов.

Метрология как наука об измерениях занимает особое место среди остальных наук.

Возможность измерения обуславливается предварительным изучением заданного свойства объекта измерений, построением абстрактных моделей как самого свойства, так и его носителя – объекта измерения в целом.

Поэтому место измерения определяется не среди первичных (теоретических или эмпирических) методов познания, а среди вторичных (квантитативных), обеспечивающих достоверность измерения.

С помощью вторичных познавательных процедур решаются задачи формирования данных (фиксации результатов познания).

Измерение с этой точки зрения представляет собой метод кодирования сведений, получаемых с помощью различных методов познания, т.е. заключительную стадию процесса познания, связанную с регистрацией получаемой информации.

Научный, аспект измерений состоит в том, что с их помощью в науке осуществляется связь теории и практики. **Без измерений невозможна проверка научных гипотез и соответственно развитие науки.**

Измерения обеспечивают получение количественной информации об объекте управления или контроля, без которой невозможно точное воспроизведение всех заданных условий технического процесса, обеспечение высокого качества изделий и эффективного управления объектом. Все это составляет технический аспект измерений

Структура теоретической метрологии представлена на *рис. 1.2.*

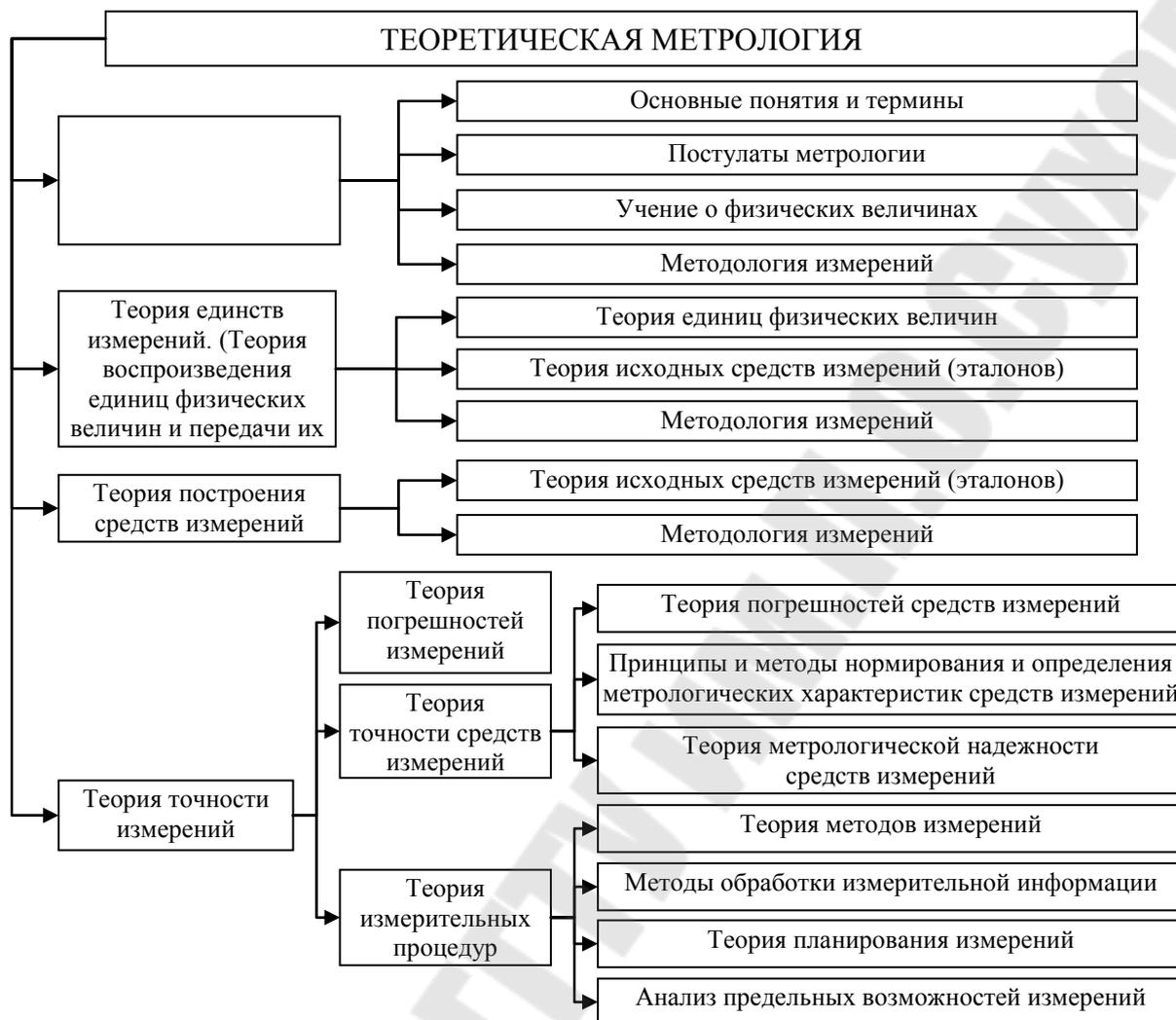


Рис. 1.2. Структура теоретической метрологии

Одна из основных задач метрологии – **обеспечение необходимой точности и достоверности измерительной информации**. В народном хозяйстве применяют лишь те средства измерений, которые гарантируют их результаты. **Результаты измерений** – знания о состоянии объекта и свойствах явлений. Чем точнее эти знания, тем правильнее вывод и принимаемые решения, тем меньше вероятность ошибок и появления дефектов.

1.2 Связь метрологии, стандартизации и сертификации

Со стороны государства регламентируются многие нормы, требования и правила, используемые в процессе измерений для обеспечения единства измерений в стране. Метрология органически связана со стандартизацией. Эта связь выражается, прежде всего,

в стандартизации единства измерений, системе государственных эталонов, системе средств измерений и методов поверок, в создании стандартных образцов свойств и состава веществ.

Необходимость стандартизации *методик выполнения измерений* обусловлена тем, что погрешности результатов измерений определяются не только погрешностью применяемых средств измерений, но и применяемыми методами измерений, внешними условиями, в которых измерения выполняются, способами обработки результатов измерений и др. *Часто оказывается, что погрешности средств измерений составляют весьма малую долю погрешности результата измерений.*

Стандартизация опирается на метрологию, обеспечивающую правильность и сопоставимость результатов испытаний материалов и изделий, а также заимствует из метрологии методы определения и контроля качества.

Объективность испытаний, достоверность и точность получаемых результатов во многом определяется техническим уровнем измерительной техники, ее автоматизацией.

Учитывая высокую стоимость контрольных проверок и испытаний, эффективным выходом из этого положения становится взаимное признание результатов испытаний. Это означает, что **страна-импортер**, опираясь на знание действующих НТД, установленного порядка испытаний, наличия необходимых приборов и испытательного оборудования **страны-экспортера** признает результаты, проведенных экспортером испытаний изделия и не проводит повторных испытаний изделия у себя в стране.

Высшим уровнем такого признания является сертификация. Сертификация – это действие, проводимое с целью подтверждения, посредством сертификата соответствия или знака соответствия того, что изделие или услуга соответствуют определенным стандартам или техническим условиям.

1.3 Метрология и стандартизация в Республике Беларусь

В марте 1992 г. создан Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации.

Первое издание стандартов, составляющих основу Государственной системы стандартизации РБ, вышло в 1993 г.

25 мая 1995 г. принята система обеспечения единства измерений РБ. Государственный метрологический надзор и метрологический контроль.

5 сентября 1995 г. подписан закон РБ №409 «О стандартизации» – устанавливающий правовые основы стандартизации в РБ. Этот закон регулирует правоотношения, возникающие в процессе работ по стандартизации, а также права, обязанности и ответственность участников стандартизации.

В 1995 г. специалистами Минского центра стандартизации и метрологии совместно с одним из ведущих институтов России разработан Национальный эталон времени, частоты и шкалы времени – первый национальный эталон РБ. Погрешность в 1 с эталон может накопить в течение 60 000 лет. Погрешность воспроизведения ед. времени не превышает $5 \cdot 10^{-13}$.

1996 г. Второе исправленное издание стандартов РБ вместо издания в 1993 г. (СТБ).

2004 г. Принят Закон Республики Беларусь №262-З от 5 января 2004 г. «О техническом нормировании и стандартизации». Закон регулирует отношения, возникающие при разработке, утверждении и применении технических требований к продукции, процессам ее разработки, производства, эксплуатации (использования), хранения, перевозки, реализации и утилизации или оказанию услуг, определяет правовые и организационные основы технического нормирования и стандартизации и направлен на обеспечение единой государственной политики в этой области.

Тема 2. Основные термины и определения в метрологии

Вопросы лекции:

- ГОСТ 16263-70 «ГСИ. Метрология. Термины и определения»
- Основные характеристики измерений

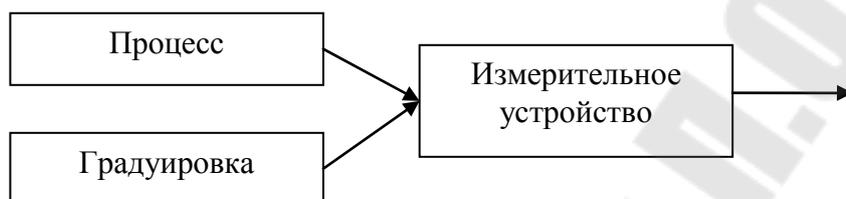
2.1 ГОСТ 16263-70 «ГСИ. Метрология. Термины и определения».

В Государственной системе измерений есть стандартное определение измерения: *измерение – это нахождение значения физиче-*

ской величины опытным путем с помощью специальных технических средств.

Для осуществления измерений необходимо воспроизвести единицу физической величины, сравнить с ней измеряемое значение, зафиксировать результаты сравнения и оценить погрешности измерения.

Характерные черты процесса измерения можно представить в виде идеализированной **блок-схемы** (рис.2.1).



Измерительная система
 X – измеряемая величина
 X_N – мера

Рис. 2.1. Блок-схема

Блок-схема поясняет аспект восприятия и отображения информации о физической величине. Присущий измерению процесс нормирования, т.е. присвоения отображаемой физической величине определенного числового значения, представлен вводимой в измерительное устройство информацией о мере (эталоны) физической величины. Информация об измеряемой величине преобразуется измерительным устройством в показания.

Диапазон показаний – область значений измеряемой величины, в которой они могут быть отсчитаны на показывающем измерительном приборе между начальным и конечным значением шкалы.

Предел измерений – часть диапазона показаний, в которой погрешности находятся в предписанных пределах.

Диапазон измерений – область значений измеряемой величины, заключенной между верхним и нижним пределом измерений.

Измеренное значение – значение физической величины, определяемое по показанию средства измерения. Выражается в виде произведения числового значения и единицы измерения физической величины.

Средства измерений – технические средства, используемые при измерениях и имеющие нормированные метрологические свойства.

ва, т.е. свойства, оказывающие влияние на результаты и погрешности измерений.

Результат измерения – значение величины, найденное путем ее измерения. В общем случае получают из многих измеренных значений по известным соотношениям.

По способу получения результата измерений измерения разделяют на прямые, косвенные, совокупные и совместные.

Прямое измерение – это измерение, при котором искомое значение величины находят непосредственно из опытных данных. Например, измерение массы на циферблатных весах, длины микрометром, температуры термометром, электрического напряжения вольтметром. При прямых измерениях измеряемую физическую величину сравнивают непосредственно с мерой или преобразуют в другую физическую величину, которую также сравнивают с мерой. В качестве меры здесь обычно выступает шкала прибора.

Косвенное измерение – это измерение, при котором искомое значение величины находят на основании известной зависимости между этой величиной и величинами, подвергаемыми прямым измерениям. Если измеряемая величина Q связана с другими величинами X_1, X_2, \dots, X_n , уравнением $Q = f(X_1, X_2, \dots, X_n)$, то величину Q вычисляют по указанному уравнению между величинами.

Совокупные измерения – это проводимые одновременно измерения нескольких одноименных величин, при которых искомые значения величин находят решением системы уравнений, получаемых при прямых измерениях различных сочетаний этих величин.

Например, необходимо определить размеры физических величин X_1, X_2, \dots, X_3 , но мы не имеем устройства, которое дало бы возможность измерить непосредственно указанные величины, а располагаем устройствами, позволяющими определить суммы любых двух из указанных величин. Тогда, измеряя сочетания величин, получим следующие уравнения:

$$X_1 + X_2 = a;$$

$$X_1 + X_3 = b;$$

$$X_2 + X_3 = c,$$

где a, b, c – результаты измерения соответствующих пар размеров величины. Искомые величины X_1, X_2 и X_3 легко определяются решением указанных уравнений. Таким образом, можно определить массы гирь набора при известной массе по результатам сравнения масс различных сочетаний гирь.

Совместные измерения – это проводимые одновременно измерения двух или нескольких неоднородных величин для нахождения зависимости между ними. Например, для определения температурного коэффициента линейного расширения измеряют температуру и длину нагретого до разных температур стержня.

По способу выражения результатов различают абсолютные и относительные измерения

Абсолютное измерение – это измерение, основанное на прямых измерениях одной или нескольких основных величин и (или) использовании физических констант. Примером абсолютных измерений может служить измерение длины рулеткой, измерение силы с помощью мер массы и константы земного ускорения.

Относительным измерением называется измерение отношения величины к одноименной величине, играющей роль единицы, или изменения величины по отношению к одноименной величине, принимаемой за исходную. Например, при измерении частоты на осциллографе путем сравнения с некоторой известной частотой, наблюдают интерференционные фигуры (фигуры Лиссажу), которые идентифицируются в зависимости от отношения частот.

По характеру зависимости измеряемой величины от времени измерения разделяют на:

- *статические* – при которых измеряемая величина остается постоянной во времени;
- *динамические* – в процессе которых измеряемая величина изменяется.

К статическим относятся измерения геометрических размеров тела, измерения постоянного давления. К динамическим – измерения пульсирующих давлений, вибрации.

Однократные измерения – измерения, выполняемые один раз.

Многократные измерения – измерения одной и той же физической величины, результат которых получают из нескольких следующих друг за другом измерений. Обычно многократными считаются измерения проводимые свыше трех раз.

Технические измерения – измерения, выполняемые при помощи рабочих средств измерений с целью контроля и управления научными экспериментами, контроля параметров изделия.

Метрологические измерения – измерения при помощи эталонов и образцовых средств измерений с целью нововведения единиц

физических величин или передачи их размеров рабочим средствам измерений.

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

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

2.2 Основные характеристики измерений

Принцип измерений – это физическое явление или совокупность физических явлений, на которых основаны измерения. Например, при измерении массы путем взвешивания на равноплечих весах используются следующие физические явления: сила притяжения к земле прямо пропорциональна массе, равные массы имеют равные силы тяжести и на равноплечих весах моменты сил будут равны, а весы уравновешены в устойчивом положении. Локационные измерения длин основаны на измерении времени от момента подачи сигнала до момента возвращения отраженного сигнала при известной скорости распространения сигнала в данной среде. Измерение расхода газа или жидкости по перепаду давления в сужающем устройстве основано на зависимости перепада давления от скорости потока.

Метод измерений – это совокупность приемов использования принципов и средств измерения.

Классификация методов измерения представлена на *рис.2.2*.

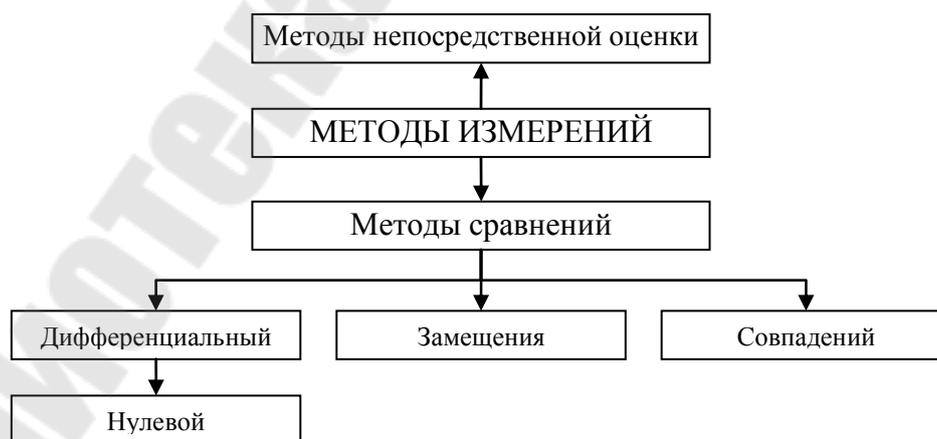


Рис. 2.2. Классификация методов измерения

Погрешность измерения – отклонение результата измерения от истинного значения измеряемой величины.

Абсолютная погрешность измерения – погрешность, выраженная в единицах измеряемой величины:

$$\Delta x = x - A.$$

Относительная погрешность измерения (%) – отношение абсолютной погрешности измерения к истинному значению измеряемой величины:

$$dx = \Delta x/A.$$

Относительная погрешность не может служить показателем точности измерений, так как она может существенно изменяться в зависимости от значения измеряемой величины. Для нормирования погрешности средств измерений используется понятие приведенной погрешности, которое определяется как:

$$\gamma_{\text{пр}} = \Delta x/A_n,$$

где A_n – нормируемое значение (для большинства приборов это максимальное значение шкалы).

Распределение полосы погрешностей средств измерений

Если нанести на график экспериментальную зависимость выходного сигнала y от входного x , то полученные точки в координатах $x - y$ разместятся в пределах некоторой полосы. При неизменном положении полосы погрешностей от значения x диапазон разброса значений погрешностей имеет постоянное значение в виде $\Delta x = \pm \Delta x_0$. Такая погрешность получила название аддитивной (рис. 2.3, а). В том случае, если ширина диапазона погрешностей возрастает с увеличением входного сигнала x , такая погрешность носит название мультипликативной (рис. 2.3, б). Когда свой вклад в распределение полосы погрешностей вносят как аддитивная, так и мультипликативная составляющие, распределение полосы погрешностей имеет трапециевидальную форму (рис. 2.3, в).

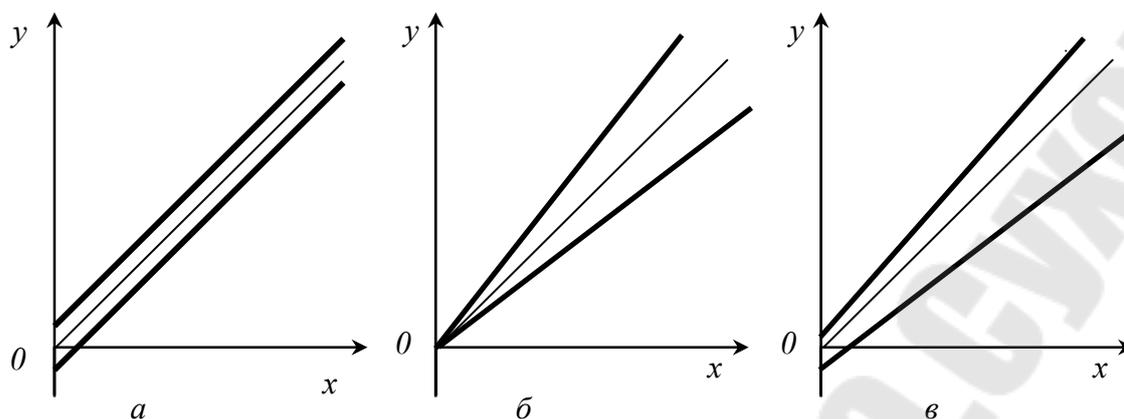


Рис. 2.3. Распределение полосы погрешностей средств измерений

Пример 1

Шкала прибора 0-300 В: прибор показывает 220 В.

На шкале прибора нанесено 0,5 – допускаемая приведенная основная погрешность в % $\gamma = 0,5\%$

Определить значение погрешности измерений:

$$\Delta = \gamma \cdot U_n / 100 = 0,5 \cdot 300 / 100 = \pm 1,5 \text{ В}$$

Пример 2

Шкала прибора 0 -300 В. Прибор показывает 220 В На шкале прибора нанесено 0,5 – тогда относительная погрешность

$$\delta = \pm 0,5 \cdot 300 / 220 = 0,68$$

Определить значения погрешности измерений.

$$\Delta = \frac{\delta \cdot U_i}{100} = \frac{0,68 \cdot 220}{100} = \pm 1,499 \text{ В}$$

Абсолютные аддитивные погрешности не зависят от измеряемой величины X , а мультипликативные прямо пропорциональны значению X .

Источники аддитивной погрешности – трение в опорах, неточность отсчета, вибрации.

Причинами мультипликативной погрешности являются влияние внешних факторов и старение элементов и узлов приборов.

Когда свой вклад в распределение полосы погрешности вносит как аддитивная, так и мультипликативная составляющие, распределение полос погрешностей имеет трапециидальную форму.

$$|\Delta_{\max}| = |a| + |b_x|,$$

где a – предельное значение аддитивной погрешности,

b_x – предельное значение мультипликативной погрешности.

Сходимость измерений – это качество измерений, отражающее близость друг к другу результатов измерений, выполняемых в одинаковых условиях. Повторение измерений приводит к различным результатам наблюдений, распределение которых может быть оценено статистическими методами. Результаты измерения, вероятностные законы, распределения которых известны, называют достоверными. Результаты измерения, достоверность которых неизвестна, т. е. неизвестны предельные погрешности с заданной вероятностью, не представляют ценности и в ряде случаев могут быть источником дезинформации и принести ущерб.

Единство измерений – это такое состояние измерений, при котором их результаты выражены в узаконенных единицах и погрешности измерений известны с заданной вероятностью. Единство измерений позволяет обеспечить воспроизводимость измерений, т.е. близость друг к другу измерений, выполняемых в различных условиях (в различное время, в разных местах, неодинаковыми методами и средствами). Это особенно важно в настоящее время, когда специализация и кооперация производства осуществляется не только в рамках одной страны, но и в международном масштабе. Без обеспечения единства измерений невозможно успешное развитие науки на основе обмена идеями и результатами. Единство измерений позволяет сопоставить результаты измерений, выполненные с использованием различных методов и средств измерений в различных местах и в разное время.

Единство измерений обеспечивается единообразием средств измерений и правильной методикой выполнения измерений. Мероприятия по обеспечению единства и требуемой точности измерений установлены законодательно.

Единообразие средств измерений – это такое их состояние, когда все они проградуированы в узаконенных единицах, а их метрологические свойства соответствуют нормам.

Единство измерений не может быть обеспечено без специальных мер, осуществляемых в масштабах всего государства. Поэтому создана метрологическая служба, деятельность которой направлена на обеспечение единства измерений. **Метрологическую службу возглавляет Государственный комитет метрологии и стандартизации.**

Все используемые средства измерений (СИ) периодически, в установленные сроки, проходят поверку

Поверкой средств измерений называется определение метрологическим органом погрешностей СИ и установление его пригодности к применению. Поверка СИ является одним из звеньев в многоступенчатой цепи передачи размера единицы физической величины от эталона через образцовые средства измерений к рабочему средству измерений. Именно эта связь с эталоном обеспечивает единообразие средств измерений и единство измерений.

Исходными аксиоматическими понятиями в определении сущности измерений являются:

- натуральный ряд однородных величин;
- шкалы реперов;
- единицы физических величин;
- измерительные преобразования.

Натуральный ряд однородных величин. По однородным свойствам различные предметы могут быть расположены в виде рядов по возрастающим (или убывающим) значениям величин, характеризующих эти свойства. Например, построение натуральных рядов удельного электрического сопротивления и др.

Шкалы реперов. Для получения объективных оценок необходимо из последовательного натурального ряда выбрать некоторые опорные (отправные и реперные) значения, которые можно воспроизвести в различных условиях. В температурном ряду таким значением является точка кипения или плавления некоторых веществ (например, точка кипения воды $+100,00^{\circ}\text{C}$, точка плавления льда $0,00^{\circ}\text{C}$).

Измерительное преобразование. В некоторых случаях, когда нельзя непосредственно сравнить измеряемую величину с воспроизводимой единицей физической величины, используют измерительное преобразование. Это такой вид преобразования, при котором устанавливается однозначное соответствие между значениями двух величин (входной и выходной). Зависимость между этими величинами стремятся сделать линейной.

Измерения являются одним из самых древних занятий в познавательной деятельности человека. Их возникновение относится к истокам материальной культуры человечества. По мере развития общества появилась необходимость в количественной оценке различных величин – расстояний, веса, размеров, объемов и т.д. Эту оценку старались свести к счету, для чего выбирались природные и антрополо-

гические единицы. Например, время измерялось в сутках, годах; линейные размеры – в локтях, ступнях; расстояния – в шагах, сутках пути.

На определенном этапе своего развития измерения стали причиной возникновения метрологии. Долгое время последняя существовала как описательная наука, констатирующая сложившиеся в обществе соглашения о мерах используемых величин. Развитие науки и техники привело к использованию множества мер одних и тех же величин, применяемых в различных странах. Так, расстояние в России измерялось верстами, а в Англии – милями. Все это существенно затрудняло сотрудничество между государствами в торговле, науке.

СООТНОШЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ЕДИНИЦ

1 ДЮЙМ = 2,54 СМ
1 ФУТ = 0,304 М
1 ЯРД = 0,914 М
1 МИЛЯ (МОР) = 1,8 (1,609) КМ
1 ГАЛЛОН = 4,546 ЛИТРА
1 УНЦИЯ = 28,35 ГРАММА
1 ФУНТ = 453,6 ГРАММА
1 ВЕРШОК = 4,45 СМ
1 АРШИН = 16 ВЕРШКОВ (71,12 СМ)
1 ЛОКОТЬ = 38-46 СМ
1 БАРРЕЛЬ (БОЧКА) = 158,98 ДМЗ (нефть)
1 атм = 760 мм рт. ст = 1,013 · 10 ⁵ па
1 па = 1 Н/ м ² = 1 кг·м/с ²

ТЕМПЕРАТУРА

°F	32	40	50	60	70	75	85	95	105	140	175	212
°C	0	5	10	15	20	25	30	35	40	60	80	100

Форматы бумаги

Формат А	А0	А1	А2	А3
мм	1189x 841	841x594	594x420	420x297
Формат А	А4	А5	А6	А7
мм	297x210	210x148	148x105	105x74

Г. Фарингейт (1686-1736) – немец, физик

Термометр спиртовой 1709

Термометр ртутный 1714

А. Цельсий (1701-1744) – шведский астроном, физик

В 1742 г. предложил температурную шкалу

$$1^{\circ}\text{C} := ((100^{\circ}-0^{\circ})/ 100^{\circ})$$

$$1^{\circ}\text{C} := 5/9 (t^{\circ}\text{F}-32)$$

$$1^{\circ}\text{F} := 1,8 \cdot 1^{\circ}\text{C} + 32$$

С целью унифицировать единицы ФВ, сделать их независимыми от времени и разного рода случайностей во Франции была разработана метрическая система мер. Эта система строилась на основе естественной единицы – метра, равного одной сорокамиллионной части меридиана, проходящего через Париж. За единицу массы принимался килограмм – масса кубического дециметра чистой воды при температуре +4°C. Учредительное собрание Франции 26 марта 1791 г. утвердило предложения Парижской академии наук. Это явилось серьезной предпосылкой для проведения международной унификации единиц ФВ.

В 1832 г. К. Гаусс предложил методику построения систем единиц ФВ как совокупности основных и производных величин. Он построил систему единиц, названную абсолютной, в которой за основу были приняты три произвольные, независимые друг от друга единицы: длины – миллиметр, массы – миллиграмм и времени – секунда.

В 1835 г. в России был издан указ «О системе Российских мер и весов», в котором были утверждены эталоны длины (платиновая сажень) и массы (платиновый фунт). В 1842 г. на территории Петропавловской крепости в Санкт-Петербурге в специально построенном здании открылось первое метрологическое учреждение России – Депо образцовых мер и весов. В нем хранились эталоны и их копии, изготавливались образцовые меры для передачи в другие города проводились сличения российских мер с иностранными.

В 1848 г. в России вышла первая книга по метрологии – «Общая метрология», написанная Ф.И. Петрушевским. В этой работе описаны меры и денежные знаки различных стран.

В 1875 г. семнадцать государств, в том числе и Россия, на дипломатической конференции подписали Метрическую конвенцию, к которой примкнула 41 страна мира.

Согласно этой конвенции устанавливается международное сотрудничество подписавших ее стран. Для этого было создано Международное бюро мер и весов (МБМВ), находящееся в г. Севре близ Парижа. В нем хранятся международные прототипы ряда мер и эталоны

единиц некоторых ФВ. В соответствии с конвенцией для руководства деятельностью МБМВ был учрежден Международный комитет мер и весов (МКМВ), в который вошли ученые из различных стран. Сейчас при МКМВ действуют семь консультативных комитетов: по единицам, определению метра, секунды, термометрии, электричеству, фотометрии и по эталонам для измерения ионизирующих излучений.

Очень много для развития отечественной метрологии сделал Д.И. Менделеев. Периоде 1892 по 1917 гг. называют менделеевским этапом развития метрологии. В 1893 г. на базе Депо образцовых мер и весов была утверждена Главная палата мер и весов, управляющим которой до последних дней жизни был Д.И. Менделеев. Она стала одним из первых в мире научно-исследовательских учреждений метрологического профиля.

До 1918 г. метрическая система внедрялась в России факультативно, наряду со старой русской и английской (дюймовой) системами. Значительные изменения в метрологической деятельности стали происходить после подписания Советом народных комиссаров РСФСР декрета «О введении международной метрической системы мер и весов». Внедрение метрической системы в России происходило с 1918 по 1927 гг. После Великой Отечественной войны и до сего времени метрологическая работа в нашей стране проводится под руководством Государственного комитета по стандартам (Госстандарт).

В 1960 г. XI Международная конференция по мерам и весам приняла Международную систему единиц ФВ – систему СИ. Сегодня метрическая система узаконена более чем в 124 странах мира.

В настоящее время на базе Главной палаты мер и весов существует высшее научное учреждение страны – Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д.И. Менделеева (ВНИИМ). В лабораториях института разрабатываются и хранятся государственные эталоны единиц измерений, определяются физические константы и свойства веществ и материалов. Тематика работ института охватывает линейные, угловые, оптические и фотометрические, акустические, электрические и магнитные измерения, измерения массы, плотности, силы, давления, вязкости, твердости, скорости, ускорения и ряда других величин.

В 1955 г. под Москвой был создан второй метрологический центр страны – ныне Всероссийский научно-исследовательский институт физико-технических и радиотехнических измерений (ВНИИФТРИ). Он разрабатывает эталоны и средства точных измерений в

ряде важнейших областей науки и техники: радиоэлектронике, службе времени и частоты, акустике, атомной физике, физике низких температур и высоких давлений.

Третьим метрологическим центром России является Всероссийский научно-исследовательский институт метрологической службы (ВНИИМС) – головная организация в области прикладной и законодательной метрологии. На него возложена координация и научно-методическое руководство метрологической службой страны. Кроме перечисленных существует ряд региональных метрологических институтов и центров.

К международным метрологическим организациям относится и Международная организация законодательной метрологии (МОЗМ), образованная в 1956 г. При МОЗМ в Париже работает Международное бюро законодательной метрологии. Его деятельностью руководит Международный комитет законодательной метрологии. Некоторые вопросы метрологии решает Международная организация по стандартизации (ИСО).

Тема 3. ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ И ИХ ЕДИНИЦЫ

Вопросы лекции:

- Определение физической величины
- Виды физических величин
- Размерность физических величин
- Сигналы измерительной информации
- Международная система единиц
- Классификация средств измерений
- Измерительные преобразователи

3.1 Определение физической величины

Физическая величина ГОСТ 16263-70 определена как 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.

Так, все тела обладают массой и температурой, но для каждого из них количественная оценка массы или температуры будет различной.

Не следует применять термин «величина» для выражения только количественной стороны рассматриваемого свойства. Например, неправильно употреблять выражения: «величина массы», «величина давления», «величина силы» и т.п., потому что свойства – масса, давление, сила – сами являются величинами. В этих случаях речь идет о размерах физических величин, и поэтому следует говорить «размер массы», «размер давления».

Размером физической величины называется количественное содержание в данном объекте свойства, соответствующего понятию физическая величина.

Между размерами каждой физической величины существуют отношения, которые имеют ту же логическую структуру, что и отношения между числовыми формами (целыми, рациональными или действительными числами, векторами). Поэтому множество числовых отношений типа «больше», «меньше», «равно», «сумма» и других может служить моделью физической величины, т.е. множества ее размеров с отношениями между ними.

3.2 Определение физической величины

Различают три вида физических величин, измерение которых осуществляется по принципиально различным правилам.

К первому виду физических величин относятся величины, на множестве размеров которых определены лишь отношения порядка и эквивалентности.

Это отношения типа «тверже», «мягче», «одинаково твердые», «теплее», «холоднее» и т.п. Существование подобных отношений устанавливается теоретически или экспериментально с помощью специальных средств сравнения, а также на основе наблюдений за результатами воздействия физической величины на какие-либо объекты.

К величинам этого вида относятся: твердость, определяемая как способность тела оказывать сопротивление проникновению в него другого тела, температура, понимаемая как степень нагретости тела, сила землетрясения.

Так, например, легко установить различие в твердости стали и свинца, можно установить различие в твердости двух образцов стали

путем вдавливания одного в другой, но не можем установить значения различия в твердости и тем более сравнить эти различия.

Для *второго вида физических величин* отношения порядка и эквивалентности имеют место не только между размерами величин, но и между разностями в парах их размеров.

К этому виду относятся такие величины, как **время, потенциал, энергия, температура**, связанная, по определению, со шкалой ртутного термометра. Возможность сравнения разностей их размеров вытекает из самих определений этих величин. Так, разности температур считаются равными, если расстояния между соответствующими отметками на шкале ртутного термометра равны.

Третий вид составляют аддитивные физические величины.

Аддитивными физическими величинами называются величины, на множестве размеров которых определены не только отношения порядка и эквивалентности, но и операции сложения и вычитания.

Операция считается определенной, если ее результат (сумма или разность) также является размером той же физической величины и существует способ ее технической реализации.

К таким величинам относятся, например, длина, масса, термодинамическая температура, сила тока, ЭДС, электрическое сопротивление. Их можно измерять по частям, а также воспроизводить с помощью многозначной меры, основанной на суммировании отдельных мер.

К аддитивным физическим величинам относятся и разности некоторых физических величин второго вида: разность потенциалов, отрезки времени, рассматриваемые как разности моментов времени и др. Но их следует рассматривать как новые физические величины, так как разность потенциалов не является потенциалом, а разность двух моментов времени не является моментом времени.

3.3 Размерность физических величин

Для количественной оценки свойств физической величины применяют понятия «значение» и «размер»

Между этими понятиями есть принципиальное различие. Размер физической величины существует реально и не зависит от того, производится его измерение или нет. Значение физической величины появляется только в процессе измерений и зависит от единицы измерения.

Размерность физических величин – это соотношение между единицами величин, входящих в уравнение, связывающее данную величину с другими величинами, через которые она выражается.

Для любой физической величины третьего вида всегда можно выбрать некоторую $[Q]$ и присвоить ей числовое значение, равное 1. Эту величину называют *единицей физической величины*.

Единица физической величины - физическая величина, которой по определению присвоено числовое значение, равное единице.

Значение физической величины – оценка физической величины в виде некоторого числа принятых для нее единиц.

Значение физической величины Q определяется уравнением $Q=q[Q]$ которое называют основным уравнением измерения.

Числовое значение величины третьего вида показывает, во сколько раз значение измеряемой величины больше некоторого значения, принятого за единицу. Следовательно, при различных единицах измерения значение физической величины Q будет выражено различными числовыми значениями:

При выбранной единице измерения физическая величина как объективно существующее свойство объекта в данный момент времени может быть охарактеризована истинным ее значением.

Истинным значением физической величины называется значение физической величины, которое идеальным образом отражало бы в качественном и количественном отношениях соответствующее свойство объекта. Определить экспериментально его невозможно вследствие неизбежных погрешностей измерения.

Вместо истинного значения при эксперименте получают действительное значение физической величины, степень приближения которого к первому зависит от цели эксперимента и выбранной точности измерительного средства.

Действительное значение физической величины – значение физической величины, найденное экспериментальным путем и настолько приближающееся к истинному значению, что для данной цели может быть использовано вместо него. Для действительного значения физической величины всегда можно указать границы более или менее узкой зоны, в пределах которой с заданной вероятностью находится истинное значение физической величины.

3.4 Сигналы измерительной информации

Сигналом называется материальный носитель информации, представляющий собой некоторый физический процесс, один из параметров которого функционально связан с измеряемой физической величиной. Такой параметр называют *информативным*.

Сигнал измерительной информации – сигнал, функционально связанный с измеряемой физической величиной и несущий информацию о ее значении.

Классификация измерительных сигналов представлена на рис. 3.1.



Рис. 3.1. Классификация измерительных сигналов

По характеру измерения информативного и временного параметров измерительные сигналы делятся на аналоговые, дискретные и цифровые.

Аналоговый сигнал – это сигнал, описываемый непрерывной или кусочно-непрерывной функцией.

Дискретный сигнал – это сигнал, изменяющийся дискретно во времени или по уровню.

Цифровые сигналы – квантованные по уровню и дискретные по времени сигналы

По характеру изменения во времени сигналы делятся на *постоянные*, значения которых с течением времени не изменяются, и *переменные*, значения которых меняются во времени.

3.5 Международная система единиц

Физические величины, единицы которых устанавливаются независимо от других величин в системе, называются *основными величинами*, а их единицы – *основными единицами*.

Все остальные величины и единицы определяются однозначно через основные и называются *производными*.

Совокупность основных и производных единиц физических величин, образованная в соответствии с принятыми принципами, называется системой единиц физических величин. Единица основной физической величины является основной единицей данной системы. В Республике Беларусь используется система единиц СИ, введенная ГОСТ 8.417-81 «ГСИ. Единицы физических величин».

Основные и дополнительные единицы физических величин системы СИ представлены в *табл.3.1*.

Таблица 3.1

Основные и дополнительные единицы физических величин системы СИ

Величина			Единица		
Наименование	Размерность	Рекомендуемое обозначение	Наименование	Обозначение русское	Обозначение международное
Основные					
Длина	L	l	метр	м	m
Масса	M	m	килограмм	кг	kg
Время	T	t	секунда	с	s
Сила электрического тока	I	I	ампер	А	A
Термодинамическая температура	θ	T	кельвин	К	K
Количество вещества	N	n, ν	моль	моль	mol
Сила света	J	J	кандела	кд	cd
Дополнительные					
Плоский угол	-	-	радиан	рад	rad
Телесный угол	-	-	стерадиан	ср	sr

Размерности производных физических величин определяются произведением размерностей основных величин, взятых в степенях, соответствующих степеням в уравнениях между величинами в физике.

Диапазоны числовых значений физических величин так велики, что в практическом использовании единиц применяют *кратные и дольные единицы*.

Кратная единица физической величины – это единица, большая в целое число раз системной или внесистемной единицы. Например, гектар ($100 \text{ ар} = 10\,000 \text{ м}^2$), минута (60 секунд), километр (1000 метров), мегаватт (10⁶ ватт).

Дольная единица физической величины определяется как единица, меньшая в целое число раз системной или внесистемной единицы. Примеры: миллиметр (10⁻³ метра), дюйм (1/12 фута), угловая минута (1/60 углового градуса), пикофарада (10⁻¹² фарады), наносекунда (10⁻⁹ секунды).

Целое число при образовании кратных и дольных единиц должно соответствовать принятому в данной системе принципу образования кратных и дольных единиц.

Решениями Генеральной конференции по мерам и весам установлены следующие определения основных единиц:

- **Метр** равен длине пути, проходимого светом в вакууме за $1/299\,792\,458$ долю секунды.

- **Килограмм** – единица массы, равная массе международного прототипа килограмма.

- **Секунда** равна $9\,192\,631\,770$ периодам излучения, соответствующего переходу между двумя сверхтонкими уровнями основного состояния атома цезия-133.

- **Ампер** – сила неизменяющегося тока, который, проходя по двум нормальным прямолинейным проводникам бесконечной длины и ничтожно малой площади круглого поперечного сечения, расположенным на расстоянии 1 м один от другого в вакууме, вызывает между проводниками силу взаимодействия, равную $2 \cdot 10^{-7}$ Н на каждый метр длины.

- **Кельвин** – единица термодинамической температуры – $1/273,16$ часть термодинамической температуры тройной точки воды.

- **Кандела** равна силе света в заданном направлении источника, испускающего монохроматическое излучение частотой 540,1012 Гц, энергетическая сила света которого в этом направлении составляет $1/683$ Вт/ср.

- **Моль** – количество веществ системы, содержащей столько же структурных элементов, сколько атомов содержится в углероде-12 массой 0,012 кг.

Дополнительные единицы – это единицы измерения плоского и телесного угла – радиан и стерadians.

Они не включены в основные, так как это вызвало бы затруднение в трактовке размерностей величин, связанных с вращением. Их нельзя отнести и к производным, так как они не зависят от основных величин. Размеры радиана и стерadians не зависят от размера единицы длины.

Радиан – единица плоского угла, равная углу между двумя радиусами окружности, длина дуги между которыми равна радиусу. В градусном исчислении $1 \text{ рад} = 57^{\circ}17'44,8''$.

Стерadians – единица, равная телесному углу с вершиной в центре сферы, вырезающему на поверхности сферы площадь, равную площади квадрата со стороной, равной радиусу сферы.

3.6 Классификация средств измерений

Средства измерений – технические средства, используемые при измерениях и имеющие нормированные метрологические свойства. По назначению средства измерения разделяют на меры, измерительные преобразователи, измерительные приборы, измерительные установки и измерительные системы.

Меры – средства измерений, предназначенные для воспроизведения физической величины заданного размера.

Различают однозначные и многозначные меры.

Однозначные меры воспроизводят одно значение физической величины (например, нормальный элемент – значение ЭДС). Многозначные меры воспроизводят (плавно или дискретно) ряд значений одной и той же физической величины.

Широкое применение имеют магазины сопротивлений, обеспечивающие ряд дискретных значений сопротивлений. Некоторые меры воспроизводят одновременно значения двух физических величин. Мера необходима для выполнения сравнения с ней измеряемой величины и получения ее значения. В зависимости от степени точности и области применения меры подразделяют на *эталон, образцовые и рабочие*. *Эталон воспроизводит единицу физической величины с наивысшей точностью.*

3.7 Измерительные преобразователи

Измерительные преобразователи – средства измерений, предназначенные для выработки сигнала измерительной информации в форме, удобной для передачи, дальнейшего преобразования, обработки и (или) хранения, но не поддающейся непосредственному восприятию наблюдателем.

Принцип их действия основан на различных физических явлениях.

Измерительные преобразователи преобразуют любые физические величины X (электрические, неэлектрические, магнитные) в выходной электрический сигнал $Y = f(X)$.

Различают следующие **виды преобразователей**:

- преобразователи непрерывной величины в дискретную;
- первичные преобразователи (датчики), к которым подводится измеряемая величина;
- промежуточные, включенные в измерительную цепь после первичного;
- масштабные, предназначенные для изменения значения величины в некоторое число раз;
- обратные, включенные в цепь обратной связи;
- передающие;
- сравнения, предназначенные для сравнения измеряемой величины с мерой;
- выходные.

К измерительным преобразователям можно отнести преобразователи переменного напряжения в постоянное, делители тока, напряжения, измерительные трансформаторы напряжения и тока, усилители, компараторы, аналого-цифровые преобразователи, цифро-аналоговые преобразователи и др.

Измерительные приборы – средства измерений, предназначенные для выработки сигнала измерительной информации в форме, доступной для непосредственного восприятия наблюдателем. Измерительные приборы состоят из ряда соединенных между собой определенным образом измерительных преобразователей.

Измерительные установки – совокупность функционально объединенных средств измерений (мер, преобразователей, приборов, измерительных преобразователей) и вспомогательных устройств, предназначенная для выработки сигналов измерительной информации в форме, удобной для непосредственного восприятия наблюдателем.

лем, и расположенная в одном месте. Например, измерительная установка для измерения мощности в трехфазных цепях.

Измерительная система – совокупность средств измерений и вспомогательных устройств, соединенных между собой каналами связи, предназначенная для выработки сигналов измерительной информации в форме, удобной для автоматической обработки, передачи и (или) использования в автоматических системах управления.

Измерительную систему, в которой предусмотрена возможность представления информации оператору, называют *информационно-измерительной системой* (ИИС). Если в состав ИИС входит свободно программируемая ЭВМ, то система называется *измерительно-вычислительным комплексом* (ИВК).

Тема 4. ЭТАЛОНЫ

Вопросы лекции:

- Определения эталонов, классификация
- Эталон-копия
- Методы поверки (калибровки) и поверочные схемы

4.1 Определения эталонов

Для обеспечения единства измерений необходима тождественность единиц, в которых градуированы все средства измерений одной и той же физической величины. Это достигается путем точного воспроизведения и хранения установленных единиц физических величин и передачи их размеров применяемым средствам измерений.

Воспроизведение, хранение и передача размеров единиц осуществляются с помощью **эталонов и образцовых средств измерений**. Высшим звеном в метрологической цепи передачи размеров единиц измерений являются **эталоны**.

Эталон единицы представляет собой средство измерений (или комплекс средств измерений), обеспечивающее воспроизведение и хранение единицы физической величины (или одну из этих функций) с целью передачи размера единицы образцовым, а от них рабочим средствам измерений и утвержденное в качестве эталона в установленном порядке.

Эталон называется **первичным**, если он воспроизводит единицу с наивысшей в стране (по сравнению с другими эталонами) точно-

стью. Первичные эталоны основных единиц воспроизводят единицу в соответствии с ее определением.

Эталон – это высокоточная мера, предназначенная для воспроизведения и хранения единицы величины с целью передачи ее размера другим средствам измерений. От эталона единица величины передается разрядным эталонам, а от них – рабочим средствам измерений.

Эталоны классифицируют на первичные, вторичные и рабочие.

Первичный эталон – это эталон, воспроизводящий единицу физической величины с наивысшей точностью, возможной в данной области измерений на современном уровне научно-технических достижений. Первичный эталон может быть национальным (государственным) и международным.

Национальный эталон утверждается в качестве исходного средства измерения для страны национальным органом по метрологии. В Беларуси национальные (государственные) эталоны утверждает Госстандарт РБ.

Международные эталоны хранит и поддерживает Международное бюро мер и весов (МБМВ). Важнейшая задача деятельности МБМВ состоит в систематических международных сличениях национальных эталонов крупнейших метрологических лабораторий разных стран с международными эталонами, а также и между собой, что необходимо для обеспечения достоверности, точности и единства измерений как одного из условий международных экономических связей. Сличению подлежат как эталоны основных величин системы СИ, так и производных.

Установлены определенные периоды сличения. Например, эталоны метра и килограмма сличают каждые 25 лет, а электрические и световые эталоны – один раз в 3 года.

Первичному эталону соподчинены вторичные и рабочие (разрядные) эталоны. Размер воспроизводимой единицы вторичным эталоном сличается с государственным эталоном. Вторичные эталоны (их иногда называют «эталон-копии») могут утверждаться Госстандартом РБ.

Рабочие эталоны воспринимают размер единицы от вторичных эталонов и в свою очередь служат для передачи размера менее точному рабочему эталону (или эталону более низкого разряда) и рабочим средствам измерений.

Самыми первыми официально утвержденными эталонами были прототипы метра и килограмма, изготовленные во Франции, которые в 1799 г. были переданы на хранение в Национальный архив Франции, поэтому их стали называть «метр Архива» и «килограмм Архива». С 1872 г. килограмм стал определяться как равный массе «килограмма Архива». Каждый эталон основной или производной единицы Международной системы СИ имеет свою интересную историю и связан с тонкими научными исследованиями и экспериментами.

Принятый в 1791 г. Национальным собранием Франции эталон метра, равный одной десятиллионной части четверти дуги парижского меридиана, в 1837 г. пришлось пересмотреть. Французские ученые установили, что в четверти меридиана содержится не 10 млн., а 10 млн. 856 метров. К тому же известно, что происходят, хотя и незначительные, но все же постоянные изменения формы и размера Земли. В этой связи ученые Петербургской академии наук в 1872 г. предложили создать международную комиссию для решения вопроса о целесообразности внесения изменений в эталон метра. Комиссия решила не создавать новый эталон, а принять в качестве исходной единицы длины «метр Архива», хранящийся во Франции. В 1875 г. была принята Международная метрическая конвенция, которую подписала и Россия. Этот год метрологи считают вторым рождением метра как основной международной единицы длины.

Уже в XX в. (1967 г.) были опубликованы исследования более точного измерения парижского меридиана, которые показали, что четверть меридиана равна 10 млн. 1954,4 метра.

Таким образом, «метр Архива» всего на 0,2 мм короче меридионального метра.

В 1889 г. был изготовлен 31 экземпляр эталона метра из платино-иридиевого сплава. Оказалось, что эталон № 6 при температуре 0°C точно соответствует длине «метра Архива», и именно этот экземпляр эталона по решению I Генеральной конференции по мерам и весам был утвержден как международный эталон метра, который хранится в г. Севре (Франция). Остальные 30 эталонов были переданы разным государствам. Россия получила № 28 и № 11, причем в качестве государственного был принят эталон № 28.

Погрешность платино-иридиевых эталонов метра, равная $+1,1 \cdot 10^{-7}$ м уже в начале XX в, оценивалась как неудовлетворительная, и в 1960 г. XI Генеральная конференция по мерам и весам выработала другое определение метра – в длинах световых волн, что основано на

постоянстве длины волны спектральных линий излучения атомов. Это основа криптонового эталона метра. Погрешность криптонового эталона намного меньше, чем платино-иридиевого, и равна $5 \cdot 10^{-9}$.

Однако в космический век и эта точность оказалась недостаточной, а новейшие достижения науки позволили в 1983 г. на XVII Генеральной конференции мер и весов принять новое определение метра как длины пути, проходимого светом за $1/299792458$ доли секунды в условиях вакуума. Следует отметить, что на этой же конференции было объявлено точно определяемое современной наукой значение скорости света.

Не менее интересна история эталона единицы массы. «Килограмм Архива», который был принят за эталон массы в 1872 г., представляет собой платиновую цилиндрическую гирю, высота и диаметр которой равны по 39 мм. Прототипы (вторичные эталоны) для практического применения были сделаны из платино-иридиевого сплава.



Рис. 4.1. Эталон килограмма

За международный прототип килограмма была принята платино-иридиевая гиря, по точности в наибольшей степени соответствующая массе «килограмма Архива».

По решению I Генеральной конференции по мерам и весам России из 42 экземпляров прототипов килограмма были переданы № 12 и № 26, причем № 12 утвержден в качестве государственного эталона массы. Прототип № 26 использовался как вторичный эталон.

Национальный (государственный) эталон массы хранится в НПО «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева» (г. Санкт-Петербург) на кварцевой подставке под двумя стеклянными колпаками в стальном сейфе, температура воздуха поддерживается в пределах $20 \pm 3^\circ\text{C}$, относительная влажность 65%. Один раз в 10 лет с ним сличаются два вторичных эталона.

При сличении с международным эталоном наш национальный эталон массы получил значение 1,0000000877 кг. Для передачи размера единицы массы от прототипа № 12 вторичным эталонам используются специальные весы № 1 и № 2 с дистанционным управлением на 1 кг; весы № 1 изготовлены фирмой «Рупрехт», а № 2 – НПО

«ВНИИМ им Д.И. Менделеева». Погрешность воспроизведения килограмма составляет $2 \cdot 10^{-9}$.

За 100 с лишним лет существования описанного прототипа килограмма, конечно, были попытки создать более современный эталон на основе фундаментальных физических констант масс различных атомных частиц (протона, электрона и т.д.). Однако на современном уровне научно-технического прогресса пока не удалось воспроизвести этим новейшим методом массу килограмма с меньшей погрешностью, чем существующая.

Отклонения массы эталонов, определяемые при международных сличениях, показывают достаточную степень ее стабильности. В *табл. 4.1* приведены результаты двух сличений.

Таблица 4.1

Результаты международных сличений эталона массы

Страна	Номер эталона	Отклонение массы эталона, мг		Разность массы эталонов
		Первое сличение	Второе сличение	
Международный эталон МБМВ	31	+0,162	+0,128	-0,034
Франция	35	+0,191	+0,0183	-0,008
СССР	12	+0,068	+0,085	+0,017
США	20	-0,039	-0,019	+0,02
Япония	6	+0,169	+0,170	+0,001
Италия	5	+0,018	+0,018	0,000
Швейцария	38	+0,183	+0,214	+0,031

4.2 Эталон-копия

Эталон-копия – вторичный эталон, предназначенный для передачи размера единицы рабочим эталоном. Обычно **эталон-копии** создаются при большом количестве поверочных работ с целью предохранения первичного или специального эталона от преждевременного износа.

За последние годы получены высокие результаты точности и надежности эталонов, создаваемых на основе использования квантовых эффектов, что позволяет предположить возможность создания новых эталонов в недалеком будущем.

С использованием квантовых эффектов был создан современный **эталон ампера и ома**. Квантовые эталоны характеризуются высокой степенью стабильности значений погрешности воспроизведения единиц величин.

С помощью новых методов и средств измерений уточняются фундаментальные физические константы, поэтому точность квантовых эталонов будет возрастать.

Ученые полагают, что квантовые эталоны можно будет считать «вечными мерами», так как способность воспроизведения единиц физических величин у таких эталонов не подвержена влиянию внешних условий, географического местонахождения и времени.

Если будет создан эталон массы на основе возможностей ядерной физики, то многие существующие эталоны перейдут в разряд «вечных», поскольку размерности их величин так или иначе связаны с массой. В таких условиях изменится и система поверки и калибровки, которая привязана к государственным эталонам, т.е. произойдет ее децентрализация, что обеспечит значительный экономический эффект.

Ожидается появление возможности создания сравнительно недорогих квантовых эталонов и рабочих средств измерений на основе практического использования эффекта высокотемпературной сверхпроводимости, что послужит началом нового периода в развитии фундаментальной и практической метрологии.

Метрологическая цепь передачи размеров единиц представлена на рис. 4.2.



Рис. 4.2. Метрологическая цепь передачи размеров единиц

4.3 Методы поверки (калибровки) и поверочные схемы

Допускается применение четырех методов поверки (калибровки) средств измерений:

- непосредственное сличение с эталоном;
- сличение с помощью компаратора.

Метод непосредственного сличения поверяемого (калибруемого) средства измерения с эталоном соответствующего разряда широко применяется для различных средств измерений в таких областях, как электрические и магнитные измерения, для определения напряжения, частоты и силы тока. В основе метода лежит проведение одновременных измерений одной и той же физической величины поверяемым (калибруемым) и эталонным приборами. При этом определяют погрешность как разницу показаний поверяемого и эталонного средств измерений, принимая показания эталона за действительное значение величины. Достоинства этого метода в его простоте, наглядности, возможности применения автоматической поверки (калибровки), отсутствии потребности в сложном оборудовании.

Для второго метода необходим **компаратор – прибор сравнения**, с помощью которого сличаются поверяемое (калибруемое) и эталонное средства измерения. Потребность в компараторе возникает при невозможности сравнения показаний приборов, измеряющих одну и ту же величину. Например, двух вольтметров, один из которых пригоден для постоянного тока, а другой – переменного. В подобных ситуациях в схему поверки (калибровки) вводится промежуточное звено – компаратор. Для приведенного примера потребуется потенциометр, который и будет компаратором.

На практике компаратором может служить любое средство измерения, если оно одинаково реагирует на сигналы как поверяемого (калибруемого), так и эталонного измерительного прибора. Достоинством данного метода специалисты считают последовательное во времени сравнение двух величин.

Метод прямых измерений применяется, когда имеется возможность сличить испытуемый прибор с эталонным в определенных пределах измерений. В целом принцип этого метода аналогичен методу непосредственного сличения, но методом прямых измерений производится сличение на всех числовых отметках каждого диапазона (и поддиапазонов, если они имеются в приборе). Метод прямых измерений применяют, например, для поверки или калибровки вольтметров постоянного электрического тока.

Метод косвенных измерений применяется, когда действительные значения измеряемых величин невозможно определить прямыми измерениями либо когда косвенные измерения оказываются более точными, чем прямые. Этим методом определяют вначале не искомую характеристику, а другие, связанные с ней определенной зависимостью. Искомая характеристика определяется расчетным путем. Например, при поверке (калибровке) вольтметра постоянного тока эталонным амперметром устанавливают силу тока, одновременно измеряя сопротивление. Расчетное значение напряжения сравнивают с показателями калибруемого (поверяемого) вольтметра. Метод косвенных измерений обычно применяют в установках автоматизированной поверки (калибровки).

Поверочные схемы

Для обеспечения правильной передачи размеров единиц измерения от эталона к рабочим средствам измерения составляют поверочные схемы, устанавливающие метрологические соподчинения государственного эталона, разрядных эталонов и рабочих средств измерений.

Поверочные схемы разделяют на *государственные* и *локальные*. Государственные поверочные схемы распространяются на все средства измерений данного вида, применяемые в стране. Локальные поверочные схемы предназначены для метрологических органов министерств, распространяются они также и на средства измерений подчиненных предприятий. Кроме того, может составляться и локальная схема на средства измерений, используемые на конкретном предприятии. Все локальные поверочные схемы должны соответствовать требованиям соподчиненности, которая определена государственной поверочной схемой.

Для обеспечения правильной передачи размера единиц физических величин во всех звеньях метрологической цепи (от эталонов образцовым мерам, а от них – рабочим мерам и измерительным приборам) должен быть установлен определенный порядок. Этот порядок и приводится в поверочных схемах.

Поверочная схема представляет собой исходный документ, устанавливающий метрологическое соподчинение эталонов, образцовых средств измерений и порядок передачи размера единицы образцовым и рабочим средствам измерений.

Государственные поверочные схемы должны служить основанием для составления локальных поверочных схем и для разработки

государственных стандартов и методических указаний на методы и средства поверки образцовых и рабочих средств измерений. Общесоюзные поверочные схемы утверждаются в качестве государственных стандартов.

Элементами общесоюзной поверочной схемы являются наименования государственных эталонов, эталонов-копий, эталонов-свидетелей, эталонов сравнения, рабочих эталонов, образцовых средств измерений и рабочих средств измерений, а также методов передачи размера единиц (методов поверки).

Методы поверки, указываемые на поверочной схеме, должны отражать специфику поверки данного вида средств измерений.

В поверочных схемах приведены различные способы поверки средств измерений по образцовым средствам измерений, а последних – по эталонам. Поверка средств измерений – это определение метрологическим органом погрешностей средств измерений и установление их пригодности к применению.

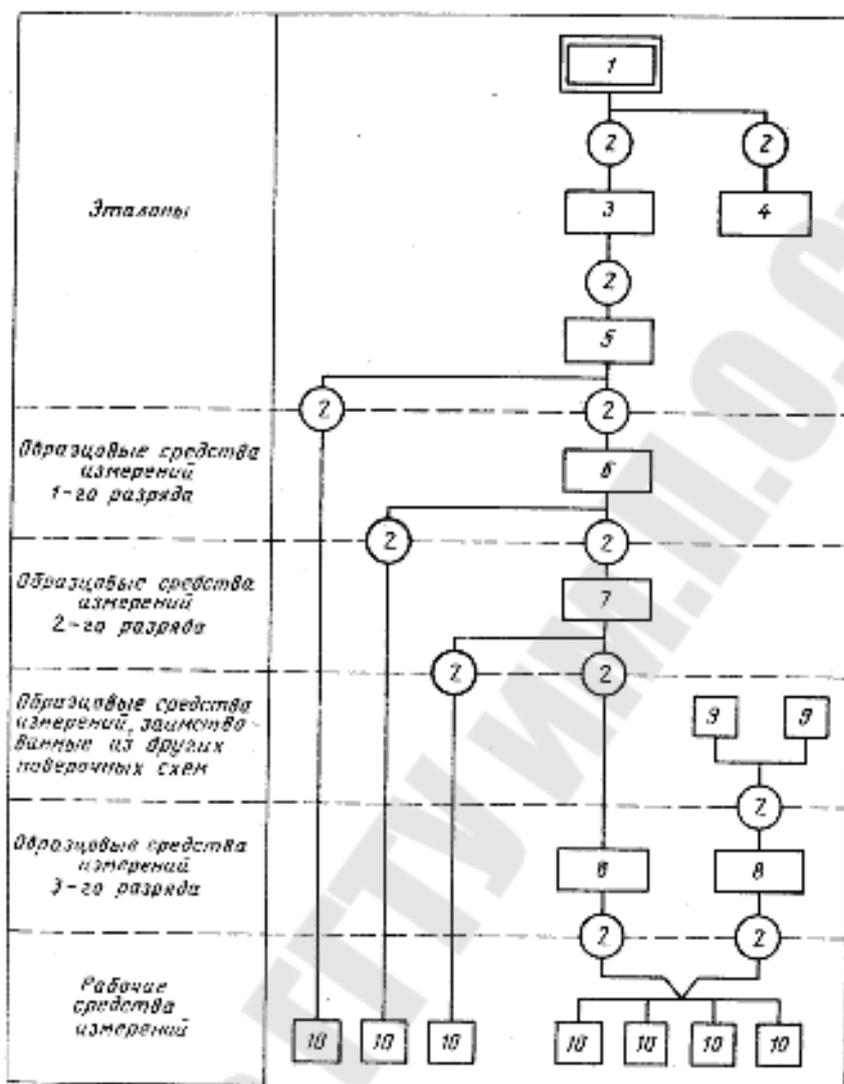


Рис. 4.4. ***

1 – государственный эталон; 2 – метод передачи размера единиц; 3 – эталон-копия; 4 – эталон-свидетель; 5 – рабочий эталон; 6, 7, 8 – образцовые средства измерений соответствующих разрядов; 9 – образцовые средства измерений, заимствованные из других поверочных схем; 10 – рабочие средства измерений

Меры могут быть проверены:

- способом сличения с более точной образцовой мерой посредством компарирующего прибора (например, поверка концевых мер длины);
- измерением воспроизводимой мерой величины измерительными приборами соответствующего разряда и класса (в этом случае поверка часто называется градуировкой мер, например градуировка мер твердости);
- способом калибровки, когда с более точной мерой сличается лишь одна мера набора или одна из отметок шкалы многозначной меры, а действительные размеры других мер или значения все производимых ими величин на других отметках шкалы определяются путем их взаимного

сравнения в различных сочетаниях на приборах сравнения и при дальнейшей обработке результатов измерений (калибровка гирь или линейных шкал).

Тема 5. ПОГРЕШНОСТИ

Вопросы лекции:

- Классификация погрешностей
- Принципы оценивания погрешностей
- Правила округления результатов измерений
- Описание случайных погрешностей с помощью функций распределения
- Числовые вероятностные характеристики случайных погрешностей
- Квантильные оценки случайной величины
- Оценка параметров с помощью интервалов
- Проверка нормальности распределения результатов наблюдений

5.1 Классификация погрешностей

Понятие «погрешность» – одно из центральных в метрологии, где используются понятия «погрешность результата измерения» и «погрешность средства измерения». Погрешность результата измерения – это разница между результатом измерения X и истинным (или действительным) значением Q измеряемой величины:

$$\Delta = X - Q.$$

По характеру проявления погрешности делятся на: *случайные, систематические, прогрессирующие, грубые (промахи)*.

Систематическая погрешность измерений Δ_c – составляющая погрешности измерения, остающаяся постоянной или закономерно изменяющаяся при повторных измерениях одной и той же величины.

Случайная погрешность измерений Δ – составляющая погрешности измерения, изменяющаяся случайным образом при повторных измерениях одной и той же величины.

Значение и знак случайных погрешностей определить невозможно, они не поддаются непосредственному учету вследствие их хаотического изменения, обусловленного одновременным воздействием на результат измерения различных независимых друг от друга факторов.

Обнаруживаются случайные погрешности при многократных измерениях одной и той же величины (отдельные измерения в этом случае называются наблюдением) одними и теми же средствами измерения в одинаковых условиях одним и тем же наблюдателем, т.е. при равноточных (равнорассеянных) измерениях. **Влияние случайных погрешностей на результат измерения учитывается методами математической статистики и теории вероятности.**

Грубые погрешности измерений – случайные погрешности измерений, существенно превышающие ожидаемые при данных условиях погрешности.

Прогрессирующая погрешность – это понятие, специфичное для нестационарного случайного процесса изменения погрешности во времени, оно не может быть сведено к понятиям случайной и систематической погрешностей. Последние характерны лишь для стационарных случайных процессов. **Прогрессирующая погрешность может возникнуть вследствие как непостоянства во времени текущего математического ожидания нестационарного случайного процесса, так и изменения во времени его дисперсии или формы закона распределения.** Понятие прогрессирующей погрешности широко используется при исследовании динамики погрешностей СИ и метрологической надежности последних.

В процессе измерений случайные Δ и систематические Δ_c погрешности проявляются одновременно и погрешность результата измерений можно представить в виде суммы $\Delta_{\Sigma} = \Delta_c + \Delta$. В погрешности измерений входит случайная составляющая, поэтому ее следует считать случайной величиной.

По *способу выражения* различают: абсолютную, относительную, приведенную погрешности.

Абсолютная погрешность – погрешность результата измерения – это разница между результатом измерения X и истинным (или действительным) значением Q измеряемой величины:

$$\Delta = X - Q.$$

Однако она не может в полной мере служить показателем точности измерений.

Относительная погрешность – это отношение абсолютной погрешности измерения к истинному значению измеряемой величины:

$$\delta = \Delta/Q = (X - Q)/Q$$

Эта наглядная характеристика точности результата измерения не годится для нормирования погрешности СИ, так как при измене-

нии значений Q принимает различные значения вплоть до бесконечности при $Q = 0$. В связи с этим для указания и нормирования погрешности СИ используется еще одна разновидность погрешности – приведенная.

Приведенная погрешность – это относительная погрешность, в которой абсолютная погрешность СИ отнесена к условно принятому значению Q_N , постоянному во всем диапазоне измерений или его части:

$$\gamma = \Delta/Q_N = (X - Q)/Q_N$$

Условно принятое значение Q_N называют нормирующим. Чаще всего за него принимают верхний предел измерений данного СИ, применительно к которым и используется главным образом понятие «**приведенная погрешность**».

В зависимости от места возникновения различают: *инструментальные погрешности, методические погрешности, субъективные погрешности*.

Инструментальная погрешность обусловлена погрешностью применяемого СИ.

Методические погрешности могут возникать из-за несовершенства разработки теории явлений, положенных в основу метода измерений, неточности соотношений, используемых для нахождения оценки измеряемой величины, а также из-за несоответствия измеряемой величины и ее модели.

Субъективная (личная) погрешность измерения обусловлена погрешностью отсчета оператором показаний по шкалам СИ.

По влиянию внешних условий различают *основную* и *дополнительную погрешности СИ*.

Основной называется погрешность СИ, определяемая в нормальных условиях его применения. Для каждого СИ в нормативно-технических документах оговариваются условия эксплуатации – совокупность влияющих величин (температура окружающей среды, влажность, давление, напряжение и частота питающей сети и др.), при которых нормируется его погрешность.

Дополнительной называется погрешность СИ, возникающая вследствие отклонения какой-либо из влияющих величин.

В зависимости от влияния характера изменения измеряемых величин погрешности СИ делят на *статические* и *динамические*.

Статическая погрешность – это погрешность СИ применяемого для измерения физической величины, принимаемой за неизменяемую.

Динамической называется погрешность СИ, возникающая дополнительно при измерении переменной физической величины и обусловленная несоответствием его реакции на скорость (частоту) изменения измеряемого сигнала.

Систематические погрешности постоянны для всей серии наблюдений или являются некоторыми функциями времени. Методы обнаружения и определения систематических погрешностей также хорошо разработаны. Определенная систематическая погрешность может быть устранена путем введения поправок. Результаты измерения после введения поправок называют исправленными. В ряде случаев удается найти причины, вызывающие систематические погрешности, устранить их полностью или частично и, как следствие, уменьшить систематические погрешности в последующих измерениях. Вопрос о введении поправок осложняется в тех случаях, когда поправка может быть определена с некоторой погрешностью. В этом случае введение поправки может оказаться нецелесообразным, так как не приводит к повышению точности измерений.

Среди **случайных погрешностей** встречаются погрешности, значительно **отличающиеся от средних** в данном эксперименте. Они вызываются или резкими изменениями условий измерения, или промахами наблюдателя. Проблема состоит в том, чтобы установить, следует ли отнести вызывающие сомнения погрешности к грубым и исключить их из результатов наблюдений или они являются закономерными с определенной вероятностью.

5.2 Принципы оценивания погрешностей

Оценивание погрешностей производится с целью получения объективных данных о точности результата измерения. Точность результата измерения характеризуется погрешностью. **Характеристики погрешности** принято делить на **точечные** и **интервальные**.

К *точечным* относятся среднеквадратическое отклонение случайной погрешности и предел сверху для модуля систематической погрешности, к *интервальным* – границы неопределенности результата измерения. Если эти границы определяются как отвечающие некоторой доверительной вероятности, то они называются *доверительными интервалами*. Если же минимально возможные в конкретном слу-

чае границы погрешности оценивают так, что погрешность, выходящую за них, встретить нельзя, то они называются *предельными (безусловными) интервалами*.

В основу выбора оценок погрешностей положен ряд принципов:

Во-первых, оцениваются отдельные характеристики и параметры выбранной модели погрешности.

Во-вторых, оценки погрешности определяют приближенно, с точностью, согласованной с целью измерения.

В-третьих, погрешности оцениваются сверху, поэтому погрешность лучше преувеличить, чем преуменьшить, так как в первом случае снижается качество измерений, а во втором – возможно полное обесценивание результатов всего измерения.

В-четвертых, поскольку стремятся получить реалистические значения оценки погрешности результата измерения, т.е. не слишком завышенные и не слишком заниженные, точность измерений должна соответствовать цели измерения.

5.3 Правила округления результатов измерений

Поскольку погрешности измерений определяют лишь зону неопределенности результатов, их не требуется знать очень точно. В окончательной записи погрешность измерения принято выражать числом с одним или двумя значащими цифрами.

Эмпирически были установлены следующие правила округления рассчитанного значения погрешности и полученного результата измерения.

1. Погрешность результата измерения указывается двумя значащими цифрами, если первая из них равна 1 или 2, и одной – если первая цифра равна 3 или более.

2. Результат измерения округляется до того не десятичного знака, которым оканчивается округленное значение абсолютной погрешности. Если десятичная дробь в числовом значении результата измерений оканчивается нулями, то нули отбрасываются до того разряда, который соответствует разряду числового значения погрешности.

3. Если цифра старшего из отбрасываемых разрядов меньше 5, то остальные цифры числа не изменяются. Лишние цифры в целых числах заменяются нулями, а в десятичных дробях отбрасываются.

4. Если цифра старшего из отбрасываемых разрядов больше или равна 5, но за ней следуют отличные от нуля цифры, то последнюю оставляемую цифру увеличивают на единицу.

5. Если отбрасываемая цифра равна 5, а следующие за ней цифры неизвестны или нули, то последнюю сохраняемую цифру числа не изменяют, если она четная, и увеличивают на единицу, если она нечетная.

6. Округление производится лишь в окончательном ответе, а все предварительные вычисления проводят с одним-двумя лишними знаками.

5.4 Описание случайных погрешностей с помощью функций распределения

Результат измерения, и его погрешность могут рассматриваться как случайные величины. Случайные величины могут быть описаны функциями распределения: *интегральной* и *дифференциальной*.

Под **интегральной функцией распределения** результатов наблюдений понимается зависимость вероятности того, что результат наблюдений X_i в i -м опыте окажется меньшим некоторого текущего значения x от самой величины X_i

$$F(X) = P\{X_i \leq X\} = P\{-\infty < X_i \leq X\}$$

где P – символ вероятности события, указанного в фигурных скобках.

График интегральной функции распределения (рис. 5.1).

Значение интегральной функции в точке X численно равно вероятности того, что случайная величина X_i в результате i -го наблюдения окажется левее точки X . При перемещении точки X вдоль оси OX эта вероятность будет, очевидно, изменяться, но она не может уменьшиться при перемещении точки X вправо. Поэтому интегральная функция распределения является неубывающей функцией аргумента. Значение интегральной функции распределения в общем случае при перемещении точки X из «-» в «+» изменяется от 0 до 1. Теоретическая интегральная функция непрерывна, т.е. результат наблюдения может принять любое заранее выбранное значение с нулевой вероятностью.

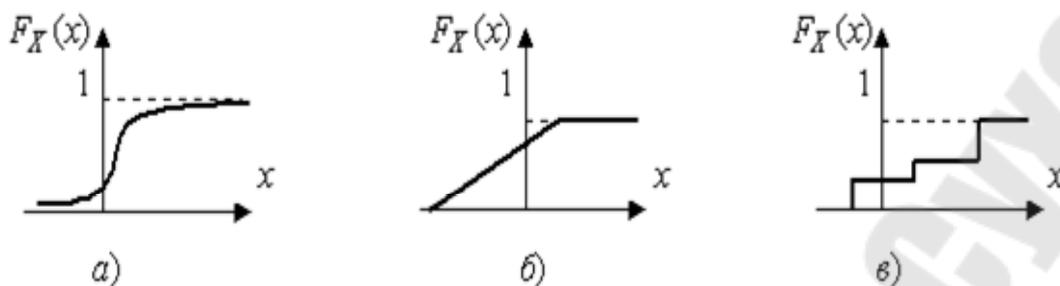


Рис. 5.1. График интегральной функции распределения:

- а);
- б);
- в)

Более наглядным является описание свойств результатов измерений и случайных погрешностей с помощью дифференциальной функции распределения, иначе называемой плотностью распределения вероятностей $p(x) = dF(x)/dx$. Она всегда неотрицательна и подчиняется условию нормирования в виде:

$$\int_{-\infty}^{+\infty} p(x) dx = 1$$

Учитывая взаимосвязь $F(x)$ и $p(x)$, легко показать, что вероятность попадания случайной величины в заданный интервал $(x_1; x_2)$

$$P\{x_1 < x < x_2\} = \int_{x_1}^{x_2} p(x) dx$$

Из последнего уравнения следует, что вероятность попадания случайной величины x в заданный интервал $(x_1; x_2)$ равна площади, заключенной под кривой $p(x)$ между абсциссами x_1 и x_2 (см. рис.5.2). Поэтому по **форме кривой плотности вероятности $p(x)$** можно судить о том, какие значения случайной величины x наиболее вероятны, а какие наименее.

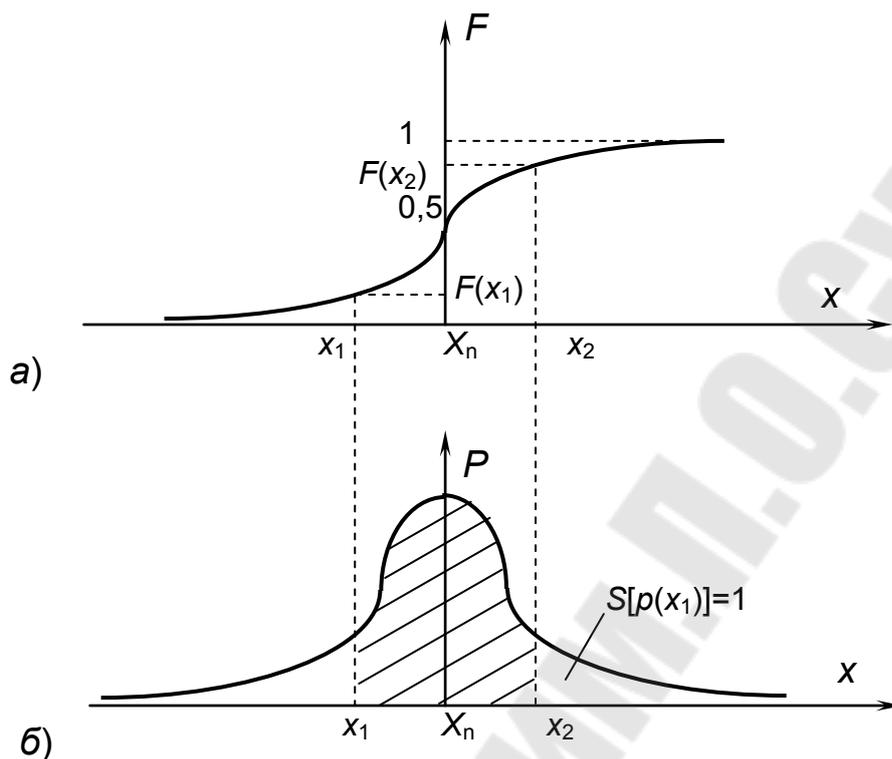


Рис. 5.2. ***

а)
б)

В практике измерений встречаются различные формы кривой закона распределения, однако чаще всего имеют дело с нормальным и равномерным распределением плотности вероятностей.

Нормальное распределение плотности вероятности (рис.5.3) характерно тем, что, согласно центральной предельной теореме теории вероятностей, такое распределение имеет сумма бесконечно большого числа бесконечно малых случайных возмущений с любыми распределениями. Применительно к измерениям это означает, что нормальное распределение случайных погрешностей возникает тогда, когда на результат измерения действует множество случайных возмущений, ни одно из которых не является преобладающим. Практически, суммарное воздействие даже сравнительно небольшого числа возмущений приводит к закону распределения результатов и погрешностей измерений, близкому к нормальному.

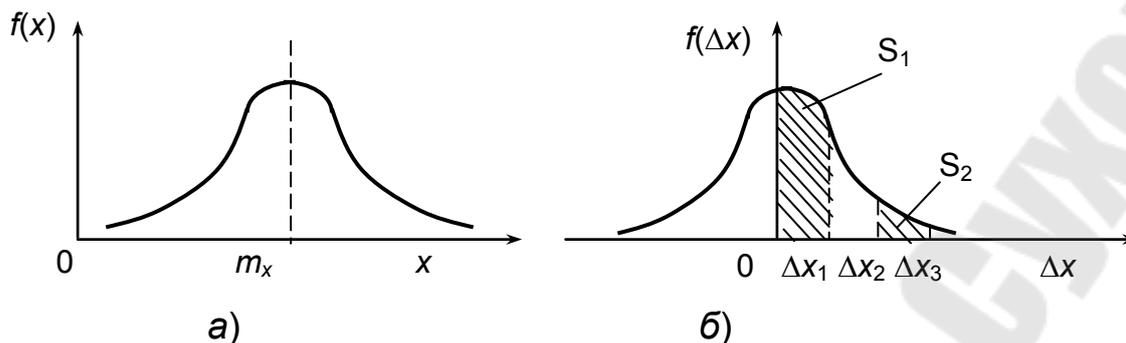


Рис. 5.3. Нормальное распределение плотности вероятности:

а)

б)

В аналитической форме нормальный закон распределения выражается формулой

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

где x – случайная величина;

m_x – математическое ожидание случайной величины;

σ – среднее квадратическое отклонение.

Перенеся начало координат в центр распределения m_x и откладывая по оси абсцисс погрешность $\Delta x = x - m_x$, получим кривую нормального распределения погрешностей:

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

Для группы из n наблюдений, распределенных по нормальному закону:

$$m_x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i;$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - m_x)^2}{n - 1}}.$$

Нормальное распределение погрешностей имеет некоторые свойства:

- Кривая нормального распределения погрешностей симметрична относительно оси ординат. Это означает, что погрешности, одинаковые по величине, но противоположные по знаку, имеют одинаковую

плотность вероятностей, т.е. при большом числе наблюдений встречаются одинаково часто. Математическое ожидание случайной погрешности равно нулю.

- Из характера кривой следует, что при нормальном законе распределения малые погрешности будут встречаться чаще, чем большие. Так, вероятность появления погрешностей, укладывающихся в интервал от 0 до Δx_1 характеризуемая площадью S_1 , (см. *рис. 5.3*) будет значительно больше, чем вероятность появления погрешностей в интервале от Δx_2 до Δx_2 (площадь S_1).

На *рис. 5.4* изображены кривые нормального распределения с различными средними квадратическими отклонениями, причем $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$.

Сравнивая кривые между собой можно убедиться, что чем меньше СКО, тем меньше рассеяние результатов наблюдений и тем больше вероятность того, что большинство случайных погрешностей в них будет мало. Естественно заключить, что качество измерений тем выше, чем меньше СКО случайных погрешностей.

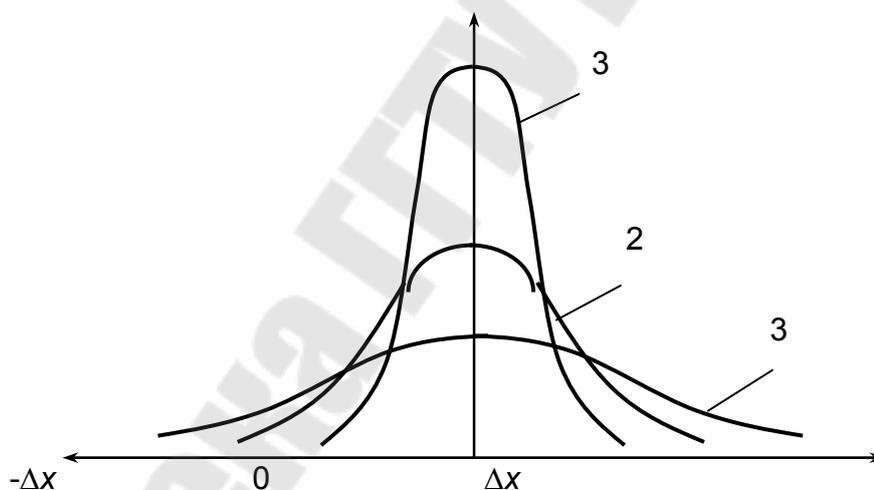


Рис. 5.4. Кривые нормального распределения с различными средними квадратическими отклонениями

5.5 Числовые вероятностные характеристики случайных погрешностей

Для описания частных свойств случайной величины используют числовые характеристики распределений. В качестве **числовых характеристик** выступают моменты случайных величин: **начальные и центральные**.

Все они представляют собой некоторые средние значения; причем, если усредняются величины, отсчитываемые от начала координат, моменты называются начальными, а если от центра закона распределения – то центральными.

Начальный момент k -го порядка определяется формулами:

$$m_k = \int_{-\infty}^{+\infty} x^k f(x) dx;$$

$$m_k = \sum_{i=1}^n x^k p_i,$$

где p_i – вероятность появления дискретной величины.

Здесь и ниже первая формула относится к непрерывным, а вторая – к дискретным случайным величинам.

Первая формула относится к непрерывным, а вторая – к дискретным случайным величинам.

Из начальных моментов наибольший интерес представляет математическое ожидание случайной величины ($k = 1$):

$$m_1 = \sum_{i=1}^n x_i p_i,$$

$$m_1 = \int_{-\infty}^{+\infty} x f(x) dx.$$

Центральные моменты k -го порядка рассчитываются по формулам

$$\mu_k = \int_{-\infty}^{+\infty} (x - m_1)^k f(x) dx,$$

$$\mu_k = \sum_{i=1}^n (x_i - m_1)^k p_i.$$

Из центральных моментов особенно важную роль играет второй момент ($k = 2$), дисперсия случайной величины D :

$$D = \int_{-\infty}^{+\infty} (x - m_1)^2 f(x) dx,$$

$$D = \sum_{i=1}^n (x_i - m_1)^2 p_i.$$

Дисперсия случайной величины характеризует рассеяние отдельных ее значений. Дисперсия имеет размерность квадрата случайной величины и выражает как бы мощность рассеяния относи-

тельно постоянной составляющей. Однако чаще пользуются положительным корнем квадратным из дисперсии – средним квадратическим отклонением (СКО), которое имеет размерность самой случайной величины.

Для количественной оценки случайных погрешностей и установления границ случайной погрешности результата измерения могут использоваться: предельная погрешность, интервальная оценка, числовые характеристики закона распределения.

Предельная погрешность Δm – погрешность, больше которой в данном измерительном эксперименте не может появиться. Теоретически, такая оценка погрешности правомерна только для распределений, границы которых четко выражены и существует такое значение $\pm \Delta m$, которое ограничивает возможные значения случайных погрешностей с обеих сторон от центра распределения (например, равномерное).

Недостатком такой оценки является то, что она не содержит информации о характере закона распределения случайных погрешностей. При арифметическом суммировании предельных погрешностей получаемая сумма может значительно превышать действительные погрешности.

Более универсальными и информативными являются **квантильные оценки**. *Площадь, заключенная под всей кривой плотности распределения погрешностей, отражает вероятность всех возможных значений погрешности и по условиям нормирования равна единице.* Эту площадь можно разделить вертикальными линиями на части. Абсциссы таких линий называются квантилями.

5.6 Квантильные оценки случайной величины

На *рис.5.5* Δx_1 , есть 25 %-ная квантиль, Так площадь под кривой $f(\Delta x)$ слева от нее составляет **25 %** всей площади. Абсцисса Δx_2 соответствует 75 %-ной квантили. Между Δx_1 и Δx_2 заключено **50 %** всех возможных значений погрешности, а остальные лежат вне этого интервала.

Квантильная оценка погрешности представляется интервалом от $-\Delta x(P)$ до $+\Delta x(P)$, на котором с заданной вероятностью P встречаются $P \cdot 100\%$ всех возможных значений случайной погрешности. Интервал с границами $\pm \Delta x(P)$ называется *доверительным интервалом случай-*

ной погрешности, а соответствующая ему вероятность – *доверительной вероятностью*. Принято границы доверительного интервала (доверительные границы) указывать симметричными относительно результата измерения.

Так как квантили, ограничивающие доверительный интервал погрешности могут быть выбраны различными, то при оценивании случайной погрешности доверительными границами необходимо одновременно указывать значение принятой доверительной вероятности

Доверительные границы случайной погрешности $\Delta x(P)$, соответствующие доверительной вероятности P , находят по формуле

$$\Delta x(P) = t\sigma,$$

где t – коэффициент, зависящий от P и формы закона распределения.

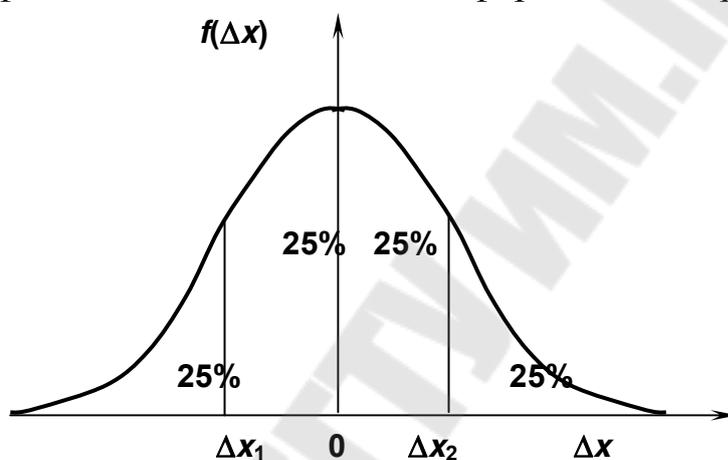


Рис. 5.5. ***

На графике нормального распределения погрешностей по оси абсцисс отложены интервалы с границами $\pm\sigma$, $\pm 2\sigma$, $\pm 3\sigma$, $\pm 4\sigma$. Доверительные вероятности для этих интервалов приведены в табл.5.1.

Таблица 5.1

$t\sigma$	P
$\pm\sigma$	0,68
$\pm 2\sigma$	0,95
$\pm 3\sigma$	0,997
$\pm 4\sigma$	0,999

График нормального распределения погрешностей $f(\Delta x)$. По оси абсцисс отложены значения -4σ , -3σ , -2σ , $-\sigma$, 0 , σ , 2σ , 3σ , 4σ . Область под кривой между $-\sigma$ и σ заштрихована.

Оценка случайной погрешности группы наблюдений интервалом $\pm 1\sigma$ соответствует доверительной вероятности 0,68. Такая оценка не дает уверенности в высоком качестве измерений, поскольку 32% от всего числа наблюдений может выйти за пределы указанного ин-

тервала, что совершенно неприемлемо при однократных измерениях и дезинформирует потребителя измерительной информации. Доверительному интервалу $\pm 3\sigma$ соответствует $P = 0,997$. Это означает, что практически с вероятностью очень близкой к единице ни одно из возможных значений погрешности при нормальном законе ее распределения не выйдет за границы интервала. Поэтому, при нормальном распределении погрешностей, принято считать случайную погрешность с границами $\pm 3\sigma$ предельной (максимально возможной) погрешностью. Погрешности, выходящие за эти границы, классифицируют как грубые или промахи.

Точечные оценки истинного значения и среднеквадратического отклонения

Как на основании полученной в эксперименте группы результатов наблюдений оценить истинное значение, т.е. найти результат измерений, как оценить его точность, т.е. меру его приближения к истинному значению?

Эта задача является частным случаем статистической задачи нахождения оценок параметров функции распределения случайной величины на основании выборки - ряда значений, принимаемых этой величиной в n независимых опытах. Оцениваемыми параметрами являются **математическое ожидание и среднеквадратическое отклонение**, поскольку только они входят в выражение для дифференциальных функций всех распределений:

$$\begin{aligned} \sigma &= y_{\sigma} \sqrt{3}, \\ b &= m_x + \sigma = m_x + y_x \sqrt{3}, \\ a &= m_x - \sigma = m_x - y_x \sqrt{3}. \end{aligned}$$

Оценку параметра назовем точечной, если она выражается одним числом. Любая точечная оценка, вычисленная на основании опытных данных, является их функцией и поэтому сама должна представлять собой случайную величину с распределением, зависящим от распределения исходной случайной величины, в том числе от самого оцениваемого параметра и от числа опытов n .

К точечным оценкам предъявляется ряд требований, определяющих их пригодность для описания самих параметров.

1. *Оценка называется состоятельной, если при увеличении числа наблюдений она приближается (сходится по вероятности) к значению оцениваемого параметра.*

2. Оценка называется несмещенной, если ее математическое ожидание равно оцениваемому параметру.

3. Оценка называется эффективной, если ее дисперсия меньше дисперсии любой другой оценки данного параметра.

На практике не всегда удается удовлетворить одновременно все эти требования, однако выбору оценки должен предшествовать ее критический анализ со всех перечисленных выше точек зрения.

Существует несколько методов определения оценок. Наиболее распространен метод **максимального правдоподобия**, теоретически обоснованный математиком Р. Фишером. Идея метода заключается в следующем. Вся получаемая в результате многократных наблюдений информация об истинном значении измеряемой величины и рассеивании результатов сосредоточена в ряде наблюдений $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$, где n – число наблюдений. Их можно рассматривать как n независимых случайных величин с одной и той же дифференциальной функцией распределения $P_i = p_X(X_i, Q, \sigma_X) \Delta X$.

Вероятность P_i получения в эксперименте некоторого результата, лежащего в интервале $X_i \pm \Delta X$, где ΔX – некоторая малая величина, равна соответствующему элементу вероятности $P_i = p_X(X_i, Q, \sigma_X) \Delta X$.

Независимость результатов наблюдений позволяет найти априорную вероятность появления одновременно всех экспериментальных данных, т.е. всего ряда наблюдений X_1, X_2, \dots, X_n и как произведение этих вероятностей:

$$P(X_1, X_2, \dots, X_n) = \prod_{i=1}^n P_i = \Delta X^n \prod_{i=1}^n p_X(X_i, Q, \sigma_X).$$

Если рассматривать Q и σ_X как неизвестные параметры распределения, то, подставляя различные значения Q и в эту формулу, мы будем получать различные значения вероятности $P(X_1, X_2, \dots, X_n)$ при каждом фиксированном ряде наблюдений X_1, X_2, \dots, X_n .

При некоторых значениях X_1, X_2, \dots, X_n и $Q = Q(X_1, X_2, \dots, X_n)$ вероятность получения экспериментальных данных $P(X_1, X_2, \dots, X_n)$ достигает наибольшего значения.

В соответствии с методом максимального правдоподобия именно эти значения и принимаются в качестве точечных оценок истинного значения и среднеквадратического отклонения результатов наблюдений.

Наряду с методом максимального правдоподобия при определении точечных оценок широко используется **метод наименьших квадратов**. В соответствии с этим методом среди некоторого класса оценок выбирают ту, которая обладает **наименьшей дисперсией**, т.е. наиболее эффективную оценку. Легко заметить, что среди всех линейных оценок истинного значения вида $\hat{m}_X = a + bX$, где некоторые постоянные, именно среднее арифметическое \bar{X} обращает в минимум дисперсию. Поэтому для случая нормально распределенных случайных погрешностей оценки, получаемые методом наименьших квадратов, совпадают с оценками максимального правдоподобия.

5.7 Оценка параметров с помощью интервалов

Смысл оценки параметров с помощью интервалов заключается в нахождении *интервалов, называемых доверительными*, между границами которых с определенными вероятностями (доверительными) находятся истинные значения оцениваемых параметров.

Вначале остановимся на определении доверительного интервала для среднего арифметического значения измеряемой величины. Предположим, что распределение результатов наблюдений нормально и известна дисперсия σ_X^2 . Найдем вероятность попадания результата наблюдений в интервал $(m_X - t_{p\sigma_X}, m_X + t_{p\sigma_X})$.

Согласно формуле

$$P(m_X - t_{p\sigma_X} < X \leq m_X + t_{p\sigma_X}) = \Phi(t_p) - \Phi(-t_p) = 2\Phi(t_p) - 1.$$

Но $P(m_X - t_{p\sigma_X} < X \leq m_X + t_{p\sigma_X}) = P(X - t_{p\sigma_X} \leq m_X < X + t_{p\sigma_X})$, и, если систематические погрешности исключены ($m_X = Q$),

$$P(X - t_{p\sigma_X} \leq Q \leq X + t_{p\sigma_X}) = 2\Phi(t_p) - 1.$$

Это означает, что истинное значение Q измеряемой величины с доверительной вероятностью $P = 2\Phi(t_p) - 1$ находится между границами доверительного интервала $[X - t_{p\sigma_X}, X + t_{p\sigma_X}]$.

Половина длины доверительного интервала $t_{p\sigma_X}$ называется доверительной границей случайного отклонения результатов наблюдений, соответствующей доверительной вероятности P . Для определения доверительной границы (при выполнении перечисленных условий) задаются доверительной вероятностью, например $P=0,95$ или $P=0,995$ и по формулам

$$P = 2\Phi(t_p) - 1,$$

$$\Phi(t_p) = \frac{1+p}{2}$$

определяют соответствующее значение интегральной функции $\Phi(t_p)$ нормированного нормального распределения. Затем находят значение коэффициента t_p и вычисляют доверительное отклонение $t_{p\sigma_X}$.

Стандартные табличные данные.

Проведение многократных наблюдений позволяет значительно сократить доверительный интервал. Действительно, если результаты наблюдений $X_i (i=1, 2, \dots, n)$ распределены нормально, то нормально распределены и величины x_i/n , а значит, и среднее арифметическое \bar{X} , являющееся их суммой. Поэтому имеет место равенство

$$\begin{aligned} P(\bar{X} - t_{p\sigma_X} \leq Q \leq \bar{X} + t_{p\sigma_X}) &= \\ = P\left(\bar{X} - t_p \frac{\sigma_X}{\sqrt{n}} \leq Q \leq \bar{X} + t_p \frac{\sigma_X}{\sqrt{n}}\right) &= 2\Phi(t_p) - 1 \end{aligned}$$

где t_p определяется по заданной доверительной вероятности P .

Полученный доверительный интервал, построенный с помощью среднего арифметического результатов n независимых повторных наблюдений, в \sqrt{n} раз короче интервала, вычисленного по результату одного наблюдения, хотя доверительная вероятность для них одинакова. Это говорит о том, что сходимость измерений растет пропорционально корню квадратному из числа наблюдений.

Половина длины нового доверительного интервала

$$\delta_p = t_p \frac{\sigma_X}{\sqrt{n}}$$

называется доверительной границей погрешности результата измерений, а итог измерений записывается в виде $Q = \bar{X} \pm \delta_p$.

Рассмотрим случай, когда распределение результатов наблюдений нормально, но их дисперсия неизвестна. В этих условиях пользуются отношением

$$t = (\bar{X} - M[X]) / \sigma_{\bar{X}} = (\bar{X} - Q) / \sigma_{\bar{X}} = \sqrt{n}(\bar{X} - Q) / \sigma_X$$

называемым дробью Стьюдента. Входящие в нее величины \bar{X} и σ_X вычисляют на основании опытных данных; они представляют собой точечные оценки математического ожидания и среднеквадратического отклонения результатов наблюдений.

Плотность распределения этой дроби, впервые предсказанного Госсетом, писавшим под псевдонимом Стьюдент, выражается следующим уравнением:

$$S(t, k) = \frac{\left(\frac{k+1}{2}\right)!}{\sqrt{\pi k} \left(\frac{k}{2}\right)!} \left(1 + \frac{t^2}{k}\right)^{-\frac{k+1}{2}},$$

где $S(t, k)$ – плотность распределения Стьюдента. Величина k называется числом степеней свободы и равна $n-1$.

Вероятность того, что дробь Стьюдента в результате выполненных наблюдений примет некоторое значение в интервале $(-t_p, +t_p)$, вычисляется по формуле

$$P(-t_p < t \leq t_p) = \int_{-t_p}^{+t_p} S(t, k) dt$$

или, поскольку $S(t, k)$ является четной функцией аргумента t ,

$$P(-t_p < t \leq t_p) = 2 \int_0^{t_p} S(t, k) dt.$$

Подставив вместо дроби Стьюдента t ее выражение через \bar{X}, Q и $\sigma_{\bar{X}}$, получим окончательно (формула 1- основная)

$$P\left[-tp < \frac{\bar{X} - Q}{\sigma_{\bar{X}}} \leq tp\right] = P(|\bar{X} - Q| < tp\sigma_{\bar{X}}) = 2 \int_0^{tp} S(t, k) dt.$$

Величины t_p , были табулированы Фишером для различных значений доверительной вероятности P в пределах $0,10 - 0,99$ при $k = n-1 = 1, 2, \dots, 30$.

Таким образом, с помощью распределения Стьюдента по формуле 1 может быть найдена вероятность того, что отклонение среднего арифметического от истинного значения измеряемой величины не превышает $\delta_p = t_p S_{\bar{X}}$, например $2\sigma_{\bar{X}}$, $3\sigma_{\bar{X}}$ и т.д.

Пример 1. По результатам пяти наблюдений была найдена длина стержня. Итог измерений составляет $L=15,785$ мм, $\sigma_{\bar{X}} = 0,005$ мм, причем существуют достаточно обоснованные предположения о том, что распределение результатов наблюдений было нормальным. Требуется оценить вероятность того, что истинное значение длины

стержня отличается от среднего арифметического из пяти наблюдений не больше чем на 0,01 мм.

Из условия задачи следует, что имеются все основания для применения распределения Стьюдента.

Вычисляем значение дроби Стьюдента

$$t_p = \frac{0,010}{\sigma_{\bar{x}}} = \frac{0,010}{0,005} = 2$$

и число степеней свободы $k = n - 1 = 5 - 1 = 4$.

По данным стандартных таблиц находим значение доверительной вероятности для $t_p = 2$ и $k = 4$:

$$P(|\bar{X} - Q| < 0,010) = P(|\bar{X} - Q| < 2\sigma_{\bar{X}}) = 0,8838$$

Для $t_p = 3$ вероятность составляет

$$P(|\bar{X} - Q| < 3\sigma_{\bar{x}}) = P(|\bar{X} - Q| < 0,015) = 0,96$$

т.е. несколько меньше 0,9973, как при нормальном распределении. Итог измерений удобно записать в виде

$$L = (15,785 \pm 0,010) \text{ мм}, P = 0,8838$$

Для $t_p = 1$ доверительная вероятность составляет приблизительно 0,62, поэтому итог измерений можно представить

$$L = (15,785 \pm 0,005) \text{ мм}, P = 0,62$$

также в виде

$$L = (15,785 \pm 0,015) \text{ мм}, P = 0,96.$$

Пример 2. В условиях предыдущей задачи найти доверительную границу погрешности результата измерений для доверительной вероятности $P = 0,99$

По данным стандартных табл. при $k = 4$ находим $t_p = 4,604$ и, следовательно, доверительная граница:

$$\delta_{0,99} = t_{0,99} \cdot \sigma_{\bar{X}} = 4,604 \cdot 0,005 = 0,023 \text{ мм}.$$

Итог измерений:

$$L = (15,785 \pm 0,023) \text{ мм}, P = 0,99.$$

При $n \rightarrow \infty$, а практически уже при $n = 20-30$ распределение Стьюдента переходит в нормальное распределение и

$$P(|\bar{X} - Q| < t_p \sigma_{\bar{X}}) = 2\Phi(t_p) - 1$$

где $\Phi(t_p)$ – интегральная функции нормированного нормального распределения.

В тех случаях, когда распределение случайных погрешностей не является нормальным, все же часто пользуются распределением Стьюдента с приближением, степень которого остается неизвестной.

Кроме того, на основании центральной предельной теоремы теории вероятностей можно утверждать, что при достаточно большом числе наблюдений распределение среднего арифметического X_i/n как суммы случайных величин будет сколь угодно близким к нормальному. Заменяя дисперсию σ_X^2 ее точечной оценкой, можно для оценки доверительной границы погрешности результата воспользоваться равенством

$$P = 2\Phi(t_p) - 1, \quad \Phi(t_p) = \frac{1 + P}{2}$$

Число наблюдений n , при котором это становится возможным, зависит, конечно, от распределения случайных погрешностей.

Итог измерения не есть одно определенное число. В результате измерений мы получаем лишь полосу значений измеряемой величины.

Смысл итога измерений, например, $L = 20,00 \pm 0,05$ заключается не в том, что $L = 20,00$, как для простоты считают, а в том, что истинное значение лежит где-то в границах от 19,95 до 20,05. К тому же нахождение внутри границ имеет некоторую вероятность, меньшую, чем единица, и, следовательно, нахождение вне границ не исключено, хотя и может быть очень маловероятным.

Теперь найдем доверительные интервалы для дисперсии и среднеквадратического отклонения результатов наблюдений.

Критерий согласия χ^2 – распределение Пирсона со степенями свободы $k = n - 1$ его дифференциальная функция распределения описывается формулой

$$p_{\chi_k^2}(\xi) = \frac{1}{\left(\frac{k}{2} - 1\right)! \cdot 2^{0.5k}} (\xi)^{0.5k-1} \cdot e^{-0.5\xi}$$

Кривые плотности – распределения при различных значениях k , представлены на *рис. 5.6*.

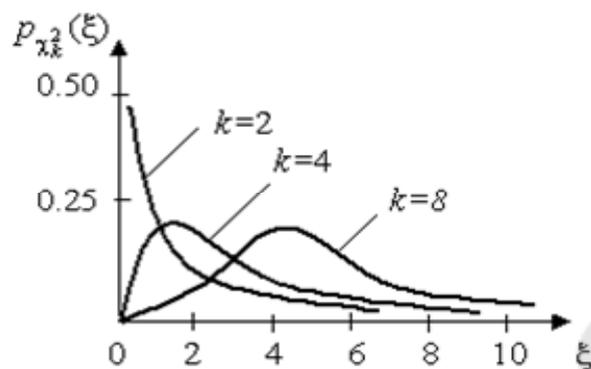


Рис. 5.6. Кривые плотности – распределения при различных значениях k

Значения, соответствующие различным вероятностям P чисел k степеней свободы сведены в стандартной таблице.

Пользуясь этой таблицей, можно найти доверительный интервал для оценки дисперсии результатов наблюдений при заданной доверительной вероятности. Этот интервал строится таким образом, чтобы вероятность выхода дисперсии за его границы не превышала некоторой малой величины q , причем вероятности выхода за обе границы интервала были бы равны между собой и составляли соответственно $q/2$.

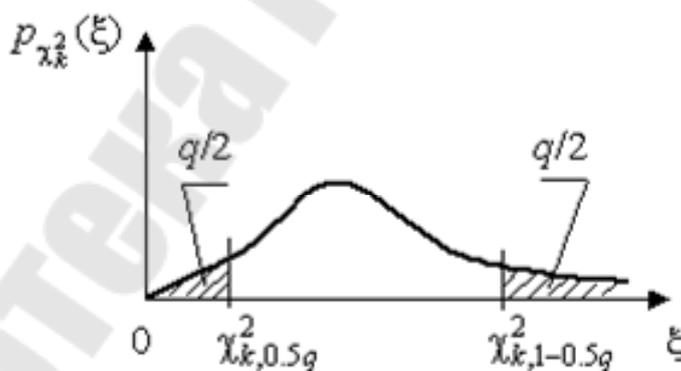


Рис. 5.7. ***

Границы $\chi_{k,0.5q}^2$ и $\chi_{k,1-0.5q}^2$ такого доверительного интервала находят из равенства

$$F(\chi_{k,0.5q}^2) = 0.5q, \quad F(\chi_{k,1-0.5q}^2) = 1 - 0.5q$$

С вероятностью $\alpha = 1 - q$ истинное значение σ_X среднеквадратического отклонения результатов наблюдений лежит в интервале $(S_{\bar{X}_1}, S_{\bar{X}_2}]$, границы которого равны

$$S_{\bar{X}_1} = \frac{\sqrt{n-1}S_{\bar{X}}}{\chi_{k,0.5q}^2}, \quad S_{\bar{X}_2} = \frac{\sqrt{n-1}S_{\bar{X}}}{\chi_{k,1-0.5q}^2}.$$

Даны результаты двадцати измерений длины l_i мм детали

18.305	18.306	18.306	18.309
18.308	18.309	18.313	18.308
18.312	18.310	18.305	18.307
18.309	18.303	18.307	18.309
18.304	18.308	18.308	18.310

В качестве оценки математического ожидания длины детали принимаем ее среднее арифметическое $\bar{l} = \frac{1}{20} \sum_{i=1}^{20} l_i = 18,3078$ мм.

Точечная оценка среднего квадратического отклонения результатов наблюдений составляет: $S_t = \sqrt{\frac{1}{20-1} \sum_{i=1}^{20} (l_i - \bar{l})^2} = 0.0025$ мм.

Приняв уровень доверительной вероятности $\alpha = 1 - q = 0.90$, находим для числа степеней свободы $k = n - 1 = 20 - 1 = 19$ станд. табл.:

$$\chi_{k,0.5q}^2 = \chi_{19,0.05}^2 = 10.117, \quad \chi_{19,0.05} = 3.18,$$

$$\chi_{k,1-0.5q}^2 = \chi_{19,0.95}^2 = 30.144, \quad \chi_{19,0.95} = 5.49.$$

Границы доверительного интервала для среднеквадратического отклонения результатов наблюдений находим по формуле :

$$S_{l_1} = \frac{\sqrt{20-1} \cdot 0.0025}{3.18} = 0.0034 \text{ мм},$$

$$S_{l_2} = \frac{\sqrt{20-1} \cdot 0.0025}{5.49} = 0.0020 \text{ мм}.$$

Полученные результаты говорят о том, что истинное значение среднеквадратического отклонения результатов наблюдений с вероятностью 0,90 лежит в интервале 0,0020–0,0034 мм.

При $k > 30$ можно пользоваться приближенной формулой

$$\chi_{kp} = \sqrt{k-0.5} + \frac{1}{\sqrt{2}} t_p,$$

где t_p определяется из условия $\Phi(t_p)=P$ по таблицам, в которой помещены значения интегральной функции нормированного нормального распределения.

Тогда границы доверительного интервала для среднеквадратического отклонения результатов наблюдений при доверительной вероятности $\alpha = 1 - q$ вычисляются при значениях χ_k , равных

$$\chi_{k,0.5q}^2 = \sqrt{k-0.5} + \frac{1}{\sqrt{2}} t_{0.5q},$$

$$\chi_{k,1-0.5q}^2 = \sqrt{k-0.5} + \frac{1}{\sqrt{2}} t_{1-0.5q}.$$

на основании измерений $n = 42$, для $\alpha = 1 - q = 0.90$ находим:

$$t_{0.5q} = t_{0.05} = -1.6449, \quad t_{1-0.5q} = t_{0.95} = +1.6449.$$

Величины χ_k при $k = n - 1 = 41$ составляют:

$$\chi_{41,0.05} = \sqrt{41-0.5} + \frac{1.6449}{\sqrt{2}} = 5.2,$$

$$\chi_{41,0.95} = \sqrt{41-0.5} + \frac{1.6449}{\sqrt{2}} = 7.52.$$

Границы доверительного интервала:

$$S_{l1} = \frac{\sqrt{42-1} \cdot 0.0025}{5.2} = 0.0031 \text{ мм},$$

$$S_{l2} = \frac{\sqrt{42-1} \cdot 0.0025}{7.52} = 0.0021 \text{ мм}.$$

5.8 Проверка нормальности распределения результатов наблюдений

Результаты наблюдений можно оценить наиболее полно, если их распределение является нормальным. Поэтому исключительно важную роль при обработке результатов наблюдений играет проверка нормальности распределения.

Эта задача представляет собой частный случай более общей проблемы, заключающейся в подборе теоретической функции распределения, в некотором смысле наилучшим образом согласующейся с опытными данными.

При большом числе результатов наблюдений (Весь диапазон полученных результатов наблюдений $X_{max} \dots X_{min}$ разделяют на r интервалов шириной $\Delta X_i (i = 1, 2, \dots, r)$ и подсчитывают частоты m_i , рав-

ные число результатов, лежащих в каждом i -м интервале, т.е. меньших или равных его правой и больших левой границы.

$$\text{Отношения } P_i^* = \frac{m_i}{n}.$$

где n – общее число наблюдений, которые представляют собой статистические оценки вероятностей попадания результата наблюдений в i -й интервал. Распределение частот по интервалам образует статистическое распределение результатов наблюдений.

Если теперь разделить частоты на длину интервала, то получим величины

$$P_i^* = \frac{1}{\Delta X_i} P_i^* = \frac{m_i}{n \Delta X_i},$$

являющиеся оценками средней плотности распределения в интервале ΔX_i .

Отложим вдоль оси результатов наблюдений интервалы ΔX_i в порядке возрастания индекса i и на каждом интервале построим прямоугольник с высотой, равной P_i^* . Полученный график называется *гистограммой статистического распределения* (рис.5.8).

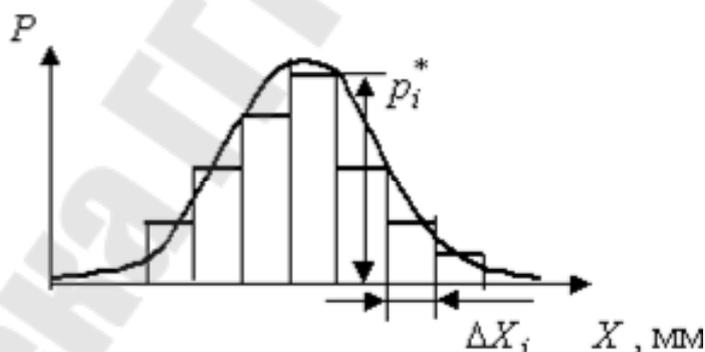


Рис. 5.8. Гистограмма статического распределения

Площадь суммы всех прямоугольников равна единице:

$$\sum_{i=1}^r P_i^* \Delta X_i = \sum_{i=1}^r \frac{m_i}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^r m_i = 1.$$

При увеличении числа наблюдений число интервалов можно увеличить. Сами интервалы уменьшаются, и гистограмма все больше

приближается к плавной кривой, ограничивающей единичную площадь, к графику плотности распределения результатов наблюдений.

При построении гистограмм рекомендуется пользоваться следующими правилами:

1. Число интервалов r выбирается в зависимости от числа наблюдений n согласно рекомендациям табл.

2. Ширину интервалов удобнее выбирать одинаковой. Однако если распределение крайне неравномерно, то в области максимальной концентрации результатов наблюдений следует выбирать более узкие интервалы.

Таблица ***

n	r
40 – 100	7 – 9
100 – 500	8 – 12
500 – 1000	10 – 16
1000 – 10000	12 – 22

Пример. Было выполнено 100 измерений среднего диаметра резьбового калибра. Результаты наблюдений лежат в диапазоне 8,911 – 8,927 мм, т.е. зона распределения результатов составляет 0,016 мм. Весь диапазон удобно разделить на восемь равных интервалов через 0,002 мм. В табл. приведены частоты m_i , частоты P_i^* и плотности p_i^* статистического распределения.

	X_i , мм	X_{i+1} , мм	m_i	P_i^*	p_i^* , 1/мм
1	8.911	8.913	1	0.01	5
2	8.913	8.915	5	0.05	25
3	8.915	8.917	14	0.14	70
4	8.917	8.919	27	0.27	135
5	8.919	8.921	24	0.24	120
6	8.921	8.923	18	0.18	90
7	8.923	8.925	9	0.09	45
8	8.925	8.927	2	0.02	10

После построения гистограммы надо подобрать теоретическую плавную кривую распределения, которая, выражая все существенные черты статистического распределения, сглаживала бы все случайности, связанные с недостаточным объемом экспериментальных данных.

Принципиальный вид теоретической кривой выбирают заранее, проанализировав метод измерения, или хотя бы по внешнему виду гистограммы.

Тогда определение аналитического вида кривой распределения сводится к выбору таких значений его параметров, при которых достигается наибольшее соответствие между теоретическим и статистическим распределением.

Одним из методов решения этой задачи является метод моментов.

При его использовании параметрам теоретического распределения придают такие значения, при которых несколько важнейших моментов совпадают с их статистическими оценками (математическое ожидание, дисперсия).

Возникает вопрос, объясняются ли расхождения между гистограммой и подобранным теоретическим распределением только случайными обстоятельствами, связанными с ограниченным числом наблюдений, или они вызваны тем, что результаты наблюдений в действительности распределены иначе?

Для ответа на этот вопрос используют методы проверки статистических гипотез. Идея их применения заключается в следующем. На основании гистограммы, полученной при обработке опытных данных, строится гипотеза, состоящая в том, что результаты наблюдений подчиняются распределению $F_X(x)$ с плотностью $P_X(x)$.

Для того чтобы принять или опровергнуть эту гипотезу, выбирается некоторая величина U , представляющая собой меру расхождения теоретического и статистического распределений. В качестве меры расхождения можно принять сумму квадратов разностей частот и теоретических вероятностей попадания результатов наблюдений в каждый интервал, взятых с некоторыми коэффициентами:

$$U = \sum_{i=1}^r c_i (P_i^* - P_i)^2$$

где c_i – коэффициенты, называемые весами разрядов;

P_i – теоретические вероятности, определяемые как $P_i = \int_{X_i}^{X_{i+1}} p_X(x) dx$.

Здесь $p_X(x)$ – предполагаемая плотность распределения.

Мера расхождения U является случайной величиной и, независимо от исходного распределения подчиняется χ^2 – распределению с k степенями свободы.

Если значения всех частот $m_i > 5$, число измерений стремится к бесконечности, а веса c_i выбираются равными n/P_i . Число степеней свободы распределения $k = r - s$, где r – число разрядов гистограммы

статистического распределения, а s – число независимых связей, наложенных на частоты.

Если проверяется гипотеза о нормальности распределения, то к числу этих связей относится равенство среднего арифметического математическому ожиданию, а точечной оценки дисперсии – дисперсии предполагаемого нормального распределения. Кроме того, всегда требуется, чтобы сумма частот по всем интервалам была равна единице. Поэтому в данном случае $s = 3$.

По стандартной таблице можно при заданной $\alpha = 1 - q$ доверительной вероятности найти тот доверительный интервал $(\chi_{k,0.5q}^2, \chi_{k,1-0.5q}^2)$ значений χ_k^2 , в который мера расхождения может попасть по чисто случайным причинам.

Если вычисленная по опытными данным мера расхождения окажется в указанном интервале, то гипотеза принимается. Это не значит, что гипотеза верна. Можно лишь утверждать, что она правдоподобна, т.е. не противоречит опытными данным. Если же она выходит за границы доверительного интервала, то гипотеза отвергается как противоречащая опытными данным.

Описанная процедура проверки гипотезы о том, что данное статистическое распределение является распределением с плотностью $p_X(x)$, называется критерием согласия χ^2 . Проверка нормальности распределения согласно критерию χ^2 сводится к следующему.

1. Данные наблюдений группируют по интервалам, как при построении гистограммы, и подсчитывают частоты m_i . Если в некоторые интервалы попадает меньше пяти наблюдений, то такие интервалы объединяют с соседними. При этом число степеней свободы k , конечно, уменьшается.

2. Вычисляют среднее арифметическое \bar{X} и точечную оценку σ_x среднеквадратического отклонения результата наблюдений, которые принимают в качестве параметров теоретического нормального распределения с плотностью $p_X(x)$.

3. Для каждого интервала находят вероятности попадания в них результатов наблюдений приближенно как произведение плотности теоретического распределения в середине интервала на его длину:

$$P_i \approx p_X\left(\frac{X_i + X_{i+1}}{2}\right)\Delta X_i.$$

4. Для каждого интервала вычисляют величины $\chi_i^2 (i = 1, 2, \dots, r)$ и суммируют их по всем интервалам, в результате чего получают меру расхождения χ_k^2 .

5. Определяют число степеней свободы $k = r - 3$ и, задаваясь уровнем значимости $q = 1 - a$, находят по табл. значения $\chi_{k,0.5q}^2$ и $(\chi_{1,0.5q}^2, \chi_{1,1-0.5q}^2)$.

Если $\chi_{k,0.5q}^2 < \chi_k^2 < \chi_{k,1-0.5q}^2$, то распределение результатов наблюдений считают нормальным.

Критерий согласия χ_k^2 , построенный на предельном переходе при $n \rightarrow \infty$, рекомендуется применять, если общее число наблюдений больше сорока.

При малом числе наблюдений $11 < n < 50$ нормальность распределения результатов наблюдений проверяется с помощью двух критериев.

Первый критерий основан на вычислении статистики

$$d = \frac{\sum_{i=1}^n |X_i - \bar{X}|}{\sqrt{n \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}}.$$

Гипотеза о нормальности распределения на основании первого критерия принимается, если при данном числе наблюдений и выбранном уровне значимости q_1 соблюдается условие $d_{1-0.5q_1} < d \leq d_{0.5q_1}$.

Где $d_{1-0.5q_1}$ и $d_{0.5q_1}$ – квантили, выбираемые из станд. табл.

На основании второго критерия гипотеза о нормальности распределения принимается, если не более m разностей $|X_i - \bar{X}|$.

$$s_X z_{0.5(1+\alpha)}$$

превосходят уровень, где s_X – оценка среднеквадратического отклонения результатов наблюдения, $z_{0.5(1+\alpha)}$ – квантиль интегральной функции нормированного нормального распределения, определяемый по данным станд. табл. приложения при значении

$$\Phi(z_{0.5(1+\alpha)}) = 0.5(1 + \alpha).$$

Величина α находится при заданном уровне значимости q_2 второго критерия по данным станд.табл.

Распределение результатов наблюдения считается отличным от нормального, если оно не соответствует хотя бы одному из этих двух критериев. Уровень значимости составного критерия $q \leq q_1 + q_2$.

При малом числе наблюдений для оценки нормальности можно воспользоваться понятием статистической функции распределения результатов наблюдений.

Для ее построения полученные в процессе эксперимента результаты $X_{(1)}^*, X_{(2)}^*, \dots, X_{(n)}^*$ группируют в так называемый вариационный ряд $X_{(1)}^* \leq X_{(2)}^* \leq \dots \leq X_{(n)}^*$, члены которого располагаются в порядке их возрастания, так что всегда статистическую функцию распределения $F_n(x_k)$ определяют по формуле

$$F_n(x_k) = \frac{k}{n+1}, \quad k = 1, 2, \dots, n,$$

которая представляет собой ступенчатую линию, скачки которой соответствуют значениям членов вариационного ряда. Каждый скачок равен $\frac{1}{n+1}$, если все n членов ряда различны. Если же для некоторого

k $X_{(k)} = X_{(k+1)} = \dots = X_{(k+i)}$, то $F_n(x)$ в точке $x = X_k$ возрастает на $\frac{i}{n+1}$,

где i – число равных между собой членов ряда.

Если число наблюдений безгранично увеличивать, то статистическая функция распределения сходится по вероятности к истинной функции $F_n(x)$.

Для проверки нормальности распределения z_k результатов наблюдений по станд. табл. находят значения $F_n(x_k)$, соответствующие полученным значениям статистической функции распределения $\Phi(z_k) = F_n(x_k)$.

Но переменная z определяется через результаты наблюдений как $z_k = \frac{X_k - m_X}{\sigma_X}$, и если в координатах z, x нанести точки z_k, x_k , то при

нормальном распределении они должны расположиться вдоль одной прямой линии. Если же в результате такого построения получится некоторая кривая линия, то гипотезу о нормальности распределения придется отвергнуть как противоречащую опытным данным.

На *рис.5.9* представлена зависимость $z_k(x_k)$. Отдельные точки располагаются очень близко к прямой, поэтому распределение результатов наблюдений можно считать нормальным.

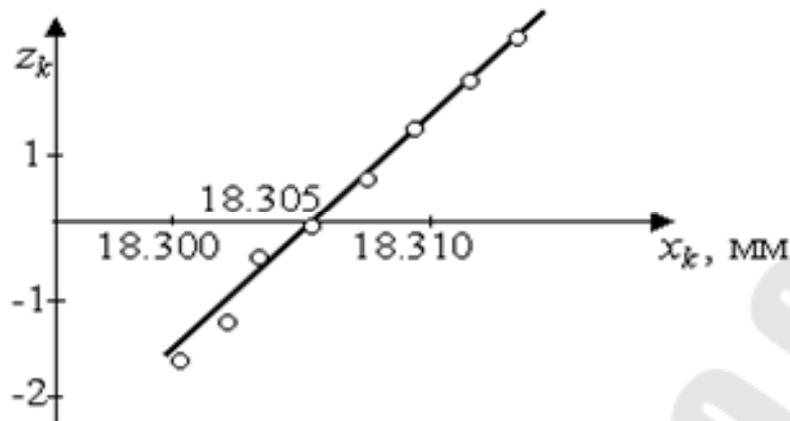


Рис. 5.9. Зависимость $z_k(x_k)$

Тема 6. Обнаружение грубых погрешностей. Систематические погрешности

Вопросы лекции:

- Обнаружение грубых погрешностей
- Классификация систематических погрешностей
- Способы обнаружения систематических погрешностей
- Введение поправок. Неисключенная систематическая погрешность

6.1 Обнаружение грубых погрешностей

Грубыми называют погрешности, явно превышающие по своему значению погрешности, оправданные условиями проведения эксперимента.

Для их устранения желательно еще перед измерениями определить значение искомой величины приблизительно, с тем чтобы в дальнейшем можно было сконцентрировать внимание лишь на уточнении предварительных данных. Если оператор в процессе измерений обнаруживает, что результат одного из наблюдений X_i резко отличается от других, и находит причины этого, то он, конечно, вправе отбросить этот результат и провести повторные измерения. Но необдуманное отбрасывание резко отличающихся от других результатов может привести к существенному искажению характеристик рассеивания ряда измерений, поэтому *повторные измерения лучше проводить не взамен сомнительных, а в дополнение к ним.*

Содержит ли данный результат наблюдений грубую погрешность, решается общими методами проверки статистических гипотез:

Проверяемая гипотеза состоит в утверждении, что результат наблюдения не содержит грубой погрешности, т.е. является одним из значений случайной величины X с законом распределения χ^2 , статистические оценки параметров которого предварительно определены. Сомнительным может быть в первую очередь лишь наибольший X_{max} или наименьший X_{min} из результатов наблюдений. Поэтому для проверки гипотезы следует воспользоваться распределениями величин

$$v = \frac{X_{min} - \bar{X}}{\sigma_{\bar{x}}} \quad \text{или} \quad v = \frac{X_{max} - \bar{X}}{\sigma_{\bar{x}}}.$$

Функции их распределения определяют методами теории вероятностей. Они совпадают между собой и для нормального распределения результатов наблюдений протабулированы.

Если вычисленное по опытным данным значение v окажется меньше v_a , то гипотеза принимается; в противном случае ее следует отвергнуть как противоречащую данным наблюдений. Тогда результат X_{max} или соответственно X_{min} приходится рассматривать как содержащий грубую погрешность и не принимать его во внимание при дальнейшей обработке результатов наблюдений.

6.2 Классификация систематических погрешностей

Систематической погрешностью называется составляющая погрешности измерения, остающаяся постоянной или закономерно меняющаяся при повторных измерениях одной и той же величины.

Предполагается, что систематические погрешности представляют собой определенную функцию неслучайных факторов, состав которых зависит от физических, конструкционных и технологических особенностей средств измерений, условий их применения, а также индивидуальных качеств наблюдателя. *Совершенствование методов измерения, использование высококачественных материалов, прогрессивная технология* – все это позволяет на практике *устранить* систематические погрешности настолько, что при обработке результатов наблюдений с их наличием зачастую не приходится считаться.

Систематические погрешности принято классифицировать в зависимости от причин их возникновения и по характеру их проявления при измерениях:

- погрешности метода;
- инструментальные погрешности;
- погрешности, обусловленные неправильной установкой и взаимным расположением средств измерения;
- личные погрешности.

Погрешности метода или теоретические погрешности, происходящие от ошибочности или недостаточной разработки принятой теории метода измерений в целом или от допущенных упрощений при проведении измерений.

Погрешности метода возникают также при экстраполяции свойства, измеренного на ограниченной части некоторого объекта, на весь объект, если последний не обладает однородностью измеряемого свойства.

Пример. При определении плотности вещества по измерениям массы и объема некоторой пробы возникает систематическая погрешность, если проба содержала некоторое количество примесей, а результат измерения принимается за характеристику данного вещества вообще.

Инструментальные погрешности, зависящие от погрешностей применяемых средств измерений. Среди инструментальных погрешностей в отдельную группу выделяются погрешности схемы, не связанные с неточностью изготовления средств измерения и обязанные своим происхождением самой структурной схеме средств измерений.

Исследование инструментальных погрешностей является предметом специальной дисциплины – теории точности измерительных устройств.

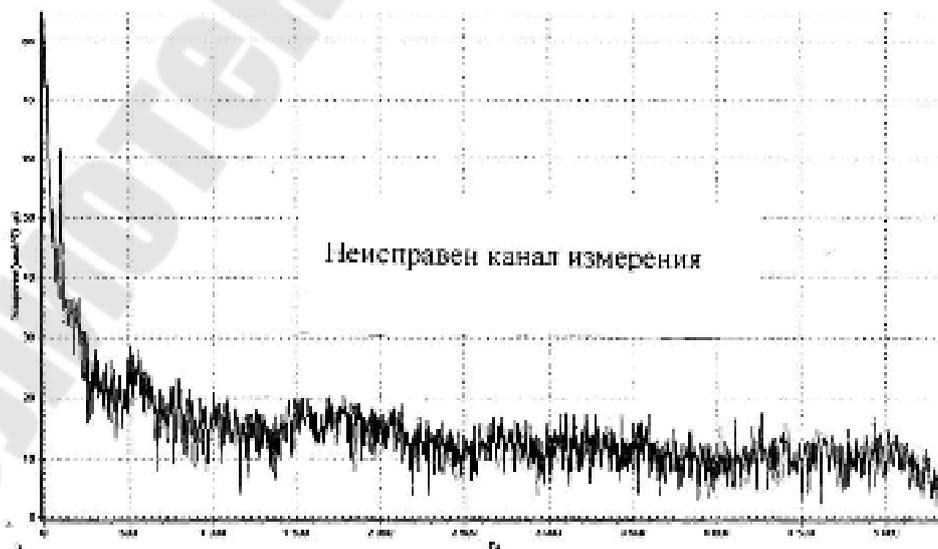


Рис. 6.1. Спектр вибрации трансформатора Т-1, сторона ВН, фаза «А», середина

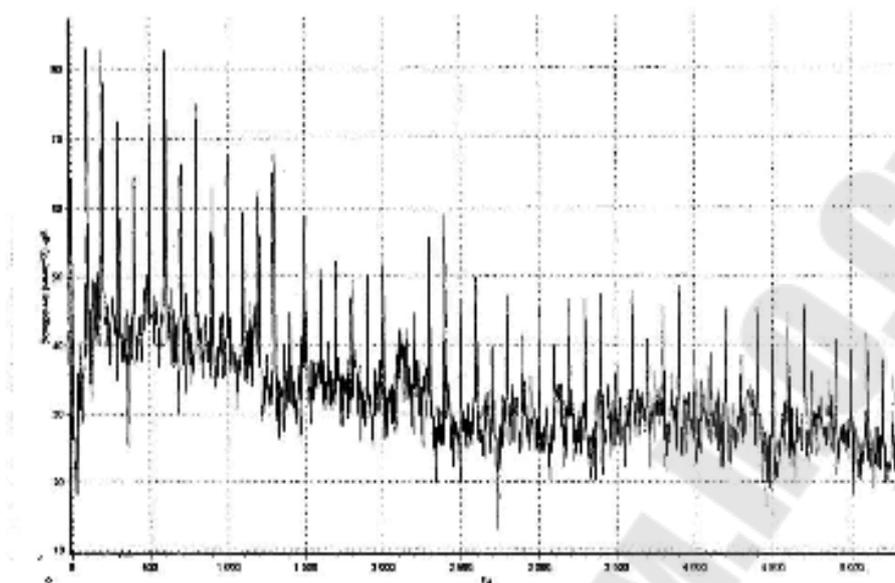


Рис. 6.2. Спектр вибрации трансформатора Т-1, сторона ВН, фаза «А», верх

Погрешности, обусловленные неправильной установкой и взаимным расположением средств измерения, являющихся частью единого комплекса, несогласованностью их характеристик, влиянием внешних температурных, гравитационных, радиационных и других полей, нестабильностью источников питания, несогласованностью входных и выходных параметров электрических цепей приборов и так далее.

Личные (субъективные) погрешности, обусловленные индивидуальными особенностями наблюдателя. Такого рода погрешности вызываются, например, запаздыванием или опережением при регистрации сигнала, неправильным отсчетом десятых долей деления шкалы, асимметрией, возникающей при установке штриха посередине между двумя рисками.

По характеру своего поведения в процессе измерения систематические погрешности подразделяются на *постоянные* и *переменные*.

Постоянные систематические погрешности возникают, например, при неправильной установке начала отсчета, неправильной градуировке и юстировке средств измерения и остаются постоянными при всех повторных наблюдениях. Поэтому, если уж они возникли, их очень трудно обнаружить в результатах наблюдений.

Среди *переменных систематических погрешностей* принято выделять прогрессивные и периодические.

Прогрессивная погрешность возникает, например, при взвешивании, когда одно из коромысел весов находится ближе к источнику тепла, чем другое, поэтому быстрее нагревается и удлиняется. Это приводит к систематическому сдвигу начала отсчета и к монотонному изменению показаний весов.

Периодическая погрешность присуща измерительным приборам с круговой шкалой, если ось вращения указателя не совпадает с осью шкалы.

Все остальные виды систематических погрешностей принято называть погрешностями, изменяющимися по сложному закону.

В тех случаях, когда при создании средств измерений, необходимых для данной измерительной установки, не удастся устранить влияние систематических погрешностей, приходится специально организовывать измерительный процесс и осуществлять математическую обработку результатов.

Методы борьбы с систематическими погрешностями заключаются в их обнаружении и последующем исключении путем полной или частичной компенсации. Основные трудности, часто непреодолимые, состоят именно в обнаружении систематических погрешностей, поэтому иногда приходится довольствоваться приближенным их анализом.

6.3 Способы обнаружения систематических погрешностей

Результаты наблюдений, полученные при наличии систематических погрешностей, будем называть неисправленными. Обозначаются штрихами (например X'_1 , X'_2 и т.д.). Вычисленные в этих условиях средние арифметические значения и отклонения от результатов наблюдений будем также называть неисправленными и ставить штрихи у символов этих величин. Таким образом,

$$\bar{X}' = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X'_i, \quad v'_i = X'_i - \bar{X}'.$$

Поскольку неисправленные результаты наблюдений включают в себя систематические погрешности, сумму которых для каждого i -го наблюдения будем обозначать через θ_i , то их математическое ожидание не совпадает с истинным значением измеряемой величины и отличается от него на некоторую величину θ_i , называемую система-

тической погрешностью неисправленного среднего арифметического. Действительно,

$$\bar{X}' = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X'_i, \quad v'_i = X'_i - \bar{X}' \quad \theta = M[\bar{X}'] - Q = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \theta_i.$$

Если систематические погрешности $\theta_i = \theta, i = 1, 2, \dots, n$ постоянны, т.е. то неисправленные отклонения могут быть непосредственно использованы для оценки рассеивания ряда наблюдений. В противном случае необходимо предварительно исправить отдельные результаты измерений, введя в них так называемые поправки, равные систематическим погрешностям по величине и обратные им по знаку: $q = -\theta_i$.

Таким образом, для нахождения исправленного среднего арифметического и оценки его рассеивания относительно истинного значения измеряемой величины необходимо обнаружить систематические погрешности и исключить их путем введения поправок или соответствующей каждому конкретному случаю организации самого измерения.

Остановимся подробнее на некоторых способах обнаружения систематических погрешностей.

Постоянные систематические погрешности не влияют на значения случайных отклонений результатов наблюдений от средних арифметических, поэтому никакая математическая обработка результатов наблюдений не может привести к их обнаружению. Анализ таких погрешностей возможен только на основании некоторых априорных знаний об этих погрешностях, получаемых, например, при проверке средств измерений. Измеряемая величина при проверке обычно воспроизводится образцовой мерой, действительное значение которой известно. Поэтому *разность между средним арифметическим результатов наблюдения и значением меры с точностью, определяемой погрешностью аттестации меры и случайными погрешностями измерения, равна искомой систематической погрешности*.

Ценность полученных при проверке результатов определяется их постоянством в течение некоторого промежутка времени и независимостью от тех изменений внешних условий, которые допустимы при эксплуатации средств измерений с заданной точностью. Тогда полученные при проверке данные могут быть использованы для вычисления поправок, необходимых для исправления результатов наблюдений.

Одним из наиболее действенных способов обнаружения систематических погрешностей в ряде результатов наблюдений является построение графика последовательности неисправленных значений случайных отклонений результатов наблюдений от средних арифметических.

Вначале рассмотрим случай, когда в ряде результатов наблюдений предполагается наличие постоянной систематической погрешности. Для того чтобы удостовериться в этом, исследователь, сделав несколько измерений, заменяет некоторые меры или измерительные приборы, включенные в установку и являющиеся предполагаемыми источниками постоянных систематических погрешностей, другими мерами и измерительными приборами и проводит еще несколько измерений.

Рассматриваемый способ обнаружения постоянных систематических погрешностей можно сформулировать следующим образом: *если неисправленные отклонения результатов наблюдений резко изменяются при изменении условий наблюдений, то данные результаты содержат постоянную систематическую погрешность, зависящую от условий наблюдений.*

При прогрессивной систематической погрешности последовательность неисправленных отклонений результатов наблюдений обнаруживает тенденцию к возрастанию или убыванию. На *рис.6.3* изображена зависимость погрешности измерения от длины измеряемой детали.

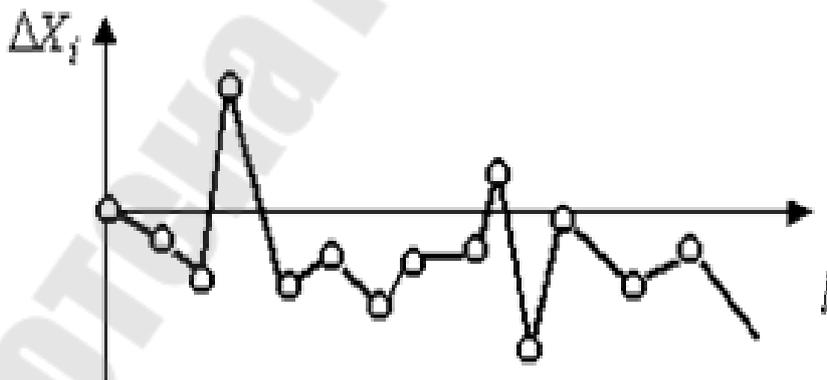


Рис. 6.3. Зависимость погрешности измерения от длины измеряемой детали

Несмотря на большие случайные изменения погрешности тенденция к увеличению ее в отрицательном направлении с ростом измеряемой величины явно обнаруживается. Если бы случайные погрешности были невелики, то значения неисправленных отклонений меняли бы свой знак при некотором среднем значении измеряемой вели-

чины. Случайные погрешности несколько искажают эту картину, однако, если они даже одного порядка малости с систематическими погрешностями, в последовательности знаков можно заметить некоторую неравномерность: неисправленные отклонения результатов одного знака чаще встречаются в отрицательной полуплоскости, чем в положительной.

Если же в ряде результатов наблюдений присутствует периодическая систематическая погрешность, то группы знаков плюс и минус в последовательности неисправленных отклонений результатов наблюдений могут периодически сменять друг друга, если, конечно, случайные погрешности не особенно велики.

Обобщая два рассмотренных случая, можно сказать: *если последовательность знаков плюс сменяется последовательностью знаков минус или наоборот, то данный ряд результатов наблюдений обнаруживает прогрессивную погрешность, если группы знаков плюс и минус чередуются – периодическую погрешность.*

6.4 Введение поправок. Неисключенная систематическая погрешность

Систематические погрешности являются детерминированными величинами, поэтому в принципе всегда могут быть вычислены и исключены из результатов измерений. После исключения систематических погрешностей получаем исправленные средние арифметические и исправленные отклонения результатов наблюдений, которые позволяют оценить степень рассеивания результатов.

Для исправления результатов наблюдений их складывают с поправками, равными систематическим погрешностям по величине и обратными им по знаку. Поправку определяют экспериментально при проверке приборов или в результате специальных исследований, обычно с некоторой ограниченной точностью. Для исправления результата наблюдения его складывают только со средним арифметическим значением поправки:

$$X_i = X'_i + q$$

где X_i и X'_i – соответственно исправленный и неисправленный результаты наблюдений, q – среднее арифметическое значение поправки, определяемые экспериментально.

Поправки могут задаваться также в виде формул, по которым они вычисляются для каждого конкретного случая.

Например, при измерениях и поверках с помощью образцовых манометров следует вводить поправки к их показаниям на местное значение ускорения свободного падения

$$q = \Delta P = P \left(\frac{g}{9.8066} - 1 \right)$$

где P – измеряемое давление.

Введением поправки устраняется влияние только одной вполне определенной систематической погрешности, поэтому в результаты измерения зачастую приходится вводить очень большое число поправок. При этом вследствие ограниченной точности определения поправок накапливаются случайные погрешности и дисперсия результата измерения увеличивается.

При исправлении неисправленного результата путем введения поправок по формуле

$$X_i = X_i' + \sum_{j=1}^m q_j,$$

дисперсия σ_X^2 становится равной

$$\sigma_X^2 = \sigma_{X'}^2 + \sum_{j=1}^m \sigma_j^2,$$

где $\sigma_{X'}^2$ – оценка дисперсии неисправленных результатов;

σ_j^2 – оценка дисперсии j -й поправки.

Поправку имеет смысл вводить до тех пор, пока она уменьшает доверительные границы погрешности, т.е. пока выполняется неравенство

$$q \geq 0,5 \frac{\sigma_q^2}{\sigma_{X'}^2}.$$

При малой дисперсии поправки на основании формулы может показаться, что введение любой поправки повышает достоверность результата. Однако следует помнить, что погрешность результата выражается не более чем двумя значащими цифрами, поэтому поправка, если она меньше пяти единиц разряда, следующего за последним десятичным знаком погрешности результата, будет все равно потеряна при округлении, и вводить ее не имеет смысла.

Систематическая погрешность, остающаяся после введения поправок на ее наиболее существенные составляющие включает в себя

ряд элементарных составляющих, называемых неисключенными остатками систематической погрешности.

К их числу относятся:

- погрешности определения поправок;
- погрешности, зависящие от точности измерения влияющих величин, входящих в формулы для определения поправок;
- погрешности, связанные с колебаниями влияющих величин (температуры окружающей среды, напряжения питания и т.д.).

Перечисленные погрешности малы и поправки на них не вводятся.

Для каждого данного измерения элементарные составляющие систематической погрешности имеют вполне определенные значения, но эти значения нам неизвестны. Известно лишь, что в массе однотипных измерений эти составляющие лежат в определенных границах $\pm \theta_{k_{max}}$ или имеют определенные средние квадратические отклонения $\sigma_{\theta k}$. В первом случае для неисключенных остатков следует принять равномерное распределение, во втором – нормальное. Дисперсия суммы неисключенных остатков систематической погрешности определяется как сумма их дисперсий и поэтому

$$D[\theta] = \sigma_{\theta}^2 = \frac{1}{3} \sum_{k=1}^{m_1} \theta_{k_{max}}^2 + \sum_{k=1}^{m_2} \sigma_{\theta k}^2,$$

где m_1 – число равномерно распределенных и m_2 – число нормально распределенных элементарных составляющих.

Тема 7. Математическая обработка исправленных результатов измерений

Экспериментатор должен быть достаточно ленив, чтоб не делать лишнего

Вопросы лекции:

- Обработка результатов прямых равнорассеянных наблюдений
- Обработка неравнорассеянных рядов наблюдений

- Обработка результатов косвенных измерений
- Критерии ничтожных погрешностей

7.1 Обработка результатов прямых равнорассеянных наблюдений

Прямыми называются измерения, в результате которых искомое значение физической величины находят непосредственно из опытных данных. Прямые измерения осуществляются путем многократных наблюдений.

Результаты наблюдений $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ называются равнорассеянными, если они являются независимыми, одинаково распределенными случайными величинами. Равнорассеянные результаты получают при измерениях, проводимых одним наблюдателем или группой наблюдателей с помощью одних и тех же методов и средств измерений в неизменных условиях внешней среды.

Обработка результатов наблюдений в соответствии с методикой прямых измерений с многократными наблюдениями производится в следующем порядке:

1. Путем введения поправок исключают известные систематические погрешности из результатов наблюдений.

2. Вычисляют среднее арифметическое \bar{X} исправленных результатов наблюдений, принимая его за оценку истинного значения измеряемой величины.

3. Вычисляют оценку S_x среднеквадратического отклонения результатов наблюдения и оценку среднеквадратического отклонения среднего арифметического $S_{\bar{X}}$.

4. Проверяют гипотезу о нормальности распределения результатов наблюдения. Если число результатов $n > 50$, используют критерий Пирсона χ^2 , при $15 < n < 50$ – составной критерий. Уровень значимости выбирается из интервала 0,02 – 0,10. При $n < 15$ нормальность распределения не проверяется.

5. Если результаты наблюдений распределены нормально, то определяют наличие грубых погрешностей и промахов и если последние обнаружены, соответствующие результаты отбраковывают и повторяют вычисления.

6. Вычисляют доверительные границы случайной погрешности при доверительной вероятности $P=0,95$, а также при $P=0,99$, если измерения в дальнейшем повторить нельзя.

7. Определяют границы неисключенной систематической погрешности результата измерений. В качестве составляющих неисключенной систематической погрешности рассматривают погрешности метода, погрешности средств измерений (например, пределы допускаемой основной и дополнительных погрешностей, если их случайные составляющие пренебрежимо малы) и погрешности, вызванные другими источниками. При суммировании составляющих неисключенные систематические погрешности средств измерений рассматриваются как случайные величины. Если их распределение неизвестно, то принимается равномерное распределение и тогда границы неисключенной систематической погрешности результата при числе составляющих $m > 4$ определяют как

$$\theta = \bar{k} \sqrt{\sum_{i=1}^m \theta_i^2}$$

где θ_i – границы отдельных составляющих общим числом m ;

k – коэффициент, равный 1,1 при доверительной вероятности $P=0,95$ и 1,4 при $P=0,99$.

8. Вычисляют доверительные границы погрешности результата. Если выполняется условие $\theta/S_{\bar{X}} > 0,8$, то систематической погрешностью можно пренебречь и определить доверительные границы погрешности результата как доверительные границы случайной погрешности $\Delta = \delta = t_p \cdot S_{\bar{X}}$, при $P=0,95$ (и при $P=0,99$); если же выполняется условие $< 0,8$, то можно пренебречь случайной погрешностью и тогда $\Delta = \theta$ при $P=0,95$ (и $P=0,99$).

Если эти условия не выполняются, то доверительные границы погрешности результата определяют по формуле

$$\Delta = K \cdot S_{\Sigma} ,$$

где K – коэффициент находят из выражения

$$K = \frac{\delta + \theta}{S_{\bar{X}} + S_{\theta}} ,$$

а среднеквадратическое общей погрешности результата находят квадратическим суммированием дисперсии случайной и систематической погрешности результата

$$S_{\Sigma} = \sqrt{S_{\bar{X}}^2 + S_{\theta}^2} .$$

Границы случайной δ и систематической θ погрешности, необходимо выбирать при одной и той же доверительной вероятности $P=0,95$ (или $P=0,99$).

9. Результат измерения записывают в виде $\bar{X} \pm (\Delta; P)$, а при отсутствии сведений о виде функции распределения составляющих погрешности и необходимости дальнейшей обработки результатов и анализа погрешностей – в виде $\bar{X}, S_{\bar{X}}, n, \theta$.

Если полученный при измерениях результат в дальнейшем используется для анализа и сопоставления с другими результатами или является промежуточным для нахождения других величин, то необходимо указать отдельно границы систематической погрешности и среднее квадратическое отклонение случайной погрешности: $\bar{X}, \theta, P, S_{\bar{X}}$.

В некоторых случаях нас может интересовать не сама измеряемая величина, а связанная с ней функциональной зависимостью другая величина.

Требуется найти интервальную или точечную оценку ее истинного значения.

Решается такая задача следующим образом:

Пусть $S = f(Q); Q = \bar{X} \pm t_p \cdot S_{\bar{X}}$ и f – непрерывная дифференцируемая функция в окрестности точки $Q = \bar{X}$.

При проведении точных измерений $t_p S_{\bar{X}} \ll X$.

$$\text{Тогда } S = f(\bar{X}) \pm t_p \cdot S_{\bar{X}} \left(\frac{df}{dQ} \right)_{Q=\bar{X}}.$$

7.2 Обработка неравнорассеянных рядов наблюдений

В практике исследовательских работ часто встречаются ситуации, когда необходимо найти наиболее достоверное значение величины и оценить его возможные отклонения от истинного значения на основании измерений, проводимых разными наблюдателями с применением разнообразных измерительных средств и методов измерений в различных лабораториях или условиях внешней среды.

Ряды получающихся при этом результатов наблюдений называются неравнорассеянными, если оценки их дисперсий значительно отличаются друг от друга, а средние арифметические являются оценками одного и того же значения измеряемой величины.

Если средние неравнорассеянных рядов наблюдений мало отличаются друг от друга, то говорят о высокой воспроизводимости измерений, которая количественно характеризуется параметрами рассеивания результатов.

Рассмотрим некоторые случаи, приводящие к необходимости обработки результатов неравнорассеянных измерений:

1. Если при точных измерениях необходимо убедиться в отсутствии неисклученных систематических погрешностей, то измерения проводятся несколькими исследователями или группами исследователей. Если средние арифметические полученных рядов наблюдений незначительно отличаются друг от друга и ничто не указывает на наличие систематических погрешностей, то заманчиво объединить все полученные результаты и на основе их математической обработки получить более достоверные сведения об измеряемой величине.

2. Аналогичные измерения были выполнены в разных лабораториях различными методами и получены отличающиеся друг от друга результаты. Естественно и в этом случае, используя все имеющиеся данные, попытаться получить более достоверные значения измеряемых величин.

3. Измерения, относящиеся к образцовым мерам и измерительным приборам, часто повторяются через некоторое время. В конце концов накапливаются ряды наблюдений и возникает необходимость объединить их. Точность рядов наблюдений различна, с одной стороны, из-за того, что для впервые проводимых измерений характерно большее рассеивание результатов, а с другой стороны, из-за того, что с течением времени средства измерения стареют или заменяются новыми.

Во всех описанных ситуациях приходится прибегать к методам обработки результатов неравнорассеянных рядов наблюдений, задача которых в общем случае заключается в нахождении наиболее достоверного значения измеряемой величины и оценки воспроизводимости измерений.

Основой для расчета служат следующие данные:

$\bar{X}_1, \bar{X}_2, \dots, \bar{X}_m$ – средние арифметические m рядов равнорассеянных результатов наблюдений постоянной физической величины Q ;

$\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_m$ – среднеквадратические отклонения (или их оценки) результатов наблюдений в отдельных рядах;

n_1, n_2, \dots, n_m – числа наблюдений в каждом ряду;

m – число рядов.

Если результаты наблюдений во всех рядах распределены нормально, то нормально распределены и все m средних арифметических $\bar{X}_j (j=1, 2, \dots, m)$ с дисперсиями $\sigma_{\bar{X}_j}^2 = \sigma_j^2 / n_j$:

$$p_{X_j}(x) = \frac{1}{\sigma_{\bar{X}_j} \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\bar{X}_j - Q)^2}{2\sigma_{\bar{X}_j}^2}}$$

Q – истинное значение измеряемой величины (при условии, что систематические погрешности исключены).

Для практической обработки результатов неравнорассеянных рядов наблюдений необходимо ввести параметр вес отдельных средних арифметических:

$$\alpha_j = 1 / \sigma_{\bar{X}_j}^2 = n_j / \sigma_j^2.$$

Веса характеризуют степень нашего доверия к соответствующим рядам наблюдений. Чем больше число наблюдений в каждом данном ряду и чем меньше дисперсия результатов наблюдений, тем больше степень доверия к полученному при этом среднему арифметическому и с тем большим весом оно будет учтено при определении оценки истинного значения измеряемой величины

$$\bar{X}_0 = \sum_{j=1}^m \alpha_j \bar{X}_j / \sum_{j=1}^m \alpha_j.$$

Иногда удобно пользоваться безразмерными весовыми коэффициентами

$$\alpha_j = \alpha_j / \sum_{j=1}^m \alpha_j = \frac{n_j}{\sigma_j^2} / \sum_{j=1}^m \frac{n_j}{\sigma_j^2},$$

тогда выражение для среднего взвешенного приобретает простой вид

$$\bar{X}_0 = \sum_{j=1}^m \alpha_j \bar{X}_j.$$

В соответствии со свойствами оценок максимального правдоподобия дисперсия среднего взвешенного должна равняться единице, деленной на математическое ожидание второй производной от логарифмической функции правдоподобия:

$$\sigma_{\bar{X}_0}^2 = \left\{ M \left(-\frac{d^2 L}{dQ^2} \right) \right\}^{-1} = 1 / \sum_{i=1}^m \frac{1}{\sigma_{\bar{X}_j}^2}.$$

Отсюда следует, что дисперсия среднего взвешенного меньше дисперсии любого из исходных средних арифметических отдельных рядов наблюдений и поэтому при обработке неравнорассеянных рядов наблюдений точность измерений повышается.

Если теоретические дисперсии $\sigma_{\bar{X}_j}^2$ неизвестны, то пользуются их оценками $S_{\bar{X}_j}^2$, с помощью которых определяют веса или весовые коэффициенты.

При малом числе нормально распределенных результатов наблюдений пользуются распределением Стьюдента с числом степеней свободы

$$k = \left[\left(\sum_{j=1}^m \frac{1}{S_{\bar{X}_j}^2} \right)^2 \right] / \left[\sum_{j=1}^m \frac{1}{n_j + 1} \cdot \frac{1}{S_{\bar{X}_j}^4} - 2 \right].$$

Если же об исходных распределениях нет никаких заслуживающих внимания данных, то на основании центральной предельной теоремы можно все-таки предполагать, что распределение среднего взвешенного нормально, поскольку оно является суммой большого числа случайных величин с конечными дисперсиями и математическими ожиданиями.

Пример. Тремя коллективами экспериментаторов с помощью различных методов измерения были получены следующие значения ускорения свободного падения (со среднеквадратическими отклонениями результатов измерений):

$$g = (981.9190 \pm 0.0004) \text{ см} \cdot \text{с}^{-2};$$

$$g = (981.9215 \pm 0.0016) \text{ см} \cdot \text{с}^{-2};$$

$$g = (981.9230 \pm 0.0020) \text{ см} \cdot \text{с}^{-2}.$$

Весовые коэффициенты отдельных результатов вычислим по формуле:

$$a_1 = \frac{1}{(0.0004)^2} / \left[\frac{1}{(0.0004)^2} + \frac{1}{(0.0016)^2} + \frac{1}{(0.0020)^2} \right] = 0.91;$$

$$a_2 = \frac{1}{(0.0016)^2} / \left[\frac{1}{(0.0004)^2} + \frac{1}{(0.0016)^2} + \frac{1}{(0.0020)^2} \right] = 0.06;$$

$$a_3 = \frac{1}{(0.0020)^2} / \left[\frac{1}{(0.0004)^2} + \frac{1}{(0.0016)^2} + \frac{1}{(0.0020)^2} \right] = 0.03.$$

Средневзвешенное составляет:

$$\bar{X}_0 = 0.91 \cdot 981.9190 + 0.06 \cdot 981.9215 + 0.03 \cdot 981.9230 = 981.9193 \text{ см} \cdot \text{с}^{-2}$$

и его дисперсия

$$\sigma_{\bar{X}_0}^2 = \frac{1}{\frac{1}{(0.0004)^2} + \frac{1}{(0.0016)^2} + \frac{1}{(0.0020)^2}} = 14.51 \cdot 10^{-8} \text{ см}^2 \cdot \text{с}^{-4};$$

$$\sigma_{\bar{X}_0} = 0.00038 \approx 0/0004 \text{ см} \cdot \text{с}^{-2}$$

7.3 Обработка результатов косвенных измерений

При косвенных измерениях значение искомой величины получают на основании известной зависимости, связывающей ее с другими величинами, подвергаемыми прямым измерениям.

Вначале рассмотрим тот простейший случай, когда искомая величина определяется как сумма двух величин Q_x и Q_y :

$$Q_z = Q_x + Q_y \quad (1)$$

Поскольку результаты прямых измерений величин Q_x и Q_y (после исключения систематических погрешностей) включают в себя некоторые случайные погрешности, то формулу косвенного измерения суммы можно переписать в виде

$$\bar{Z} - \lambda_z = \bar{X} - \lambda_x + \bar{Y} - \lambda_y, \quad (2)$$

где \bar{X}, \bar{Y} – средние арифметические (или средние взвешенные), полученные при обработке результатов прямых измерений величин Q_x и Q_y ;

λ_x и λ_y – случайные погрешности средних;

\bar{Z} и λ_z – оценка истинного значения косвенно измеряемой величины и его случайная погрешность.

Из уравнения (2) непосредственно вытекает справедливость двух следующих равенств:

$$\bar{Z} = \bar{X} + \bar{Y} \text{ и } \lambda_z = \lambda_x + \lambda_y,$$

т.е. оценкой истинного значения косвенно измеряемой величины должна служить сумма оценок истинных значений исходных величин, случайные погрешности которых складываются.

Математическое ожидание оценки \bar{Z} равно, очевидно, истинному значению искомой величины:

$$M[\bar{Z}] = M[\bar{X} + \bar{Y}] = M[\bar{X}] + M[\bar{Y}] = Q_x + Q_y = Q_z,$$

а ее дисперсия:

$$\begin{aligned}\sigma_{\bar{Z}}^2 &= D[\bar{Z}] = D[\lambda_Z] = D[\lambda_X + \lambda_Y] = M[(\lambda_X + \lambda_Y)^2] = \\ &= M[\lambda_X^2 + \lambda_Y^2 + 2\lambda_X\lambda_Y] = M[\lambda_X^2] + M[\lambda_Y^2] + 2M[\lambda_X\lambda_Y] = \\ &= \sigma_{\bar{X}}^2 + \sigma_{\bar{Y}}^2 + 2M[\lambda_X\lambda_Y].\end{aligned}$$

Входящее в это выражение математическое ожидание произведения случайных погрешностей называется корреляционным моментом и определяет степень «тесноты» линейной зависимости между погрешностями. Вместо корреляционного момента часто пользуются безразмерной величиной, называемой коэффициентом корреляции:

$$r_{\bar{X}\bar{Y}} = \frac{M[\lambda_X\lambda_Y]}{\sigma_{\bar{X}}\sigma_{\bar{Y}}}.$$

Отсюда следует, что коэффициент корреляции между погрешностями λ_X и λ_Y и средних арифметических равен коэффициенту корреляции между погрешностями δ_X и δ_Y результатов отдельных измерений величин Q_X и Q_Y :

$$r_{\bar{X}\bar{Y}} = r_{XY}.$$

С учетом коэффициента корреляции дисперсия результата косвенных измерений, т.е. оценки истинного значения косвенно измеряемой величины

$$\sigma_{\bar{Z}}^2 = \sigma_{\bar{X}}^2 + \sigma_{\bar{Y}}^2 + 2r_{XY}\sigma_{\bar{X}}\sigma_{\bar{Y}}.$$

Если погрешности измерения величин Q_X и Q_Y не коррелированы, то выражение упрощается:

$$\sigma_{\bar{Z}}^2 = \sigma_{\bar{X}}^2 + \sigma_{\bar{Y}}^2, \quad \sigma_{\bar{Z}} = \sqrt{\sigma_{\bar{X}}^2 + \sigma_{\bar{Y}}^2}.$$

В тех случаях, когда теоретические дисперсии распределения результатов прямых измерений неизвестны, определяется оценка дисперсии $s_{\bar{Z}}^2$ результата косвенных измерений через оценки дисперсий $s_{\bar{X}}^2$ и $s_{\bar{Y}}^2$:

$$s_{\bar{Z}}^2 = s_{\bar{X}}^2 + s_{\bar{Y}}^2 + 2\hat{r}_{XY}s_{\bar{X}}s_{\bar{Y}}.$$

Оценки коэффициента корреляции вычисляются на основании результатов прямых измерений исходных величин:

$$\hat{r}_{XY} = \frac{1}{s_{\bar{X}}s_{\bar{Y}}} \sum_{i=1}^m (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y}),$$

$m = \min(n_X, n_Y)$ – наименьшее из чисел наблюдений n_X и n_Y .

При положительной корреляции, т.е. когда $r_{XY} > 0$, одна из погрешностей имеет тенденцию возрасти при увеличении другой, если же корреляция отрицательна $r_{XY} < 0$, то и погрешность измерения одной величины обнаруживает тенденцию к уменьшению при увеличении погрешности измерения другой величины. Возможные значения коэффициента корреляции лежат в интервале $-1 < r_{XY} < +1$.

Если $r_{XY} = 0$, то погрешности измерения некоррелированы.

О наличии корреляции удобно судить по графику, на котором в координатах X, Y изображены пары последовательно получаемых результатов измерения величин Q_X и Q_Y .

На *рис.7.1* изображены случаи совместного распределения результатов измерения при положительной (*а*) и отрицательной (*б*) корреляции. Результаты измерений на (*в*) некоррелированы.

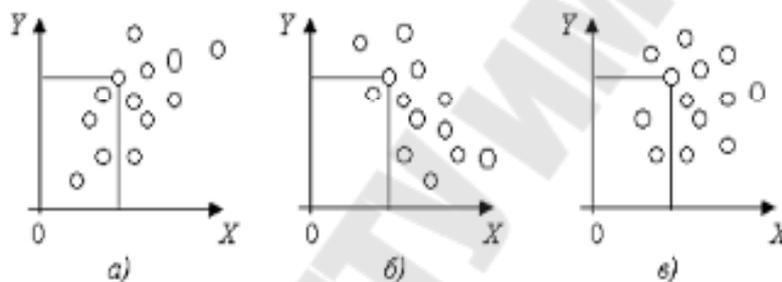


Рис. 7.1. Случаи совместного распределения результатов измерения при положительной (*а*) и отрицательной (*б*) корреляции, результаты измерений на (*в*) некоррелированы

Чаще всего наличия корреляции следует ожидать в тех случаях, когда обе величины измеряются одновременно однотипными измерительными средствами, причем неуловимые изменения внешних воздействий (электрических, магнитных, температурных и других полей, условий питания) одновременно заметно влияют на формирование случайных погрешностей их измерения. В некоторых случаях причинной корреляции между результатами измерений может стать сам оператор, поскольку при некоторых исследованиях, связанных с ручным уравниванием приборов сравнения (сличением мер на точных весах, в фотометрии), искусство и опыт наблюдателя оказывают значительное влияние на результаты измерений. В тех же случаях, когда исходные величины измеряют с помощью различных средств измерения в разное время, можно с полным правом ожидать, что результаты, если и будут коррелированы, то очень мало, и коэффициентом корреляции можно пренебречь.

Распределение результата косвенных измерений будет нормальным, если нормальны распределения результатов прямых измерений. В этих условиях для построения доверительного интервала, покрывающего истинное значение измеряемой величины, следует применить нормированную функцию нормального распределения, если число измерений достаточно велико. Если же объемы рядов прямых измерений недостаточно велики, то можно воспользоваться распределением Стьюдента с некоторым «эффективным» числом степеней свободы, которое для рассматриваемого случая при независимости погрешностей измерения ($r_{XY} = 0$) подсчитывается по формуле

$$k_{\text{эфф}} = \frac{\left(s_{\bar{X}}^2 + s_{\bar{Y}}^2\right)^2}{\frac{s_{\bar{X}}^4}{n_X + 1} + \frac{s_{\bar{Y}}^4}{n_Y + 1}} - 2 = \frac{s_{\bar{Z}}^4}{\frac{s_{\bar{X}}^4}{n_X + 1} + \frac{s_{\bar{Y}}^4}{n_Y + 1}} - 2$$

где n_X и n_Y – числа прямых наблюдений величин Q_X и Q_Y .

Если числа наблюдений одинаковы ($n_X = n_Y = n$), то выражение для эффективного числа степеней свободы распределения Стьюдента упрощается:

$$k_{\text{эфф}} = (n + 1) \frac{s_{\bar{Z}}^4}{s_{\bar{X}}^4 + s_{\bar{Y}}^4} - 2.$$

Итоговый результат измерений записываем в виде:

$$Q_Z = \bar{Z} \pm t_p s_{\bar{Z}},$$

где t_p определяется из выражения:

$$P\left(|\bar{Z} - Q_Z| < t_p s_{\bar{Z}}\right) = 2\Phi(t_p) - 1$$

или

$$P\left(|\bar{Z} - Q_Z| < t_p s_{\bar{Z}}\right) = 2 \int_0^{t_p} S(t, k_{\text{эфф}}) dt.$$

Рассмотренные выражения можно использовать и в том случае, когда искомая величина является суммой от измеряемых прямыми способами величин:

$$Q_0 = \sum_{j=1}^m Q_j.$$

К такой формуле приходим при измерении больших величин по частям, например при измерении длин с помощью концевых мер длины, взвешивании с применением набора гирь, измерении на электрических приборах сравнения с помощью магазинов сопротивлений,

емкостей или индуктивностей, измерении объемов жидкостей мерниками меньшей вместимости и так далее. В этих случаях в качестве наиболее достоверной оценки истинного значения измеряемой величины Q_0 принимается сумма оценок истинных значений слагаемых:

$$\hat{Q}_0 = \sum_{j=1}^m \hat{Q}_j$$

Пример. Без учета поправки на теплообмен подъем температуры Δt в калориметре определяют как разность между t_2 конечной и t_1 начальной температурами.

После обработки опытных данных были получены следующие (округленные) результаты с соответствующими среднеквадратическими отклонениями:

$$t_1 = 25.10718 \text{ }^\circ\text{C}, s_1 = 0.6 \cdot 10^{-4} \text{ }^\circ\text{C},$$

$$t_2 = 27.10739 \text{ }^\circ\text{C}, s_2 = 0.3 \cdot 10^{-4} \text{ }^\circ\text{C}.$$

Результат косвенного измерения находим как разность соответствующих средних арифметических:

$$\bar{\Delta t} = \bar{t}_2 - \bar{t}_1 = 27.10739 - 25.10718 = 2.00021 \text{ }^\circ\text{C},$$

а среднеквадратическое отклонение результата:

$$\sigma_{\Delta t} = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2} = \sqrt{0.6 \cdot 10^{-8} + 0.3 \cdot 10^{-8}} = 0.7 \cdot 10^{-4} \text{ }^\circ\text{C}.$$

Итог измерения:

$$\Delta t = (2.00021 \pm 0.00007)^\circ\text{C}, P = 0.6826.$$

7.4 Критерии ничтожных погрешностей

Не все частные погрешности E_k косвенного измерения играют одинаковую роль в формировании итоговой погрешности результата. Так, например, если частные погрешности удовлетворяют неравенству $E_k < 0.3s_{\bar{X}_Q}$, то ими можно пренебречь.

Эта формула в метрологии называется критерием ничтожных погрешностей, а сами погрешности, отвечающие условию, называются ничтожными или ничтожно малыми.

Использование критерия ничтожных погрешностей при решении задачи косвенных измерений позволяет найти те величины, повышение точности измерения которых позволит уменьшить суммарную погрешность результата. Очевидно, не имеет смысла повышать

точность измерения тех величин, частные погрешности которых и без того ничтожно малы.

Тема 8. Средства измерений. Погрешности средств измерений

*Все можно наладить, если вертеть
в руках достаточно долго...*

Вопросы лекции:

- Метрологические характеристики средств измерений
- Нормирование метрологических характеристик средств измерений
- Классы точности средств измерений
- Регулировка и градуировка средств измерений
- Калибровка средств измерений
- Общие методы измерений

8.1 Метрологические характеристики средств измерений

Все средства измерений, независимо от их конкретного исполнения, обладают рядом общих свойств, необходимых для выполнения ими их функционального назначения.

Технические характеристики, описывающие эти свойства и оказывающие влияние на результаты и на погрешности измерений, называются метрологическими характеристиками.

Перечень важнейших из них регламентируется ГОСТ «Нормируемые метрологические характеристики средств измерений».

Комплекс нормируемых метрологических характеристик устанавливается таким образом, чтобы с их помощью можно было оценить погрешность измерений, осуществляемых в известных рабочих условиях эксплуатации посредством отдельных средств измерений или совокупности средств измерений, например автоматических измерительных систем.

Одной из основных метрологических характеристик измерительных преобразователей является *статическая характеристика преобразования* (иначе называемая функцией преобразования или градуировочной характеристикой). Она устанавливает зависимость $y = f(x)$ информативного параметра y выходного сигнала измерительного преобразователя от информативного параметра x входного сигнала.

Статическая характеристика нормируется путем задания в форме уравнения, графика или таблицы. Понятие статической характеристики применимо и к измерительным приборам, если под независимой переменной x понимать значение измеряемой величины или информативного параметра входного сигнала, а под зависимой величиной – показание прибора.

Если статическая характеристика преобразования линейна, т.е. $y = Kx$, то коэффициент K называется чувствительностью измерительного прибора (преобразователя). В противном случае под чувствительностью следует понимать производную от статической характеристики.

Важной характеристикой шкальных измерительных приборов является цена деления, т.е. то изменение измеряемой величины, которому соответствует перемещение указателя на одно деление шкалы.

Если чувствительность постоянна в каждой точке диапазона измерения, то шкала называется *равномерной*.

При неравномерной шкале нормируется наименьшая цена деления шкалы измерительных приборов. У цифровых приборов шкалы в явном виде нет, и на них вместо цены деления указывается цена единицы младшего разряда числа в показании прибора.

Важнейшей метрологической характеристикой средств измерений является погрешность.

Под абсолютной погрешностью меры понимается алгебраическая разность между ее номинальным X_n и X_d действительным значениями:

$$D = X_n - X_d,$$

а под *абсолютной погрешностью измерительного прибора* – разность между его показанием X_n и действительным значением X_d измеряемой величины.

Абсолютная погрешность измерительного преобразователя может быть выражена в единицах входной или выходной величины. В единицах входной величины абсолютная погрешность преобразовате-

ля определяется как разность между значением входной величины X , найденной по действительному значению выходной величины и номинальной статической характеристике преобразователя, и действительным значением X_0 входной величины:

$$D = X - X_0.$$

Однако в большей степени точность средства измерений характеризует относительная погрешность, т.е. *выраженное в процентах отношение абсолютной погрешности к действительному значению измеряемой или воспроизводимой данным средством измерений величины*:

$$\delta = \frac{100 \cdot DX}{X_0}.$$

Обычно $\delta \ll 1$, поэтому в формулу вместо действительного значения часто может быть подставлено номинальное значение меры или показание измерительного прибора.

Если диапазон измерения прибора охватывает и нулевое значение измеряемой величины, то относительная погрешность обращается в бесконечность в соответствующей ему точке шкалы. В этом случае пользуются понятием приведенной погрешности, равной отношению абсолютной погрешности измерительного прибора к некоторому нормирующему значению X_n .

В качестве нормирующего значения принимается значение, характерное для данного вида измерительного прибора. Это может быть, например, диапазон измерений, верхний предел измерений, длина шкалы и т.д.

Погрешности измерительных средств принято подразделять на *статические*, имеющие место при измерении постоянных величин после завершения переходных процессов в элементах приборов и преобразователей, и *динамические*, появляющиеся при измерении переменных величин и обусловленные инерционными свойствами средств измерений.

Согласно общей классификации, статические погрешности измерительных средств делятся на систематические и случайные.

Между погрешностями схемы и технологическими погрешностями средств измерений существует принципиальная разница. Если первые накладывают свой отпечаток на характер изменения по шкале суммарной погрешности всех средств измерений данного типоразмера, то технологические погрешности индивидуальны для каждого эк-

земпляра, т. е. их значения в одних и тех же точках шкалы различны для различных экземпляров приборов.

Для средств измерений, являющихся линейными динамическими системами с постоянными во времени параметрами, наиболее общая характеристика динамических свойств – это дифференциальное уравнение. В этом случае уравнение линейное с постоянными коэффициентами:

$$\sum_{i=1}^n a_i y^{(i)}(t) = \sum_{j=0}^m b_j x^{(j)}(t),$$

где $y^{(i)}(t)$ и $x^{(j)}(t)$ – i -е и j -е производные входного и выходного сигналов; a_i и b_j – постоянные коэффициенты, n и m – порядок левой и правой частей уравнения, причем $n < m$.

Дифференциальное уравнение является метрологической характеристикой средств измерения, поскольку позволяет при известном сигнале на входе $x(t)$ найти выходной сигнал $y(t)$ и вычислить динамическую погрешность.

Для нормирования динамических свойств средств измерения часто указывают на дифференциальное уравнение, а другие, *производные от него* динамические характеристики, находятся *экспериментальным путем*. Сюда относятся передаточная функция, амплитудная и фазовая частотные характеристики, переходная и импульсная переходная функции.

К числу метрологических характеристик средств измерения относятся и неинформативные параметры выходного сигнала измерительного преобразователя, поскольку они могут оказывать существенное влияние на погрешность средства измерений. Например, непостоянство амплитуды колебаний баланса наручных часов (неинформативный параметр) приводит к изменению частоты его колебаний (информативный параметр).

При восприятии измеряемой величины или измерительного сигнала средство измерений оказывает некоторое воздействие на объект измерения или на источник сигнала.

Результатом этого воздействия может быть некоторое изменение измеряемой величины относительно того значения, которое имело место при отсутствии средства измерений. Такое обратное воздействие средства измерений на объект измерений особенно четко просматривается при измерении электрических величин. Так, ЭДС нормального элемента определяется как напряжение на его зажимах в

режиме холостого хода. При измерении этого напряжения вольтметром с некоторым конечным входным сопротивлением результат измерения будет зависеть от соотношения между внутренним сопротивлением нормального элемента (его выходное сопротивление) и входным сопротивлением вольтметра. Для оценки, возникающей при этом погрешности, необходимо знать значения этих сопротивлений, поэтому их следует рассматривать как метрологические характеристики.

Влияние внешних воздействий и неинформативных параметров сигналов (влияющих величин) описывается с помощью метрологических характеристик, называемых функциями влияния. *Функция влияния* $\psi(\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_q)$ – это зависимость соответствующей метрологической характеристики из числа вышеперечисленных от влияющих величин $\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_q$ (температуры внешней среды, параметров внешних вибраций и т.д.). В большинстве случаев можно ограничиться набором функций влияния каждой из влияющих величин

$$\psi(\xi_1), \psi(\xi_2), \dots, \psi(\xi_q),$$

но иногда приходится использовать функции совместного влияния нескольких величин, если изменение одной из влияющих величин приводит к изменению функции влияния другой.

8.2 Нормирование метрологических характеристик средств измерений

Под нормированием понимается установление границ на допустимые отклонения реальных метрологических характеристик средств измерений от их номинальных значений.

Только посредством нормирования метрологических характеристик можно добиться их взаимозаменяемости и обеспечить единство измерений в государстве. Реальные значения метрологических характеристик определяют при изготовлении средств измерений и затем проверяют периодически во время эксплуатации. Если при этом хотя бы одна из метрологических характеристик выходит за установленные границы, то такое средство измерений либо подвергают регулировке, либо изымают из обращения.

Нормы на значения метрологических характеристик устанавливаются стандартами на отдельные виды средств измерения. При этом

делается различие между *нормальными и рабочими условиями* применения средств измерения.

Нормальными считаются такие условия применения средств измерений, при которых влияющие на процесс измерения величины (температура, влажность, частота, напряжение питания, внешние магнитные поля и т.д.), а также неинформативные параметры входных и выходных сигналов находятся в нормальной для данных средств измерений области значений, т.е. в такой области, где их влиянием на метрологические характеристики можно пренебречь. Нормальные области значений влияющих величин указываются в стандартах или технических условиях на средства измерений данного вида в форме номиналов с нормированными отклонениями, например, температура должна составлять $20 \pm 2^\circ\text{C}$, напряжение питания – $220 \text{ В} \pm 10\%$ или в форме интервалов значений (влажность 30 – 80 %).

Рабочая область значений влияющих величин шире нормальной области значений. В ее пределах метрологические характеристики существенно зависят от влияющих величин, однако их изменения нормируются стандартами на средства измерений в форме функций влияния или наибольших допустимых изменений. За пределами рабочей области метрологические характеристики принимают неопределенные значения.

Для нормальных условий эксплуатации средств измерений должны нормироваться характеристики суммарной погрешности и ее систематической и случайной составляющих. Суммарная погрешность Δ средств измерений в нормальных условиях эксплуатации называется ***основной погрешностью*** и нормируется заданием предела допускаемого значения Δ_d , т.е. того наибольшего значения, при котором средство измерений еще может быть признано годным к применению.

Перечисленные метрологические характеристики следует нормировать не только для нормальной, но и для всей рабочей области эксплуатации средств измерений, если их колебания, вызванные изменениями внешних влияющих величин и неинформативных параметров входного сигнала в пределах рабочей области, существенно меньше номинальных значений. В противном случае эти характеристики нормируются только для нормальной области, а в рабочей области нормируются дополнительные погрешности путем задания функций влияния $\psi(\xi)$ или наибольших допустимых изменений $\Delta l(\xi)$ отдельно для каждого влияющего фактора; в случае необходимости

– и для совместного изменения нескольких факторов. Функции влияния нормируются формулой, числом, таблицей или задаются в виде номинальной функции влияния и предела допускаемых отклонений от нее.

Для используемых по отдельности средств измерений, точность которых заведомо превышает требуемую точность измерений, нормируются только пределы Δd допускаемого значения суммарной погрешности и наибольшие допустимые изменения метрологических характеристик. Если же точность средств измерений соизмерима с требуемой точностью измерений, то необходимо нормировать раздельно характеристики систематической и случайной погрешности и функции влияния. Только с их помощью можно найти суммарную погрешность в рабочих условиях применения средств измерений.

Динамические характеристики нормируются путем задания номинального дифференциального уравнения или передаточной, переходной, импульсной весовой функции. Одновременно нормируются наибольшие допустимые отклонения динамических характеристик от номинальных.

8.3 Классы точности средств измерений

Класс точности – это обобщенная характеристика средств измерений, определяемая пределами допускаемых основных и дополнительных погрешностей, а также рядом других свойств, влияющих на точность осуществляемых с их помощью измерений. Классы точности регламентируются стандартами на отдельные виды средств измерения с использованием метрологических характеристик и способов их нормирования, изложенных в предыдущих главах.

Стандарт не распространяется на средства измерений, для которых предусматриваются отдельные нормы на систематическую и случайные составляющие, а также на средства измерений, для которых нормированы номинальные функции влияния, а измерения проводятся без введения поправок на влияющие величины. Классы точности не устанавливаются и на средства измерений, для которых существенное значение имеет динамическая погрешность.

Для остальных средств измерений обозначение классов точности вводится в зависимости от способов задания пределов допускаемой основной погрешности.

Пределы допускаемой абсолютной основной погрешности могут задаваться либо в виде одночленной формулы

$$\Delta = \pm a,$$

либо в виде двухчленной формулы

$$\Delta = \pm(a + bx),$$

где Δ и x выражаются одновременно либо в единицах измеряемой величины, либо в делениях шкалы измерительного прибора.

Более предпочтительным является задание пределов допускаемых погрешностей в форме приведенной или относительной погрешности.

Пределы допускаемой приведенной основной погрешности нормируются в виде одночленной формулы

$$\gamma = \frac{\Delta}{X_n} = \pm p,$$

где число $p = 1 \cdot 10^n, 1.5 \cdot 10^n, 2 \cdot 10^n, 2.5 \cdot 10^n, 4 \cdot 10^n, 5 \cdot 10^n, 6 \cdot 10^n$ ($n = 1, 0, -1, -2 \dots$).

Пределы допускаемой относительной основной погрешности могут нормироваться одночленной формулой

$$\delta = \frac{\Delta}{x} = \pm q.$$

В обоснованных случаях пределы допускаемой абсолютной или относительной погрешности можно нормировать по более сложным формулам или даже в форме графиков или таблиц.

Средствам измерений, пределы допускаемой основной погрешности которых задаются относительной погрешностью по одночленной формуле, присваивают классы точности, выбираемые из ряда чисел p и равные соответствующим пределам в процентах. Для средства

измерений с $\delta=0,002$ класс точности обозначается $\textcircled{0.2}$.

Классы точности средств измерений, для которых пределы допускаемой основной приведенной погрешности нормируются по формуле $\Delta = \pm(a + bx)$ обозначаются одной цифрой, выбираемой из ряда для чисел p и выраженной в процентах. Если, например, $\gamma = \pm 0.005 = \pm 0.5\%$, то класс точности обозначается как 0.5 (без кружка).

8.4 Регулировка и градуировка средств измерений

Используя методы теории точности, всегда можно найти такие допуски на параметры элементов измерительного прибора, соблюдение которых гарантировало бы и без регулировки получение их с погрешностями, меньшими допустимых пределов. Однако во многих случаях эти допуски оказываются настолько малы, что изготовление прибора с заданными пределами допускаемых погрешностей становится технологически неосуществимым. Выйти из положения можно двумя путями: во-первых, расширить допуски на параметры некоторых элементов приборов и ввести в его конструкцию дополнительные регулировочные узлы, способные компенсировать влияние отклонений этих параметров от их номинальных значений, а во-вторых, осуществить специальную градуировку измерительного прибора.

В большинстве случаев в измерительном приборе можно найти или предусмотреть такие элементы, вариация параметров которых наиболее заметно сказывается на его систематической погрешности, главным образом погрешности схемы, аддитивной и мультипликативной погрешностях.

В общем случае в конструкции измерительного прибора должны быть предусмотрены два регулировочных узла: регулировка нуля и регулировка чувствительности. Регулировкой нуля уменьшают влияние аддитивной погрешности, постоянной для каждой точки шкалы, а регулировкой чувствительности уменьшают мультипликативные погрешности, меняющиеся линейно с изменением измеряемой величины. При правильной регулировке нуля и чувствительности уменьшается влияние погрешности схемы прибора. Кроме того, некоторые приборы снабжаются устройствами для регулировки погрешности схемы.

После регулировки нуля, т.е. устранения аддитивной погрешности, систематическая погрешность обращается в нуль на нижнем пределе измерения, а в диапазоне измерения принимает значения, являющиеся случайной функцией измеряемой величины.

Более высокими метрологическими характеристиками обладают измерительные приборы, имеющие узел регулировки чувствительности. Наличие такой регулировки позволяет поворачивать статическую характеристику, что открывает большие возможности для снижения погрешности схемы и, главным образом, мультипликативной погрешности. Так, *одновременной регулировкой нуля и чувствительности можно свести систематическую погрешность к нулю сразу в не-*

скольких точках шкалы прибора. От правильности выбора таких точек зависят значения оставшихся после регулировки систематических погрешностей в других точках шкалы.

Теория регулировки должна дать ответ на вопрос, какие точки шкалы следует выбрать в качестве точек регулировки. Однако общего решения этой задачи еще не найдено. Трудность решения усугубляется тем, что положение этих точек на шкале определяется не только схемой и конструкцией прибора, но и технологией изготовления его элементов и узлов.

На практике в качестве точек регулировки принимают начальное и конечное, среднее и конечное или начальное, среднее и конечное значения измеряемой величины в диапазоне измерения. При этом значения систематической погрешности близки к минимально возможным, поскольку в действительности точки регулировки часто располагаются близко к началу, середине или концу шкалы.

Таким образом, под регулировкой средств измерения понимается совокупность операций, имеющих целью уменьшить основную погрешность до значений, соответствующих пределам ее допускаемых значений путем *компенсации систематической составляющей погрешности средств измерений, т.е. погрешности схемы, мультипликативной и аддитивной погрешностей.*

Градуировкой называется процесс нанесения отметок на шкалы средств измерений, а также определение значений измеряемой величины, соответствующих уже нанесенным отметкам для составления градуировочных кривых или таблиц.

Различают следующие способы градуировки:

1. *Использование типовых шкал.* Для подавляющего большинства рабочих и многих образцовых приборов используют типовые шкалы, которые изготавливаются заранее в соответствии с уравнением статической характеристики идеального прибора. Если статическая характеристика линейна, то шкала оказывается равномерной. При регулировке параметрам элементов прибора экспериментально придают такие значения, при которых погрешность в точках регулировки становится равной нулю.

2. *Индивидуальная градуировка шкал.* Индивидуальную градуировку шкал осуществляют в тех случаях, когда статическая характеристика прибора нелинейна или близка к линейной, но характер изменения систематической погрешности в диапазоне измерения случайным образом меняется от прибора к прибору данного типа (на-

пример, вследствие разброса нелинейности характеристик чувствительного элемента) так, что регулировка не позволяет уменьшить основную погрешность до пределов ее допускаемых значений.

3. *Градуировка условной шкалы.* Условной называется шкала, снабженная некоторыми условными равномерно нанесенными делениями, например, через миллиметр или угловой градус. Градуировка шкалы состоит в определении при помощи образцовых мер или измерительных приборов значений измеряемой величины. В результате определяют зависимость числа делений шкалы, пройденных указателем от значений измеряемой величины. Эту зависимость представляют в виде таблицы или графика. Если необходимо избавиться и от погрешности обратного хода, градуировку осуществляют отдельно при прямом и обратном ходе.

Индивидуальную градуировку проводят в следующем порядке.

На предварительно отрегулированном приборе устанавливают циферблат с еще не нанесенными отметками. К измерительному прибору подводят последовательно измеряемые величины нескольких, наперед заданных или выбранных значений. На циферблате наносят отметки, соответствующие положениям указателя при этих значениях измеряемой величины, а расстояния между отметками делят на равные части.

При индивидуальной градуировке систематическая погрешность уменьшается во всем диапазоне измерения, а в точках, полученных при градуировке она достигает значения, равного погрешности обратного хода.

8.5 Калибровка средств измерений

По мере продвижения вверх по поверочной схеме от рабочих мер и измерительных приборов к эталонам неизбежно сокращается число мер, различных по номинальному значению. Поэтому на некоторой ступени поверочной схемы иногда разность номинальных значений поверяемой и ближайшей к ней по разряду исходной меры превышает диапазон измерения измерительного прибора соответствующей данному разряду точности. В этих случаях поверка осуществляется способом калибровки.

Калибровка – способ поверки измерительных средств, заключающийся в сравнении различных мер, их сочетаний или отметок

шкал в различных комбинациях и вычислении по результатам сравнений значений отдельных мер или отметок шкалы исходя из известного значения одной из них.

В результате сравнения получают систему уравнений, решив которую находят действительные значения мер. Если число уравнений равно числу поверяемых мер, то действительные значения мер и погрешности их аттестации находят с помощью методов обработки результатов косвенных измерений. Однако для повышения точности аттестации мер стремятся увеличить число уравнений, и тогда действительные значения мер определяют по схеме обработки результатов совокупных измерений.

Рассмотрим следующий пример

Граммовые наборы ГН1 и ГН2, состоящие из гирь массой 500, 200, 200*, 100, 50, 20, 20*, 10, 5, 2, 2*, 1 г (звездочкой отмечены вторые гири набора того же номинала), сличают с рабочим эталоном массой в 1 кг по следующей схеме:

а) рабочий эталон 1 кг = 1000 г сличают одним из методов точного взвешивания на весах 1-го разряда повышенной точности с гирями массой 500, 200, 200*, 100 г:

$1000 - (500+200+200^*+100) = a_1$, где a_1 – разность между массой рабочего эталона и массой суммы гирь;

б) гири 500 г набора сличают с суммой гирь массой 200, 200* и 100 г, в результате чего получают уравнение

$500 - (200 + 200^* + 100) = a_2$, где a_2 – результат второго сличения;

в) аналогично проводят остальные сличения и получают уравнения:

$$200 - (100 + 50 + 20 + 20^* + 10) = a_3,$$

$$100 - (50 + 20 + 20^* + 10) = a_4,$$

$$50 - (20 + 20^* + 10) = a_5,$$

$$20 - (10 + 5 + 2 + 2^* + 1) = a_6,$$

$$20 - (10 + 5 + 2 + 2^* + 1) = a_7,$$

$$10 - (5 + 2 + 2^* + 1) = a_8,$$

$$5 - (2 + 2^* + 1) = a_9,$$

$$2 - (1 + 1^*) = a_{10},$$

$$2 - (1 + 1^*) = a_{11},$$

$$1 - 1^* = a_{12}.$$

В результате ДВЕНАДЦАТИ проведенных сличений получили систему из ДВЕНАДЦАТИ уравнений с тринадцатью неизвестными.

Решив эту систему, найдем действительные значения масс гирь набора. Погрешности определения действительных значений могут быть вычислены способами обработки результатов косвенных измерений.

8.6 Общие методы измерений

Для точных измерений величин в метрологии разработаны приемы использования принципов и средств измерений, применение которых позволяет исключить из результатов измерений ряд систематических погрешностей и тем самым освобождает экспериментатора от необходимости определять многочисленные поправки для их компенсации, а в некоторых случаях вообще является предпосылкой получения сколько-нибудь достоверных результатов. Многие из этих приемов используют при измерении только определенных величин, однако существуют и некоторые общие приемы, названные методами измерения.

Наиболее просто реализуется метод непосредственной оценки, заключающийся в определении величины непосредственно по отсчетному устройству измерительного прибора прямого действия, например взвешивание на циферблатных весах, определение размера детали с помощью микрометра или измерение давления пружинным манометром.

Измерения с помощью этого метода проводятся очень быстро, просто и не требуют высокой квалификации оператора, поскольку не нужно создавать специальные измерительные установки и выполнять какие-либо сложные вычисления. Однако точность измерений чаще всего оказывается невысокой из-за погрешностей, связанных с необходимостью градуировки шкал приборов и воздействием влияющих величин (непостоянство температуры, нестабильность источников питания и пр.).

При проведении наиболее точных измерений предпочтение отдается различным модификациям метода сравнения с мерой, при котором измеряемую величину находят сравнением с величиной, воспроизводимой мерой. Результат измерения либо вычисляют как сумму значения используемой для сравнения меры и показания измерительного прибора, либо принимают равным значению меры.

Метод сравнения с мерой, заключающийся в том, что измеряемая величина и величина, воспроизводимая мерой, одновременно воздействуют на измерительный прибор сравнения, с помощью кото-

рого устанавливается соотношение между ними, называется методом противопоставления.

Примером этого метода является взвешивание груза на равноплечих весах, когда измеряемая масса определяется как сумма массы гирь, ее уравнивающих. Применение метода противопоставления позволяет значительно уменьшить воздействие на результаты измерений влияющих величин, поскольку они более или менее одинаково искажают сигналы измерительной информации как в цепи преобразования измеряемой величины, так и в цепи преобразования величины, воспроизводимой мерой. Отсчетное устройство прибора сравнения реагирует на разность сигналов, вследствие чего эти искажения в некоторой степени компенсируют друг друга.

Разновидностью метода сравнения с мерой является также *нулевой метод измерения*, который состоит в том, что подбором размера воспроизводимой мерой величины или путем ее принудительного изменения эффект воздействия сравниваемых величин на прибор сравнения доводят до нуля.

В этом случае компенсация воздействий влияющих величин оказывается более полной, а значение измеряемой величины принимается равным значению меры.

При *дифференциальном методе измерения на измерительный прибор* (не обязательно прибор сравнения) подается непосредственно разность измеряемой величины и величины, воспроизводимой мерой. Этот метод может быть использован, конечно, только в тех случаях, когда просто и точно реализуется операция вычитания величин (длины, перемещения, электрические напряжения). *Дифференциальный метод* неприменим при измерении таких величин, как температура или твердость тел.

К разновидностям метода сравнения с мерой относится и *метод замещения*, широко применяемый в практике точных метрологических исследований.

Сущность метода в том, что измеряемая величина замещается в измерительной установке некоторой известной величиной, воспроизводимой мерой. Замещение может быть *полным* или *неполным*, в зависимости от чего говорят о методе полного или неполного замещения.

При *полном замещении* показания не изменяются и результат измерения принимается равным значению меры.

При *неполном замещении* для получения значения измеряемой величины к значению меры следует прибавить величину, на которую изменилось показание прибора.

Преимущество *метода замещения* – в последовательном во времени сравнении измеряемой величины и величины, воспроизводимой мерой. Благодаря тому, что обе эти величины включаются одна за другой в одну и ту же часть измерительной цепи прибора, точностные возможности измерений значительно повышаются по сравнению с измерениями, проводящимися с помощью других разновидностей метода сравнения, где несимметрия цепей, в которые включаются сравниваемые величины, приводит к возникновению систематических погрешностей.

Способ замещения применяется при *электрических измерениях с помощью мостов переменного тока*, условие равновесия которых определяется не только значениями величин, воспроизводимых элементами плеч моста, но также и влиянием паразитных токов, емкостей, индуктивностей и рядом других факторов.

Эти причины вызывают появление погрешностей, которые могут быть исключены, если проводить измерения *методом замещения*:

- вначале мост уравнивается с включенной в его цепь измеряемой величиной
- затем измеряемой величиной замещается известной величиной, и мост уравнивается вновь.

Если при этом никаких изменений ни в мосте, ни во внешних условиях не происходит, то указанные выше погрешности исключаются почти полностью.

Одним из общих методов измерений является метод совпадений, представляющий собой разновидность *метода сравнения с мерой*. При проведении измерений методом совпадений разность между измеряемой величиной и величиной, воспроизводимой мерой, измеряют, используя совпадение отметок шкал или периодических сигналов.

По принципу метода совпадений построен нониус, входящий в состав ряда измерительных приборов. Так, например, шкала нониуса штангенциркуля имеет десять делений через 0.9 мм. Когда нулевая отметка шкалы нониуса оказывается между отметками основной шкалы штангенциркуля, это означает, что к целому числу миллиметров необходимо добавить число десятых долей миллиметра, равное порядковому номеру совпадающей отметки нониуса.

В рамках перечисленных выше методов измерений в метрологической практике и в общем приборостроении часто применяются *специальные приемы для исключения самих источников систематических погрешностей или их компенсации*. Рассмотрим наиболее употребительные из этих приемов.

Параметрическая стабилизация очень широко применяется при ответственных измерениях. Этот прием используют для поддержания в заданных пределах температуры и влажности окружающей среды, напряжения питания и других. Наиболее распространены такие способы параметрической стабилизации, как термостатирование приборов, защита от воздействия вибраций, использование эффективных стабилизаторов в цепях электропитания приборов, экранирование приборов для защиты их от воздействия посторонних электрических, магнитных, радиационных и других полей.

Применение этих способов иногда позволяет избежать введения в результаты измерения поправок.

Способ компенсации постоянных и периодических погрешностей по знаку. При реализации этого способа процесс измерения строится таким образом, что постоянная систематическая погрешность входит в результат измерения один раз с одним знаком, а другой раз – с другим. Тогда среднее из двух полученных результатов оказывается свободным от постоянной погрешности.

Способ вспомогательных измерений применяется в тех случаях, когда воздействие влияющих величин на результаты измерений вызывает большие погрешности измерений. Тогда идут на заведомое усложнение схемы измерительной установки, включая в нее элементы, воспринимающие значение влияющих величин, автоматически вычисляющие соответствующие поправки и вносящие их в полезные сигналы, которые поступают на отсчетные или регулирующие устройства.

Способ вспомогательных измерений в большой степени относится к инструментальным методам борьбы с систематическими погрешностями, поэтому в рамках настоящего курса не рассматривается.

Тема 9. ОРГАНИЗАЦИЯ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ. МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ (МО)

*Только тот, кто планирует,
и может организовывать ...*

Вопросы лекции:

- Государственная система обеспечения единства измерений
- Цели, задачи и содержание МО
- Система эталонов единиц ФВ
- Метрологический надзор за средствами измерений
- Виды поверок и способы их выполнения
- Достоверность поверки

9.1 Государственная система обеспечения единства измерений

Принципы обеспечения единства измерений:

- применение только узаконенных единиц физических величин (ФВ);
- воспроизведение ФВ с помощью государственных эталонов;
- применение узаконенных средств измерений, которые прошли государственные испытания и которым переданы размеры единиц ФВ от государственных эталонов;
- обязательный периодический контроль через установленные промежутки времени характеристик применяемых средств измерений;
- гарантия обеспечения необходимой точности измерений при использовании поверенных средств измерений и аттестованных методик выполнения измерений;
- использование результатов измерений только при условии оценки их погрешности с заданной вероятностью;
- систематический контроль за соблюдением метрологических правил и норм, государственный надзор и ведомственный контроль за средствами измерений.

9.2 Цели, задачи и содержание МО

Из необходимости обеспечения единства и требуемой точности измерений формулируются задачи МО всех видов метрологической деятельности на общегосударственном и ведомственном уровнях.

К основным задачам МО на предприятиях относятся:

- проведение анализа состояния измерений, разработка и осуществление мероприятий по совершенствованию МО на предприятии;
- установление рациональной номенклатуры измеряемых параметров и оптимальных норм точности измерений, внедрение современных методик выполнения измерений, испытаний и контроля;
- внедрение стандартов, регламентирующих нормы точности измерений;
- проведение метрологической экспертизы нормативно-технической, конструкторской и технологической документации;
- поверка и метрологическая аттестация средств измерений (СИ);
- контроль за производством, состоянием, применением и ремонтом СИ.

Ответственность за состояние и применение средств измерений на предприятиях несут инженеры, эксплуатирующие эти средства, а на предприятии (в организации) – руководитель предприятия (организации).

9.3 Система эталонов единиц ФВ

Единство измерений достигается точным воспроизведением, хранением установленных единиц ФВ и передачей их размеров всем рабочим средствам измерений (РСИ) с помощью эталонов и образцовых средств измерений. Высшим звеном в метрологической цепи передачи размеров единиц измерений являются эталоны. Создание, хранение и применение эталонов, контроль за их состоянием подчиняются единым правилам, установленным ГОСТ «ГСИ. Эталоны единиц физических величин. Основные положения» и ГОСТ «ГСИ. Эталоны единиц физических величин. Порядок разработки, утверждения, регистрации, хранения и применения».

Эталон единицы – средство измерений (или комплекс средств измерений), обеспечивающее воспроизведение и хранение единицы с

целью передачи ее размера нижестоящим по поверочной схеме средствам измерений, выполненное по особой спецификации и официально утвержденное в установленном порядке в качестве эталона.

Воспроизведение единиц в зависимости от технико-экономических требований производится двумя способами.

Первый способ – *централизованный* – с помощью единого для всей страны или группы стран государственного эталона. Централизовано воспроизводятся все основные единицы SI и большая часть производных.

Второй способ воспроизведения – *децентрализованный* – применим к производным единицам, размер которых не может передаваться прямым сравнением с эталоном и обеспечивать необходимую точность (например, единица площади – квадратный метр).

Эталоны по подчиненности подразделяют на первичные (исходные) и вторичные (подчиненные) и имеют следующую классификацию:

Первичные эталоны воспроизводят и хранят единицы и передают их размеры с наивысшей точностью, достижимой в данной области измерений. Первичные эталоны в зависимости от условий воспроизведения единицы могут иметь разновидность – специальные первичные эталоны (далее – специальные). Специальные эталоны воспроизводят единицы в условиях, в которых прямая передача размера единицы от первичного эталона с требуемой точностью технически неосуществима (ВЧ и СВЧ, малые и большие энергии и т. п.). Первичные и специальные эталоны утверждают в качестве государственных эталонов. Ввиду особой важности государственных эталонов и для придания им силы закона на каждый государственный эталон утверждается ГОСТ.

Вторичные эталоны: эталоны-копии предназначены для передачи размера единицы рабочим эталонам; эталоны сравнения – для взаимного сличения эталонов, которые не удастся сличить непосредственно; рабочие эталоны – для поверки образцовых средств измерений (ОСИ) и наиболее точных РСИ.

Государственные эталоны создает, утверждает, хранит и применяет Государственный комитет по стандартам, вторичные – министерства и ведомства.

9.4 Метрологический надзор за средствами измерений

Государственные и отраслевые поверочные схемы

В основе обеспечения единообразия средств измерений лежит система передачи размера единицы измеряемой величины. Технической формой надзора за единообразием средств измерений является государственная (ведомственная) поверка средств измерений, устанавливающая их метрологическую исправность.

Достоверная передача размера единиц во всех звеньях метрологической цепи от эталонов или от исходного образцового средства измерений к рабочим средствам измерений производится в определенном порядке, приведенном в поверочных схемах. Поверочная схема – это утвержденный в установленном порядке документ, регламентирующий средства, методы и точность передачи размера единицы физической величины от государственного эталона или исходного образцового средства измерений рабочим средствам.

Различают государственные, ведомственные и локальные поверочные схемы органов государственной или ведомственных метрологических служб.

Государственная поверочная схема распространяется на все СИ данной ФВ, применяемые в стране, например, на средства измерений электрического напряжения в определенном диапазоне частот. Устанавливая многоступенчатый порядок передачи размера единицы ФВ от государственного эталона, требования к средствам и методам поверки, государственная поверочная схема представляет собой как бы структуру МО определенного вида измерений в стране. Эти схемы разрабатываются главными центрами эталонов и оформляются одним ГОСТом ГСИ.

Ведомственная поверочная схема разрабатывается органом ведомственной метрологической службы, согласовывается с главным центром эталонов – разработчиком государственной поверочной схемы средств измерений данной ФВ и распространяется только на СИ, подлежащие внутриведомственной поверке.

Локальные поверочные схемы распространяются на РСИ, подлежащие поверке в данном метрологическом подразделении на предприятии, имеющем право поверки средств измерений и оформляются в виде стандарта предприятия. Ведомственные и локальные поверочные схемы не должны противоречить государственным и *должны*

учитывать их требования применительно к специфике конкретного министерства или предприятия.

9.5 Виды поверок и способы их выполнения

Одной из главных форм государственного метрологического надзора и ведомственного контроля, направленных на обеспечение единства измерений в стране, как указывалось ранее, является поверка СИ. Поверке подвергаются СИ, выпускаемые из производства и ремонта, получаемые из-за рубежа, а также находящиеся в эксплуатации и хранении. Основные требования к организации и порядку проведения поверки СИ установлены ГОСТ «ГСИ. Поверка средств измерений. Организация и порядок проведения». Термин «поверка» введен ГОСТ «ГСИ. Метрология. Термины и определения» как «определение метрологическим органом погрешностей средства измерений и установление его пригодности к применению». В отдельных случаях при поверке вместо определения значений погрешностей проверяют, находится ли погрешность в допустимых пределах. Таким образом, поверку СИ проводят для установления их пригодности к применению. Пригодным к применению в течение определенного межповерочного интервала времени признают те СИ, поверка которых подтверждает их соответствие метрологическим и техническим требованиям к данному СИ

Средства измерений подвергают первичной, периодической, внеочередной, инспекционной и экспертной поверкам.

Первичной поверке подвергаются СИ при выпуске из производства или ремонта, а также СИ, поступающие по импорту.

Периодической поверке подлежат СИ, находящиеся в эксплуатации или на хранении через определенные межповерочные интервалы, установленные с расчетом обеспечения пригодности к применению СИ на период между поверками.

Инспекционную поверку производят для выявления пригодности к применению СИ при осуществлении госнадзора и ведомственного метрологического контроля за состоянием и применением СИ.

Экспертную поверку выполняют при возникновении спорных вопросов по метрологическим характеристикам (МХ), исправности СИ и пригодности их к применению.

Метрологическая аттестация – это комплекс мероприятий по исследованию метрологических характеристик и свойств средства

измерения с целью принятия решения о пригодности его применения в качестве образцового. Обычно для метрологической аттестации составляют специальную программу работ, основными этапами которых являются: экспериментальное определение метрологических характеристик; анализ причин отказов; установление межповерочного интервала и др. Метрологическую аттестацию средств измерений, применяемых в качестве образцовых, производят перед вводом в эксплуатацию, после ремонта и при необходимости изменения разряда образцового средства измерений. Результаты метрологической аттестации оформляют соответствующими документами (протоколами, свидетельствами, извещениями о непригодности средства измерений).

Особенности применяемых видов средств измерений определяют методы их поверки. В практике поверочных лабораторий известны разнообразные методы поверки средств измерений, которые для унификации сводятся к следующим:

- непосредственное сличение при помощи компаратора (т.е. при помощи средств сравнения);
- метод прямых измерений;
- метод косвенных измерений;
- метод независимой поверки (т.е. поверки средств измерений относительно величин, не требующий передачи размеров единиц).

Средства измерений, состоящие из нескольких частей (элементов), можно поверять *поэлементно* или *комплектно*. При *поэлементной поверке* погрешности средства измерений определяют по *погрешности составных частей*. Этот вид поверки является расчетно-экспериментальным и, как правило, применяется для сложных приборов, для которых отсутствуют образцовые средства измерений, позволяющие определять погрешность во всем диапазоне измерений. Например, поэлементная поверка практикуется для различных измерительных магазинов, измерительных линий, информационных измерительных систем и т.д.

При *комплектной поверке* определяют погрешности средства измерений в целом для всего измерительного прибора или измерительной системы. Этот вид поверки является *более информативным и достоверным*. Его целесообразно применять для средств измерений, в которых влияние взаимодействия составных компонентов на метрологические характеристики трудно оценить заранее.

Поверку измерительных систем проводят государственные метрологические органы, называемые Государственной метрологической службой.

Деятельность Государственной метрологической службы направлена на решение научно-технических проблем метрологии и осуществление необходимых законодательных и контрольных функций, таких как: установление допущенных к применению единиц физических величин; создание образцовых средств измерений, методов и средств измерений высшей точности; разработка общесоюзных поверочных схем; определение физических констант; разработка теории измерений, методов оценки погрешностей и другие.

Задачи, стоящие перед Государственной метрологической службой, решаются с помощью Государственной системы обеспечения единства измерений (ГСИ).

Государственная система обеспечения единства измерений является нормативно-правовой основой метрологического обеспечения научной и практической деятельности в части оценки и обеспечения точности измерений. Она представляет собой комплекс нормативно-технических документов, устанавливающих единую номенклатуру, способы представления и оценки метрологических характеристик средств измерений, правила стандартизации и аттестации выполнения измерений, оформления их результатов, требования к проведению государственных испытаний, поверки и экспертизы средств измерений.

Основными нормативно-техническими документами государственной системы обеспечения единства измерений являются государственные стандарты. На основе этих базовых стандартов разрабатываются нормативно-технические документы, конкретизирующие общие требования базовых стандартов к различным производствам, областям измерений и методикам выполнения измерений.

9.6 Достоверность поверки

Совершенство системы метрологического надзора за единством средств измерений определяется качеством поверки. Одной из важнейших характеристик качества поверки является достоверность. Эта характеристика процесса измерительного контроля отражает степень доверия к полученным после поверки результатам. На ее формирование влияет большое количество факторов. Наиболее существенными из них являются точность измерительного контроля, полнота контро-

ля поверяемых параметров, временные показатели поверки, надежность поверяемых и образцовых средств измерений, методика операций поверки, способы регистрации и обработки измерительной информации, наличие системы самоконтроля.

Для решения задачи обеспечения достоверности поверки созданы комплексы правил, регламентирующих порядок подготовки, выполнения и обработки результатов измерений, а также эталонная база и комплекс образцовых средств измерений.

Тема 10. СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ И КОНТРОЛЯ

Одинаковые приборы, проверенные одинаковым способом, будут в эксплуатации вести себя совершенно по-разному...

Вопросы лекции:

- Определение объема поверочных работ
- Назначение измерений и контроля параметров технических устройств
- Метрологическое обеспечение при разработке, производстве и эксплуатации технических устройств
- Государственные испытания средств измерений

10.1 Определение объема поверочных работ

Под *объемом поверочных работ* понимают совокупное число основных поверочных операций (без подготовительных), в результате выполнения которых можно сделать вывод о пригодности прибора к применению.

Объем поверки зависит от: числа поверяемых метрологических характеристик; числа поверяемых отметок в диапазоне измерений; числа измерений в каждой поверяемой отметке. Первое число определяется числом измерительных функций прибора; второе – характером измерения поверяемой метрологической характеристики; третье – возможным разбросом случайной составляющей погрешности прибора.

Нормативные документы на разработку методик по поверке средств измерений требуют определять минимум поверяемых метро-

логических характеристик, достаточный для решения вопроса о пригодности поверяемых средств измерений к применению.

Анализ существующих подходов к определению состава поверяемых параметров показал, что наиболее распространены способы, основанные на обеспечении апостериорной надежности контролируемых технических систем. Однако при этом трудно определять характеристики надежности анализируемых параметров на этапе разработки средства измерений. Поэтому объем операций при первичной поверке, как правило, больше, чем при периодической поверке прибора.

Установленные научно-технической документацией (НТД) объемы поверочных работ являются, как правило, значительными, требуют больших трудозатрат и длительного изъятия средств измерений из обращения, что влияет на снижение готовности устройств к применению, а следовательно, и на их эффективность.

Поверка средств измерений в полном объеме, установленном НТД, в ряде случаев становится неоправданной. Так, из опыта эксплуатации конкретных средств измерений известно, что значительное число их не используется на всех диапазонах и пределах измерений и не все нормируемые метрологические характеристики необходимы при оценке точности выполняемых измерений. Это обусловлено некоторыми объективными причинами. Например, большинство радиоизмерительных приборов являются многофункциональными, а электроизмерительные приборы класса точности 0,5 и выше – многопредельными.

Положительный эффект от введения поверки средств измерений по сокращенной программе выражается в следующем:

- снижаются трудозатраты на поверочные работы и время изъятия средств измерений из сферы применения их по назначению; исключаются случаи браковки средств измерений на тех диапазонах и пределах измерений, а также по тем метрологическим характеристикам, которые практически не используются;
- повышаются характеристики надежности за счет снижения случаев браковки средств измерений из-за неисправности комплектующих элементов и отдельных блоков, не участвующих в работе средств измерений на ограниченных диапазонах;
- появляются возможности увеличения межповерочных интервалов;

- уменьшаются время восстановления и номенклатура требуемого для восстановления ЗИП (запасные части, инструменты и материалы);
- обеспечиваются возможность поверки средств измерений без демонтажа с технических устройств и автоматизация выполнения поверочных работ.

Недостатком поверки средств измерений по сокращенной программе является *невозможность использования данных средств измерений на диапазонах, пределах измерений и с теми метрологическими характеристиками, поверка которых была исключена*. Поверка средств измерений по сокращенной программе не должна нарушать единства и требуемой точности измерений. Соблюдение этих условий обуславливает требование к методу определения сокращенной программы поверки средств измерений.

Программу сокращенной поверки следует составлять так, чтобы исходя из конкретных условий применения средств измерений объем поверки был минимальным и за межповерочный интервал обеспечивалась погрешность измерений, определяемая нормируемыми значениями соответствующих метрологических характеристик. Введение программы сокращенной поверки не должно приводить к созданию новой или дополнительной НТД на поверку средств измерений.

Исходя из специфики методов разработки программ сокращенной поверки целесообразно разделить средства измерений на *широкодиапазонные, многопредельные и многоцелевые (комбинированные)*.

К *широкодиапазонным* следует относить средства измерений, у которых область значений измеряемой (воспроизводимой) величины расширена, вид измеряемой или воспроизводимой физической величины (напряжение, ток, мощность и др.) фиксирован, а параметры данной физической величины (частотный диапазон и др.) имеют расширенную область значений.

К *многопредельным* относят средства, позволяющие измерять одноименные физические величины на двух и более пределах.

К *многоцелевым* (комбинированным) – средства, предназначенные для измерения ряда физических величин.

Как показал опыт поверки средств измерений по сокращенной программе, технико-экономический эффект от ее введения *становится значительным* и такая поверка целесообразна тогда, когда при эксплуатации широкодиапазонных средств измерений **используется менее 3/4 рабочего диапазона измерений;**

при эксплуатации многопредельных средств измерений не используется хотя бы один предел;

при эксплуатации многоцелевых средств измерений не используется измерение хотя бы одной из физических величин.

10.2 Назначение измерений и контроля параметров технических устройств

Современные технические устройства представляют собой совокупность большого числа так называемых “комплектующих изделий”, объединенных электрическими, электронными, оптоэлектронными, механическими связями в узлы, блоки, системы, комплексы для решения тех или иных задач. Электронные автоматизированные системы управления и другие устройства могут включать в себя тысячи, десятки и даже сотни тысяч комплектующих изделий. При этом изменения параметров (свойств) одного или нескольких изделий влияют на качество функционирования других взаимодействующих, присоединенных изделий.

Любое изделие имеет, к сожалению, не безграничный ресурс и срок службы. Его параметры с течением времени, раньше или позже, начинают изменяться постепенно, а иногда под влиянием внешних воздействий и скоротечно. Наличие связей между элементами вызывает соответствующее изменение какого-то общего параметра совокупности соединенных комплектующих изделий. При некотором уровне изменения одного или нескольких параметров узел (блок, система, комплекс) теряет свою работоспособность. Чтобы предотвратить потерю работоспособности или восстановить утраченное качество технического устройства, необходимо количественно оценить его основные параметры или параметры его блоков, узлов, даже отдельных комплектующих изделий.

Параметры любых технических устройств, режимы их работы представляются наборами числовых значений совокупности физических величин (электрических, линейно-угловых, тепловых, оптических, акустических и др.). Значения физических величин в данный момент работы технического устройства объективно существуют, но неизвестны, если их не измерить. Следовательно, определение неизвестных числовых значений физических величин и является целью измерений.

Правильность определения значения измеряемой физической величины зависит от качества применяемых средств измерений, являющихся также техническими устройствами, способными измерить ту или иную физическую величину с заранее известной точностью.

В процессе эксплуатации радиоэлектронных комплексов, автоматизированных систем управления для поддержания работоспособности приходится периодически последовательно или одновременно измерять большое число физических величин со значительными пределами изменения в широком диапазоне частот.

Прежде всего, практически в каждом сеансе работы сложного технического устройства необходимо контролировать соответствие значений физических величин установленным значениям или пределам (допускам). Подобный контроль параметров и характеристик для определения возможности нормального функционирования технических устройств, связанный с нахождением значений физических величин, называется измерительным. В ряде случаев нет необходимости определять (с заданной точностью) числовые значения физических величин: часто требуется фиксировать только наличие какого-либо сигнала или нахождение параметра в широком поле допуска (не меньше, не больше и т.д.).

В таких случаях производится качественная оценка параметров технического устройства, а процесс оценки называется качественным контролем или просто контролем. При контроле часто применяют цветовую индикацию (цвет сигнала указывает оператору на соответствие параметра определенной границе). В ряде случаев для контроля применяют так называемые индикаторы – средства измерений с низкими точностными характеристиками.

Принципиальные различия между измерительным контролем и качественным заключается в следующем: в первом случае измеряемая физическая величина оценивается с заданной точностью и в широком диапазоне ее возможных значений (диапазоне измерений). Любое из полученных при измерении значений физической величины всегда вполне определено и может быть сопоставлено с заданным значением; во втором случае оцениваемая физическая величина может принимать любое значение (в широком диапазоне ее возможных значений), которое является неопределенным, за исключением одного (или двух), когда значение физической величины становится равным верхней (нижней) границе поля допуска (этот момент сопровождается световым или другим сигналом).

Если в качестве индикатора при контроле применяют средство измерений, то соответствующие значения физической величины получают вполне определенными, но без гарантии точности результата контроля, так как индикаторы не подлежат периодической поверке.

10.3 Метрологическое обеспечение при разработке, производстве и эксплуатации технических устройств

Метрологическое обеспечение технических устройств представляет собой комплекс научно-технических и организационно-технических мероприятий, а также соответствующую деятельность учреждений и специалистов, направленные на обеспечение единства и точности измерений для достижения требуемых (паспортных) характеристик функционирования технических устройств.

В широком смысле оно включает:

- теорию и методы измерений, контроля, обеспечения точности и единства измерений;
- организационно-технические вопросы обеспечения единства измерений, включая нормативно-технические документы (Государственные стандарты, методические указания, технические требования и условия), регламентирующие порядок и правила выполнения работ.

В узком смысле под метрологическим обеспечением понимают:

- надзор за применением законодательно установленной системы единиц физических величин; обеспечение единства и точности измерений путем передачи размеров единиц физических величин от эталонов к образцовым средствам измерений и от образцовых к рабочим;
- разработку и надзор за функционированием государственных и ведомственных поверочных схем;
- разработку методов измерений наивысшей точности и создание
- на этой основе эталонов (образцовых средств измерений);
- надзор за состоянием средств измерений в министерствах и ведомствах.

На разных этапах жизненного цикла технического устройства его метрологическое обеспечение имеет ряд задач:

- исследование параметров и характеристик технических устройств для определения требований к объему, качеству и номенклатуре измерений и контроля;

- выбор средств измерений и контроля из числа серийно выпускаемых. Если необходимых средств измерений не существует, задают требования на создание новых типов;
- поверка применяемых средств измерений;
- анализ технологических процессов с точки зрения определений номенклатуры и последовательности измерительно-контрольных операций, установления метрологических характеристик соответствующих средств измерений;
- обеспечение производства серийно выпускаемыми средствами измерений и контроля, своевременное обновление парка этих средств на предприятии;
- совершенствование методик измерений и контроля;
- проведение метрологической экспертизы конструкторской и технологической документации.

Ответственность за правильность, своевременность и полноту метрологического обеспечения технических устройств возлагается на их потребителей (заказчиков). Для этого в различных организациях функционируют метрологические службы.

Обязательной государственной поверке подлежат:

- средства измерений, применяемые органами государственной метрологической службы;
- образцовые средства измерений, применяемые в качестве исходных в метрологических органах министерств и ведомств;
- средства измерений, применяемые при учете материальных ценностей, взаимных расчетах и торговле;
- средства измерений, связанные с охраной здоровья трудящихся и техникой безопасности;
- средства измерений, применяемые при государственных испытаниях новых средств измерений;
- средства измерений, результаты которых используются при регистрации официальных спортивных международных и национальных рекордов.

Так, например, к рабочим средствам измерений, подлежащим обязательной государственной поверке, относятся: весоизмерительные приборы, расходомеры, счетчики электроэнергии, газа, нефтепродуктов и воды, топливо- и маслораздаточные колонки и ряд других приборов, применяемых для учета и в торговле; шумомеры; дозиметры; рентгенометры и тонометры, медицинские термометры и другие приборы, служащие для охраны здоровья трудящихся; радиомет-

ры, измерители напряженности поля СВЧ, газоанализаторы и другие измерительные приборы, обеспечивающие безопасность работ, и т.п.

Все остальные средства измерений подлежат обязательной ведомственной поверке.

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

Поверка средств измерений должна осуществляться в соответствии с действующими государственными стандартами на поверочные схемы, методы и средства поверки.

Положительные результаты поверки удостоверяются:

а) наложением на средства измерений поверительного клейма установленного образца;

б) выдачей свидетельства о поверке.

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

10.4 Государственные испытания средств измерений

Все средства измерений, предназначенные для серийного производства, ввоза из-за границы, подвергаются со стороны органов Государственной метрологической службы обязательным государственным испытаниям, под которыми понимается экспертиза технической документации на средства измерений и их экспериментальные исследования для определения степени соответствия установленным нормам, потребностям народного хозяйства и современному уровню развития приборостроения, а также целесообразности их производства.

Установлены два вида государственных испытаний:

- *приемочные испытания* опытных образцов средств измерений новых типов, намеченных к серийному производству или импорту в РФ (государственные приемочные испытания);

- *контрольные испытания* образцов из установочной серии и серийно выпускаемых средств измерений (государственные контрольные испытания).

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

В процессе государственных приемочных испытаний опытных образцов средств измерений проверяется соответствие средства измерений современному техническому уровню, а также требованиям технического задания, проекта технических условий и государственных стандартов.

Проверке подлежат также нормированные метрологические характеристики и возможность их контроля при производстве, после ремонта и при эксплуатации, возможность проведения поверки и ремонтпригодность испытываемых средств измерений.

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

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

Государственные контрольные испытания проводятся территориальными организациями Госстандарта. Их цель – проверка соответствия выпускаемых из производства или ввозимых из-за границы средств измерений требованиям стандартов и технических условий.

Контрольные испытания средств измерений серийного производства проводятся:

- при выпуске установочной серии, при наличии сведений об ухудшении качества средств измерений, выпускаемых предприятием-изготовителем;
- при внесении изменений в конструкцию и технологию изготовления средств измерений, влияющих на их нормируемые метрологические характеристики,

- а также в порядке государственного надзора за качеством выпускаемых средств измерений в сроки, устанавливаемые Госстандартом.

Контрольные испытания проводятся периодически в течение всего времени производства (или импорта) средств измерений данного типа на испытательной базе предприятия-изготовителя.

По окончании испытаний составляется *акт о контрольных испытаниях*, содержащий результаты испытаний, замечания, предложения и выводы. На основании акта контрольных испытаний организация, проводившая их, принимает решение о разрешении продолжения выпуска в обращение данных средств измерений, или об устранении недостатков, обнаруженных при контрольных испытаниях, или о запрещении их выпуска в обращение.

Тема 11. СИСТЕМА ЭКСПЛУАТАЦИИ И РЕМОНТА ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

Опыт растет прямо пропорционально выведенному из строя оборудованию...

Вопросы лекции:

- Назначение и содержание работ по эксплуатации
- Применение средств измерений и контроля
- Техническое обслуживание средств измерений и контроля

11.1 Назначение и содержание работ по эксплуатации

Современные виды измерительной техники обладают большими возможностями, имеют высокий уровень автоматизации и способны решать комплексные задачи. Однако положительный эффект от внедрения новых средств измерений можно получить лишь при технически грамотной эксплуатации. В свою очередь, поддержание измерительной техники в исправном и готовом к применению состоянии связано с расходом значительных трудовых и материальных ресурсов. Объясняется это тем, что неисправные измерительные приборы, особенно с неявными (метрологическими) отказами, могут приводить к ошибочным решениям.

Высокая эффективность использования средств измерений и контроля обеспечивается правильным планированием и организацией работ по техническому обслуживанию и восстановлению, что в большинстве случаев решается заблаговременно и отражается в эксплуатационно-технической документации.

Использование по назначению средств измерений и контроля начинается после их ввода в эксплуатацию.

Ввод в эксплуатацию заключается в проведении подготовительных работ, контроле и приемке средств, поступивших после изготовления или ремонта, проверке на соответствие установленным требованиям и закреплении за ответственными лицами. *Подготовительные работы* могут включать оборудование рабочих мест и помещений, подготовку лиц к эксплуатации средств измерений, заказ и получение средств метрологического и диагностического обеспечения, запасного инструмента и принадлежностей и т. п.

Важное значение для обеспечения единства и сопоставимости результатов измерений имеет *учет условий эксплуатации*. Паспортные значения погрешностей средств измерений указаны для так называемых нормальных условий. Результаты, полученные с помощью одного и того же средства измерений в неодинаковых условиях, могут в ряде случаев существенно различаться. Поэтому при эксплуатации средств измерений в условиях, отличающихся от нормальных, необходимо учитывать дополнительные погрешности, вызванные этими отклонениями, или принимать меры для защиты от воздействия внешних факторов.

Составной частью эксплуатации средств измерений и контроля является техническое обслуживание и ремонт средств измерений, их хранение, сбор и обобщение данных о результатах эксплуатации.

Оценка технического состояния средств измерений и контроля не является самостоятельным этапом эксплуатации, однако она постоянно проводится соответствующими лицами и органами для принятия решения о дальнейшем применении средств измерений.

Под оценкой технического состояния средств измерений и контроля понимается определение установленных в эксплуатационной и ремонтной документации значений показателей и проверка качественных признаков, характеризующих в заданный момент времени совокупность свойств средств измерений и контроля. Показателями и качественными признаками, определяющими техническое состояние средств измерений и контроля, являются внешний вид, комплект-

ность, ресурс (срок службы), запас времени до периодической поверки, правильность функционирования, наличие неисправностей, целостность поверительных клейм или документов, удостоверяющих поверку, состояние эксплуатационных документов.

Важнейшей эксплуатационной характеристикой измерительной техники, влияющей на эффективность ее применения по назначению, является уровень надежности, и прежде всего метрологической, отражающей способность средств измерений сохранять во времени свою точность. Уровень надежности образцов измерительной техники в значительной мере зависит от правильности планирования и качества выполнения работ по их эксплуатации. Поэтому для обеспечения исправности и нормального функционирования средства измерений и контроля подвергают техническому обслуживанию. Объем и периодичность технического обслуживания зависят от интенсивности использования, уровня надежности и значимости средств измерений.

Таким образом, эксплуатация представляет собой процесс управления техническим состоянием, основными составляющими которого являются оценка технического состояния, выработка, выполнение управляющих воздействий (ремонт, профилактика, регулировка) и оценка эффекта от этих воздействий.

Важной составляющей частью эксплуатации является хранение и содержание средств измерений и контроля в состоянии, обеспечивающем их сохранность, исправность и приведение в готовность к использованию в установленные сроки.

Данные задачи решаются выбором требуемых условий хранения, тщательной подготовкой средств измерений к хранению с применением средств защиты от воздействия окружающей среды, правильным размещением, периодическим контролем технического состояния и проведением технического обслуживания.

11.2 Применение средств измерений и контроля

При поверке технических средств, находящихся в эксплуатации, необходимо использовать только те средства измерений и контроля, которые находятся в исправном состоянии и имеют оттиски поверительных клейм, свидетельства или аттестаты, удостоверяющие факт их поверки.

Физические величины технических устройств необходимо измерять только теми средствами, которые указаны в эксплуатационной

документации на эти объекты либо в стандартных (аттестованных) методиках.

Если в эксплуатационной документации или в методиках измерений не определены средства измерений параметров технических устройств, то их целесообразно выбирать с учетом требуемой точности и условий проведения измерений.

При этом для достижения требуемого качества и точности измерения необходимо тщательно планировать, т.е. *выбирать метод измерений* (прямой, косвенный, метод совместных или совокупных измерений) и *определять условия*, в которых должны быть произведены измерения.

При анализе условий, в которых будут производиться измерения, учитываются:

- *уровни механических нагрузок* (вибраций, ударов, линейных ускорений и т.п.);
- *климатические условия* (температура, влажность, атмосферное давление и т.п.);
- *наличие или отсутствие активно разрушающей среды* (агрессивные газы и жидкости, высокое напряжение и т.п.), в которой будет эксплуатироваться измерительная техника или ее элементы;
- *наличие электрических и магнитных полей и других помех.*

Уровни воздействующих факторов не должны превышать значений, указанных в техническом описании для выбранных средств измерений и контроля.

При подготовке средств измерений к работе необходимо:

- провести внешний осмотр;
- заземлить в соответствии с инструкцией по эксплуатации прибор и установить его в рабочее положение;
- установить органы управления в исходное положение;
- проверить функционирование (опробовать).

При внешнем осмотре должно быть установлено:

- количество механических повреждений корпуса, переключателей;
- наличие штатных принадлежностей, необходимых для проведения измерений, оттиска доверительного клейма или соответствующей отметки в формуляре (паспорте);
- надежное крепление кабеля питания и гнезд для подключения внешних цепей к средству измерения.

Проверка функционирования органов управления должны выполняться в соответствии с инструкцией по эксплуатации средств измерений и контроля.

11.3 Техническое обслуживание средств измерений и контроля

Основой поддержания средств измерений и контроля в исправном состоянии и постоянной готовности к применению по назначению является техническое обслуживание. Периодичность, объем и порядок проведения технического обслуживания приборов, применяемых автономно, определяются эксплуатационной документацией на эти приборы, а приборов, встроенных в технические устройства, – эксплуатационной документацией на эти устройства. При этом не допускается нарушение пломб, оттисков клейм, если это не предусмотрено эксплуатационными документами.

Различают техническое обслуживание *по установленному регламенту* или *по текущему состоянию*.

В зависимости от объема работ техническое обслуживание *по регламенту* может быть

- ежедневным,
- еженедельным,
- ежемесячным,
- полугодовым,
- годовым.

Ежедневно обслуживаются только применяемые в данный день приборы.

Все неисправности средств измерений и контроля, выявленные в процессе технического обслуживания, должны быть устранены.

Запрещается выполнять последующие операции до устранения обнаруженных неисправностей. Приборы с неустраненными неисправностями бракуют и направляют в ремонт.

При техническом обслуживании должна быть обеспечена безопасность персонала. Условия работы, срочность ее выполнения и другие причины не могут служить основанием для нарушения мер безопасности.

Результаты технического обслуживания заносят в соответствующую учетную документацию.

Для выбора различных вариантов построения системы ремонта прежде всего определяют направления развития и возможный состав ремонтно-технологического оборудования с учетом перспектив развития средств измерений и указанных ограничений на систему ремонта.

В настоящее время используют, как правило, трехуровневую систему ремонта средств измерений :

- *на местах эксплуатации* с помощью ремонтно-поверочных лабораторий измерительной техники,
- *на ремонтных участках* лабораторий измерительной техники,
- *на ремонтных заводах.*

Средства измерений можно отремонтировать на заводах-изготовителях и на специализированных заводах приборостроительных министерств.

Размещение ремонтно-технологического оборудования фактически определяет порядок ремонта средств измерений, т.е. виды и методы ремонта на различных уровнях системы ремонта и требуемую квалификацию ремонтника.

В зависимости от характера отказов, степени выработки ресурса и трудоемкости восстановления различают: текущий, средний и капитальный виды ремонта средств измерений.

Такое разделение видов ремонта необходимо для планирования ремонтного производства.

Сразу же следует отметить, что после ремонта средство измерений допускается к эксплуатации при проведении поверки, позволяющей удостовериться в соответствии его метрологических характеристик.

К *текущему ремонту* относят работы, связанные с устранением отдельных неисправностей средств измерений посредством замены комплектующих изделий и не требующие сложного диагностического и технологического оборудования.

К этому виду ремонта относят также несложные в технологическом отношении операции по регулировке средств измерений для доведения метрологических характеристик до нормируемых значений в случае забракования прибора при поверке.

При среднем ремонте помимо операций, выполняемых при текущем ремонте, проводятся трудоемкие операции по замене или восстановлению (реставрации) элементов и составных частей работы по частичному восстановлению ресурса средств измерений, контроль

технического состояния всех составных частей прибора (помимо выработавших ресурс и отказавших) с устранением выявленных неисправностей, настройка (регулировка) прибора и его составных частей после ремонта.

При среднем ремонте помимо операций, выполняемых при текущем ремонте, проводятся трудоемкие операции по замене или восстановлению (реставрации) элементов и составных частей работы по частичному восстановлению ресурса средств измерений, контроль технического состояния всех составных частей прибора (помимо выработавших ресурс и отказавших) с устранением выявленных неисправностей, настройка (регулировка) прибора и его составных частей после ремонта.

Анализ обязательных работ при капитальном ремонте позволяет сделать заключение о том, что средства измерений при этом виде ремонта *должны быть подвергнуты технологическим операциям и испытаниям в объеме основного производства*. Однако производственные возможности ведомственных ремонтных предприятий, как правило, не позволяют производить его в требуемом объеме и с должным качеством. В связи с этим в процессе эксплуатации наблюдается значительное увеличение интенсивности отказов средств измерений после капитального ремонта. Поэтому во многих случаях экономически капитальный ремонт средств измерений не оправдывает себя, так как затраты на него соизмеримы с затратами на приобретение новых средств измерений, а качество отремонтированных приборов существенно уступает новым.

О нецелесообразности капитального ремонта свидетельствует и тот факт, что при достигнутых уровнях надежности моральный износ средств измерений наступает раньше физического.

Для перспективного парка средств измерений с большим ресурсом и сроком службы целесообразно планировать только текущий и средний ремонт.

И только в отдельных случаях при остром дефиците каких-либо типов средств измерений допустима организация их капитального ремонта.

Таким образом, при среднем и капитальном ремонте фактически восстанавливают основные потребительские свойства средств измерений, а при текущем ремонте поддерживают работоспособное состояние посредством устранения *«текущих отказов»*, т.е. отказов,

неизбежно встречающихся при эксплуатации любых технических изделий ввиду их ограниченной надежности.

Рассмотренные виды ремонта различаются сложностью и трудоемкостью. Поэтому для их реализации используют системы ремонта различного уровня.

Текущий ремонт обычно выполняет выездная группа специалистов ведомственной лаборатории измерительной техники, осуществляющая одновременно поверку средств измерений непосредственно на местах их эксплуатации. Текущий ремонт не требует сложного специального технологического оборудования и при наличии группового ЗИП и подготовленных специалистов может быть освоен в короткие сроки. При такой организации ремонта имеет место минимальное время изъятия средств измерений из сферы эксплуатации.

Текущий и частично средний ремонт проводят в лабораториях измерительной техники предприятий и ведомств, *средний и капитальный* – в специализированных цехах (участках) ведомственных ремонтных заводов.

На время и стоимость ремонта существенно влияют методы ремонта, среди которых различают детальный и агрегатный.

При *детальном методе ремонта* отказавшие средства измерений восстанавливают на уровне комплектующих элементов. Основными недостатками этого метода являются:

- большее время ремонта, особенно сложных радиоизмерительных приборов;
- сложность диагностического оборудования; высокие требования к квалификации ремонтника;
- необходимость в тщательно отработанной ремонтной документации с описанием методов поиска и устранения отказов до комплектующего электрорадиоэлемента.

Суть агрегатного метода ремонта заключается в замене отказавших агрегатов (узлов, блоков, плат) новыми или отремонтированными.

Основными преимуществами данного метода ремонта являются

- минимальное время ремонта,
- простота технологического оборудования,
- невысокие требования к квалификации ремонтного персонала,
- относительная простота ремонтной документации.

Однако агрегатный метод ремонта требует блочно-модульного построения средств измерений. Особенно эффективен он при текущем ремонте. Анализ характера отказов средств измерений показал, что до 80% для восстановления работоспособности требует ремонта в объеме текущего. Поэтому агрегатный метод представляется перспективным в плане сокращения времени восстановления.

К недостаткам этого метода относится высокая стоимость ЗИП. Агрегатный групповой ЗИП почти в 10 раз дороже детального.

Результаты поверки средств измерений оформляют в разделе «Поверка прибора метрологическими органами». В формулярах приборов, забракованных при поверке, отмечают непригодность к эксплуатации и необходимость ремонта. Сведения о характере ремонта прибора заносит в формуляр лицо, непосредственно осуществляющее ремонт. При отправке прибора в ремонт, передаче в другую организацию, консервации или упаковке на длительное хранение в формуляр записывают итоговые данные о наработке.

Тема 12. КОНЦЕПЦИЯ РАЗВИТИЯ СТАНДАРТИЗАЦИИ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

*Храни порядок, и порядок
сохранит тебя...*

Вопросы лекции:

- Общие вопросы. Постановка задачи
- Цели и задачи развития стандартизации
- Принципы стандартизации
- Уровни стандартизации
- Категории и виды нормативных документов
- Приоритетные направления государственной стандартизации
- Методы и практика стандартизации
- Органы, осуществляющие государственное регулирование и управление в области технического нормирования и стандартизации
- Международная стандартизация. Стандарты серий ISO 9000 и ISO 14000

12.1 Общие вопросы. Постановка задачи

Понятие стандартизация охватывает широкую область общественной деятельности, включающую в себя *научные, технические, хозяйственные, экономические, юридические, эстетические, политические аспекты*. Во всех странах развитие государственного хозяйства, повышение эффективности производства, улучшение качества продукции, рост жизненного уровня связаны с широким применением различных форм и методов стандартизации. Правильно поставленная стандартизация способствует развитию специализации и кооперирования производства.

В нашей стране действует *государственная система стандартизации* (ГСС), объединяющая и упорядочивающая работы по стандартизации в масштабе всей страны, на всех уровнях производства и управления на основе комплекса государственных стандартов.

ГСС включает в себя:

- стандарты, содержащие совокупность взаимосвязанных правил и положений, определяющих основные понятия, цели и задачи стандартизации;
- организацию и методику планирования и проведения работ по стандартизации;
- порядок разработки, внедрения и обращения стандартов и других нормативно-технических документов по стандартизации;
- порядок внесения в них изменений; контроль за внедрением и соблюдением стандартов;
- правила построения, изложения, оформления и содержания стандартов и др.

Стандартизация – установление и применение правил с целью упорядочения деятельности при участии всех заинтересованных сторон. Стандартизация должна обеспечить возможно полное удовлетворение интересов производителя и потребителя, повышение производительности труда, экономное расходование материалов, энергии, рабочего времени и гарантировать безопасность при производстве и эксплуатации.

Объектами стандартизации являются изделия, нормы, правила, требования, методы, термины, обозначения и т.п., имеющие перспективу многократного применения в науке, технике, промышленности, сельском хозяйстве, строительстве, на транспорте и в связи, в культуре, здравоохранении, а также в международной торговле.

Термины и определения

В стандарте СТБ 1.0-96 применяют следующие термины с соответствующими определениями:

Безопасность – состояние, при котором риск вреда (персоналу) или ущерб ограничен допустимым уровнем.

Взаимозаменяемость – способность объекта быть использованным без модификаций вместо другого для выполнения тех же требований.

Государственная система стандартизации Республики Беларусь — совокупность государственных организационных структур, структур в отраслях народного хозяйства Республики Беларусь, определенного порядка и правил их взаимодействия при выполнении работ по стандартизации.

Качество продукции – совокупность характеристик продукции, относящихся к ее способности удовлетворить установленные и предполагаемые потребности.

Нормативный документ – документ, содержащий правила, общие принципы или характеристики, касающиеся различных видов деятельности или их результатов.

Объект стандартизации – предмет (продукция, процесс, услуга), подлежащий стандартизации.

Обязательные требования, устанавливаемые в государственных стандартах Республики Беларусь – требования, обеспечивающие безопасность продукции, работ и услуг для жизни, здоровья и имущества граждан и охрану окружающей среды, совместимость и взаимозаменяемость, требования к маркировке, методам испытаний и контроля, метрологическим характеристикам средств измерений.

Охрана здоровья людей – защита здоровья людей от неблагоприятного воздействия продукции, процессов, услуг и окружающей среды.

Охрана окружающей среды – защита окружающей среды от неблагоприятного воздействия продукции, процессов и услуг.

Применение стандарта – использование стандарта его пользователями с выполнением требований, установленных стандартом, в соответствии с областью его распространения и сферой действия, а также использование стандарта в справочно-информационных целях.

Применение международного, регионального или национального стандарта другого государства – использование международного, регионального или национального стандарта другого государства в качестве государственного стандарта Республики Беларусь непосред-

ственно (при издании на русском языке) или путем полного или частичного включения его содержания в отечественный документ по стандартизации.

Руководящий документ отрасли – нормативный документ по стандартизации, утвержденный компетентным органом в определенной области деятельности (руководящим органом отрасли).

Совместимость – способность объектов к совместному использованию в конкретных условиях с целью выполнения соответствующих требований.

Техническое описание – нормативный документ на конкретную продукцию (группу однородной продукции), разрабатываемый в случаях, предусмотренных стандартом (техническими условиями) изданную продукцию (группу однородной продукции) или стандартом (руководящим документом), определяющим порядок постановки на производство простейших товаров народного потребления, утвержденный разработчиком (изготовителем) продукции.

Технические условия – нормативный документ на конкретную продукцию (услугу, группу продукции, услуг), утвержденный разработчиком (изготовителем) продукции.

Унификация – выбор оптимального числа размеров или видов продукции, процессов или услуг, необходимых для удовлетворения основных потребностей.

Основные термины и их определения в соответствии с законом Республики Беларусь от 5 января 2004 г. № 262-З «О техническом нормировании и стандартизации»:

- *Объекты технического нормирования, объекты стандартизации* — продукция, процессы ее разработки, производства, эксплуатации (использования), хранения, перевозки, реализации и утилизации или оказание услуг;
- *Технические требования* – технические нормы, правила, характеристики и (или) иные требования к объектам технического нормирования или стандартизации;
- *Техническое нормирование* – деятельность по установлению обязательных для соблюдения технических требований, связанных с безопасностью продукции, процессов ее разработки, производства, эксплуатации (использования), хранения, перевозки, реализации и утилизации или оказания услуг;
- *Безопасность продукции, процессов ее разработки, производства, эксплуатации (использования), хранения, перевозки, реализа-*

ции и утилизации или оказания услуг – соответствие продукции, процессов ее разработки, производства, эксплуатации (использования), хранения, перевозки, реализации и утилизации или оказания услуг техническим требованиям, предусматривающим отсутствие недопустимого риска причинения вреда жизни, здоровью и наследственности человека, имуществу и окружающей среде;

- *Стандартизация* – деятельность по установлению технических требований в целях их всеобщего и многократного применения в отношении постоянно повторяющихся задач, направленная на достижение оптимальной степени упорядочения в области разработки, производства, эксплуатации (использования), хранения, перевозки, реализации и утилизации продукции или оказания услуг;
- *Технический регламент* – технический нормативный правовой акт, разработанный в процессе технического нормирования, устанавливающий непосредственно и (или) путем ссылки на технические кодексы установившейся практики и (или) государственные стандарты Республики Беларусь обязательные для соблюдения технические требования, связанные с безопасностью продукции, процессов ее разработки, производства, эксплуатации (использования), хранения, перевозки, реализации и утилизации или оказания услуг;
- *Технический кодекс* установившейся практики (далее – технический кодекс) – технический нормативный правовой акт, разработанный в процессе стандартизации, содержащий основанные на результатах установившейся практики технические требования к процессам разработки, производства, эксплуатации (использования), хранения, перевозки, реализации и утилизации продукции или оказанию услуг;
- *Стандарт* – технический нормативный правовой акт, разработанный в процессе стандартизации на основе согласия большинства заинтересованных субъектов технического нормирования и стандартизации и содержащий технические требования к продукции, процессам ее разработки, производства, эксплуатации (использования), хранения, перевозки, реализации к утилизации или оказанию услуг;
- *Международный стандарт* – стандарт, утвержденный (принятый) международной организацией по стандартизации;

- *Межгосударственный (региональный) стандарт* – стандарт, утвержденный (принятый) межгосударственной (региональной) организацией по стандартизации;
- *Государственный стандарт Республики Беларусь* (далее государственный стандарт) – стандарт, утвержденный Комитетом по стандартизации, метрологии и сертификации при Совете Министров Республики Беларусь, а в области архитектуры и строительства – Министерством архитектуры и строительства Республики Беларусь;
- *Стандарт организации* – стандарт, утвержденный юридическим лицом или индивидуальным предпринимателем;
- *Технические условия* – технический нормативный правовой акт, разработанный в процессе стандартизации, утвержденный юридическим лицом или индивидуальным предпринимателем и содержащий технические требования к конкретным типу, марке, модели, виду реализуемой ими продукции или оказываемой услуге, включая правила приемки и методы контроля;
- *Государственная регистрация технических нормативных правовых актов в области технического нормирования и стандартизации* – присвоение уполномоченным государственным органом регистрационных номеров техническим нормативным правовым актам в области технического нормирования и стандартизации с целью их учета и идентификации;
- *Система технического нормирования и стандартизации* – совокупность технических нормативных правовых актов в области технического нормирования и стандартизации, субъектов технического нормирования и стандартизации, а также правил и процедур функционирования системы в целом.

12.2 Цели и задачи развития стандартизации

К целям и задачам развития стандартизации относятся:

- содействие ликвидации технических барьеров в торговле;
- гармонизация методов и практики стандартизации с принятыми в мировом сообществе;
- реализация скоординированной со странами СНГ политики по обеспечению разработки, принятия и применения межгосударственных стандартов.
- переход на единые с Российской Федерацией стандарты;

- обеспечение безопасности для жизни, здоровья и имущества людей, животных, растений, охраны окружающей среды;
- создание условий для рационального использования всех видов ресурсов, соответствия объектов стандартизации своему назначению.

Создание системы технического нормирования и стандартизации, базирующейся на Соглашении Всемирной торговой организации по техническим барьерам в торговле:

- совершенствование организационной структуры стандартизации на государственном уровне;
- совершенствование планирования разработки государственных стандартов;
- установление порядка взаимодействия центральных органов управления, разрабатывающих технические регламенты, с Республиканским органом по стандартизации (Госстандартом);
- внедрение в процессы стандартизации принципиально новых информационных технологий;
- сокращение сроков разработки государственных стандартов;
- активизация деятельности в работе международных организаций по стандартизации ИСО и МЭК, Европейской Экономической Комиссии ООН и других организациях по стандартизации;
- максимальное применение международных и региональных стандартов.

12.3 Принципы стандартизации

Рассматривают следующие принципы стандартизации:

- *гармонизация* требований государственных стандартов с международными и региональными стандартами;
- *открытость* процессов разработки стандартов;
- *обеспечение права участия* всех заинтересованных в разработке стандартов;
- *доступность* стандартов и информации о них для пользователей;
- *общее согласие* (консенсусе) при принятии стандартов;
- *целесообразность* разработки стандарта;
- *однозначность* понимания требований, излагаемых в стандартах, всеми заинтересованными сторонами и пользователями стандартов;

- *прогрессивность и оптимальность* требований, включаемых в стандарты;
- *комплексность*.

Гармонизация требований государственных стандартов с международными и региональными стандартами

Международные стандарты широко применяются на региональном и национальном уровне, используются изготовителями, торговыми организациями, страховыми компаниями, покупателями и потребителями, испытательными лабораториями, органами по сертификации и другими заинтересованными сторонами. Поскольку международные стандарты обычно отражают передовой опыт промышленных предприятий, результаты научных исследований, требования потребителей и государственных органов и представляют собой правила, общие принципы или характеристики для большинства стран, то они являются одним из важных условий, обеспечивающих устранение технических барьеров в торговле.

Соответствие государственных стандартов международным, европейским и национальным стандартам промышленно развитых стран позволит обеспечить взаимозаменяемость продукции, процессов и услуг, взаимное понимание результатов испытаний или информации, представляемой в соответствии с этими стандартами.

Открытость процессов разработки стандартов должна обеспечиваться на всех стадиях, начиная от планирования до принятия.

Это достигается:

- публикацией плана государственной стандартизации и проектов всех стандартов;
- единством и непротиворечивостью правил и процедур разработки и принятия стандартов с обязательностью научно-технической экспертизы всех проектов стандартов

Обеспечение права участия всех заинтересованных в разработке стандартов. Разработка стандартов должна выполняться, как правило, техническими комитетами по стандартизации, объединяющими на добровольной основе все юридические и/или физические лица, заинтересованные в стандартизации того или иного объекта.

Доступность стандартов и информации о них для пользователей. Официальная информация о разрабатываемых и принятых стандартах, а также сами стандарты должны быть доступны для пользователей.

Общее согласие (консенсус) при принятии стандартов. Стандарты должны приниматься при отсутствии серьезных возражений по существенным вопросам у большинства заинтересованных сторон, т.е. при общем согласии (консенсусе). Это достигается в результате процедуры, при которой учитываются мнения всех сторон и сближаются несовпадающие точки зрения. При этом принимаются во внимание все критические замечания, участвующие стороны равноправны.

Целесообразность разработки стандарта определяется его социальной, экономической и технической необходимостью и приемлемостью при применении. При этом до принятия решения о разработке государственного стандарта должна быть оценена возможность непосредственного введения в республике действующих международных, региональных стандартов, распространяющихся на соответствующий объект стандартизации. Практически разработка оригинальных государственных стандартов должна осуществляться в тех случаях, когда отсутствуют соответствующие международные или региональные стандарты или их требования противоречат законодательству республики.

В стандартах должны устанавливаться только необходимые требования, ориентированные на общую выгоду, так как стандартизация – не самоцель.

Однозначность понимания требований, излагаемых в стандартах, всеми заинтересованными сторонами и пользователями стандартов. Изложение стандартов должно быть четким и ясным в целях обеспечения однозначного понимания их требований:

- содержание разрабатываемых стандартов не должно повторять и противоречить требованиям взаимосвязанных с ними действующих стандартов;
- метод ссылки с твердой идентификацией в технических регламентах и стандартах признать наиболее приоритетным (данный метод обеспечивает выполнение требований технических регламентов и других нормативных документов путем соблюдения конкретных стандартов);
- принимаемые стандарты должны быть пригодны для оценки соответствия, в том числе для сертификации.

Прогрессивность и оптимальность требований, включаемых в стандарты. Требования стандартов должны устанавливаться на основе использования современных достижений науки, технологии и практического опыта, на основе последних редакций международных

стандартов или их проектов и обеспечивать оптимальную степень упорядочения и максимально возможную эффективность в определенной области, не сдерживая инициативу пользователей стандартов в освоении новых видов продукции.

Комплексность. Целенаправленное и планомерное становление и применение системы взаимоувязанных требований как к самому объекту стандартизации в целом и его составным частям, так и к другим материальным и нематериальным факторам, влияющим на объект, путем согласования их показателей, норм и требований.

12.4 Уровни стандартизации

Развитие работ предусматривается на следующих уровнях стандартизации:

а) *международном* (в рамках Международной организации по стандартизации (ИСО) и Международной электротехнической комиссии (МЭК), членами которых является Республика Беларусь);

б) *региональном* (в рамках Евро-Азиатского совета по стандартизации, метрологии и сертификации и Всемирного форума по согласованию правил в области транспортных средств Комитета по внутреннему транспорту Европейской Экономической Комиссии ООН);

в) *национальном*: государственном; отраслевом; предприятия.

Развитие работ на перечисленных уровнях стандартизации позволит наиболее полно удовлетворить запросы пользователей и способствовать эффективному расходованию средств, выделяемых на стандартизацию. Государственное регулирование будет сконцентрировано на государственной и региональной (со странами СНГ) стандартизации.

На международном уровне субъектами хозяйствования республики проводятся работы по разработке проектов международных стандартов, анализу их научно-технического уровня, определению позиции Республики Беларусь при голосовании по принимаемым стандартам.

На региональном уровне ведется разработка и принятие межгосударственных стандартов, анализ проектов и изменений к Правилам ЕЭК ООН, присоединение к новым Правилам ЕЭК ООН.

На государственном уровне стандартизации осуществляется:

- обеспечение реализации государственной политики в области стандартизации;
- разработка предложений по совершенствованию деятельности в области стандартизации;
- принятие решений по созданию и прекращению деятельности технических комитетов по стандартизации;
- координация их деятельности, определение полномочий и порядка функционирования;
- формирование плана государственной стандартизации, координация его реализации, организация разработки государственных стандартов;
- рассмотрение и утверждение программ развития работ по государственной стандартизации конкретных видов (групп) продукции, подготовленных отраслевыми организациями;
- установление порядка разработки, утверждения, издания, пересмотра, внесения изменений и отмены государственных стандартов, требований к их обозначению, правила классификации и регистрации;
- проведение работ по гармонизации разрабатываемых государственных стандартов с международными (региональными) стандартами;
- рассмотрение предложений по принятию международных (региональных) стандартов в качестве государственных стандартов;
- разработка, экспертиза, утверждение, пересмотр, внесение изменений и отмена государственных стандартов и общегосударственных классификаторов;
- издание, распространение государственных стандартов и обеспечение пользователей информацией о них;
- формирование и ведение Национального фонда стандартов;
- предоставление информационных услуг в области стандартизации.

На отраслевом уровне осуществляется:

- разработка и представление в Республиканский орган по стандартизации предложений по созданию технических комитетов по стандартизации, разработке государственных стандартов или принятию международных (региональных) стандартов в качестве государственных стандартов;
- разработка проектов программ стандартизации конкретных видов (групп) продукции;

- разработка, утверждение, пересмотр, внесение изменений и отмена руководящих документов по стандартизации отраслей, установление особенностей их разработки;
- издание, распространение руководящих документов по стандартизации отраслей и обеспечение пользователей информацией о них;
- формирование и ведение информационных фондов нормативных документов.

На уровне предприятий осуществляется:

- подготовка предложений по разработке государственных стандартов или принятию международных (региональных) стандартов в качестве государственных стандартов;
- разработка, утверждение, пересмотр, внесение изменений и отмена стандартов предприятий, технических условий, установление особенностей их разработки;
- организация применения с учетом установленных сроков введения государственных стандартов, распространяющихся на соответствующие объекты стандартизации;
- проведение работ по унификации и сокращению (симплификации) применяемых материалов, комплектующих изделий;
- формирование и ведение информационных фондов нормативных документов.

Совершенствование проводимых на различных уровнях работ по стандартизации должно быть направлено на:

- приведение Государственной системы стандартизации Республики Беларусь в соответствие с новыми редакциями международных документов;
- активизацию участия предприятий и организаций в работе международных организаций по стандартизации и технических комитетов по стандартизации ИСО и МЭК, региональных организаций по стандартизации;
- упрощение процедур принятия государственных стандартов, идентичных международным и европейским стандартам;
- оптимизацию состава руководящих документов по стандартизации отраслей с целью исключения из него документов технического характера, противоречащих действующему законодательству по стандартизации;
- усиление роли стандартизации на уровне предприятий для преодоления сложившейся тенденции развала служб стандартизации в субъектах хозяйствования;

- придание стандарту предприятия статуса ссылочного документа в технической документации предприятия.

12.5 Категории и виды нормативных документов

С целью создания системы технического нормирования предусматривается упорядочение определенных Государственной системой стандартизации Республики Беларусь категорий нормативных документов.

К нормативным документам, устанавливающим правила, общие принципы или характеристики различных видов деятельности или их результатов, предлагается отнести:

- технические регламенты;
- нормативные документы по стандартизации;
- общегосударственные классификаторы технико-экономической и социальной информации.

Технические регламенты представляют собой обязательные для выполнения нормативные документы, утверждаемые органами государственного управления и содержащие требования к продукции (услуге) или связанным с ней процессами и способам производства.

Разработка технических регламентов осуществляется республиканскими органами управления в рамках их полномочий. При разработке технических регламентов приоритет должен быть отдан применению соответствующих международных стандартов за исключением случаев, когда они непригодны или неэффективны для решения задач:

- национальной безопасности, включая экономическую и технологическую безопасность;
- защиты жизни и здоровья граждан;
- охраны животного и растительного мира;
- охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов;
- энергосбережения;
- предупреждения действий, вводящих в заблуждение потребителей товаров и услуг относительно их назначения, качества и/или безопасности.

К категории технических регламентов будут относиться нормативно-правовые акты, устанавливающие обязательные требования к продукции (процессам, услугам), такие как государственные строительные нормы и правила, санитарные нормы и правила, нормы по-

жарной безопасности и др., а также государственные стандарты в части устанавливаемых в них обязательных требований.

К *нормативным документам* по стандартизации в зависимости от уровня стандартизации относятся документы следующих категорий:

- на государственном уровне – государственные стандарты;
- на отраслевом уровне – руководящие документы отраслей;
- на уровне предприятий – технические условия, стандарты предприятий.

На государственном уровне получит дальнейшее развитие такая разновидность стандартов как предстандарт, который разрабатывается в целях ускоренного внедрения и доведения до широкого круга потребителей результатов научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, а также накопления в процессе его применения необходимых данных, на которых должен базироваться стандарт. Предстандарт принимается на ограниченный промежуток времени по упрощенной процедуре.

Виды стандартов должны быть гармонизированы с международной практикой:

- основополагающие стандарты;
- терминологические стандарты;
- стандарты на продукцию (процесс, услугу);
- стандарты на совместимость;
- стандарты на методы испытаний (контроля, измерений, анализа).

Планируется введение такого нового вида стандартов (технических регламентов) на продукцию, как свод правил.

Данный документ будет устанавливать технические требования, процедуры проектирования, изготовления, монтажа, эксплуатации и утилизации для групп изделий.

12.6 Приоритетные направления государственной стандартизации

Приоритетные направления стандартизации определяются необходимостью нормативного обеспечения безопасности и качества продукции, работ и услуг и их развитие должно базироваться на научном потенциале отраслей экономики республики.

Проводимые работы по стандартизации на государственном уровне должны быть направлены как на создание нормативного обеспечения для отраслей, в которых отсутствуют государственные стандарты, так и обновление нормативного обеспечения в тех отраслях, где стандартизация традиционно развита. В тоже время необходимо учитывать приоритетные направления стандартизации, определенные международными и региональными организациями по стандартизации на основе достигнутого уровня развития науки и технологий, потребностей международного рынка. При этом основные усилия должны быть сконцентрированы на эффективном применении международных (региональных) стандартов, что позволит не заниматься разработкой новых документов и экономить материальные ресурсы.

В установленный Концепцией период предлагается определить приоритетными направлениями стандартизацию в следующих отраслях:

- общее машиностроение;
- автомобилестроение;
- сельскохозяйственное машиностроение;
- станкостроение;
- приборостроение;
- электротехника и радиоэлектроника;
- информационные технологии;
- агротехнический комплекс;
- топливно-энергетический комплекс;
- химическая и нефтехимическая промышленность;
- легкая промышленность;
- лесная, деревообрабатывающая и целлюлозно-бумажная промышленность;
- фармацевтическая и микробиологическая промышленность;
- услуги.

В рамках отраслей приоритет в области стандартизации следует отдавать экспортоориентированным видам продукции и услуг с целью повышения их конкурентоспособности, качества и обеспечения оценки соответствия. При этом оригинальные стандарты должны разрабатываться только в случае отсутствия аналогичного международного стандарта.

Аспекты стандартизации должны охватывать:

- безопасность;
- охрану окружающей среды;

- предупреждение и ликвидацию чрезвычайных ситуаций;
- обороноспособность;
- единство измерений;
- техническую и информационную совместимость;
- классификацию и кодирование информации;
- ресурсе сбережение;
- обеспечение качества.

Безопасность и охрана окружающей среды

Работы по стандартизации в данных направлениях являются важнейшей задачей нормативного обеспечения всех отраслей промышленности .

Стандартизация в области безопасности для жизни, здоровья и имущества людей должна быть направлена на установление требований безопасности к производству, оборудованию, технологии, эксплуатации, потреблению, снижению производственного и бытового травматизма, профессиональной заболеваемости, сохранению здоровья работников и их работоспособности в процессе труда.

Стандартизация в области безопасности животных и растений должна быть направлена на обеспечение надлежащего уровня санитарной, фитосанитарной и ветеринарной защиты.

Стандартизация в области охраны окружающей среды должна регулировать природоохранную деятельность, уровни вредных воздействий на окружающую природную среду и человека, экологическую оценку и экологическое управление деятельностью субъектов хозяйствования.

К важнейшим направлениям стандартизации также относятся методология оценки риска для здоровья и окружающей среды, а также утилизация продукции и отходов производства.

Предупреждение и ликвидация чрезвычайных ситуаций

Нормативные документы должны регламентировать вопросы мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций, установления требований к техническим средствам (аварийно-спасательная техника и оборудование) и способам проведения работ по предотвращению ликвидации чрезвычайных ситуаций и быть направлены на обеспечение безопасности хозяйственных объектов с учетом риска возникновения природных и техногенных катастроф.

Обороноспособность

Стандартизация оборонной продукции должна базироваться на общих организационных и методических принципах со стандартиза-

цией продукции гражданского назначения, представляя собой составную часть единой Государственной системы стандартизации Республики Беларусь.

Согласованная долгосрочная политика государства в области военной стандартизации определена в "Концепции стандартизации вооружения, военной и специальной техники в Республике Беларусь".

Единство измерений

Стандартизация в области единства измерений должна быть направлена на установление и применение научных и организационных основ, правил и норм, необходимых для достижения единства и требуемой точности измерений, а также на оценку влияния точности измерений на правильность основанной на результатах измерений информации о свойствах веществ и материалов, о количестве и качестве материальных и энергетических ресурсов, сырья, материалов, полуфабрикатов, продукции, о характеристиках процессов и явлений.

Информационные технологии

В области информационных технологий приоритеты должны быть отданы:

- формированию профиля взаимодействия открытых систем для создания, развития и совершенствования информационных систем и сетей;
- обеспечению внедрения CALS-технологий для современной организации разработки, производства, эксплуатации, технического обслуживания, ремонта и утилизации продукции путем информационной поддержки процессов жизненного цикла на основе стандартизации методов представления данных на каждой стадии жизненного цикла и безбумажного электронного обмена данными.

Техническая и информационная совместимость

Приоритет должен быть отдан разработке и внедрению методов и средств функциональной стандартизации, обеспечивающей пригодность продукции к совместному, не вызывающему нежелательных взаимодействий, использованию для выполнения установленных требований. Важнейшее направление – проведение работ по стандартизации в области электромагнитной совместимости.

Ресурсосбережение

В области ресурсосбережения приоритетными становятся следующие задачи:

- установление номенклатуры параметров ресурсо- и энергоэффективности продукции и услуг;
- стандартизация методов определения этих параметров;
- категорирование и маркировка продукции и услуг по диапазонам параметров ресурсо- и энергоэффективности.

Обеспечение качества

Нормативное обеспечение качества должно охватывать:

- стандартизацию методов управления качеством (статистические методы, планирование эксперимента, надежность, диагностирование анализ видов и последствий отказов, анализ точности процессов и т.д.);
 - стандартизацию в области обеспечения качества (системы менеджмента качества и управления окружающей средой, Национальная система сертификации, Система аккредитации и т.д.);
 - стандартизацию требований к конкретной продукции. Это прежде всего продукция межотраслевого применения (крепежные изделия, подшипники, резинотехнические изделия и т.д.), а также разработка стандартов на методы контроля как обязательных требований к продукции, так и их потребительских свойств, в том числе для предотвращения фальсификации продукции.

Услуги

Стандартизация в условиях глобализации торговли услугами преследует цель дать однозначное толкование распространенных понятия провести регламентацию требований к услугам, прежде всего в приоритетных секторах сферы услуг (туризм, гостиничное дело, перевозки, страхование, банковская деятельность, оценка стоимости различия: видов имущества, риэлтерские услуги и т.д.).

Классификация и кодирование информации

Дальнейшее развитие работ по совершенствованию Единой системы классификации и кодирования технико-экономической и социальной информации (ЕСКК ТЭСИ) должно базироваться на общих принцип развития стандартизации и предусматривать:

- совершенствование методологии ведения ЕСКК ТЭСИ с учетом международных требований;
- оптимизацию состава и структуры системы общегосударственных классификаторов;
- обеспечение совместимости информации о продукции, включая импортную, в том числе путем применения международных и региональных классификаторов;

- охват новых направлений (социальная сфера, банковская и финансовая деятельность, оценка основных фондов и т.д.).

12.7 Методы и практика стандартизации

Основные методы стандартизации:

- Развитие стандартизации должно основываться на совершенствовании научно-методических основ стандартизации таких, как:
 - системный подход;
 - программно-целевой метод;
 - управление многообразием.
- Реализация должна базироваться на проведении научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, в которых следует предусматривать:
 - анализ нормативного обеспечения приоритетных направлений развития техники;
 - разработку программ (разделов программ) стандартизации и целевых программ для групп продукции, процессов и услуг, а также в отдельных областях деятельности;
 - разработку конкретных стандартов.

Системный подход является методологическим средством исследования взаимосвязанного множества объектов стандартизации на основании причинно-следственных отношений, обратных связей и целенаправленного развития.

Программно-целевой метод заключается в разработке и практической реализации комплексных целевых программ по наиболее важным научно-техническим, экономическим и социальным проблемам.

Управление многообразием. Представляет собой научно-технический метод отбора, регламентации и создания оптимальной номенклатуры продукции и процессов. Управление многообразием является наиболее эффективным методом стандартизации. Элементы этого метода - систематизация, селекция, сокращение (симплификация), типизация, унификация и агрегатирование являются основой для проведения работ по стандартизации на предприятии.

Применение информационных технологий. Тенденции развития средств вычислительной техники и расширения электронных форм коммуникаций требуют применения информационных технологий при разработке стандартов, рассмотрении и голосовании по про-

ектам стандартов в электронном формате через информационные сети, а также создания стандартов принципиально новой формы представления информации - специализированных программ для персональных компьютеров.

12.8 Органы, осуществляющие государственное регулирование и управление в области технического нормирования и стандартизации

Органы, осуществляющие государственное регулирование и управление в области технического нормирования и стандартизации:

- Государственное регулирование и управление в области технического нормирования и стандартизации осуществляется Президентом Республики Беларусь, Советом Министров Республики Беларусь, Комитетом по стандартизации, метрологии и сертификации при Совете Министров Республики Беларусь, Министерством архитектуры и строительства Республики Беларусь и иными государственными органами в соответствии с законодательством Республики Беларусь.
- *Президент Республики Беларусь* осуществляет государственное регулирование и управление в области технического нормирования и стандартизации в соответствии с Конституцией Республики Беларусь, Законом Республики Беларусь от 21 февраля 1995 года «О Президенте Республики Беларусь» и иными законодательными актами Республики Беларусь.

***Совет Министров Республики Беларусь* в области технического нормирования и стандартизации:**

- обеспечивает проведение единой государственной политики;
- обеспечивает создание и функционирование системы технического нормирования и стандартизации;
- утверждает программы разработки технических регламентов и взаимосвязанных с ними государственных стандартов;
- устанавливает порядок разработки, утверждения, государственной регистрации, проверки, пересмотра, изменения, отмены, применения, официального издания технических регламентов, в том числе технических регламентов в отношении оборонной продукции, уведомления и опубликования информации о них;
- утверждает технические регламенты;

- устанавливает порядок государственного надзора за соблюдением требований технических регламентов и требования, предъявляемые к государственным инспекторам, осуществляющим государственный надзор за соблюдением технических регламентов;
- дает официальные толкования по вопросам применения технических регламентов;
- устанавливает порядок создания и ведения Национального фонда технических нормативных правовых актов в области технического нормирования и стандартизации, а также правила пользования этим фондом;
- осуществляет иные полномочия в области технического нормирования и стандартизации в соответствии с законодательными актами Республики Беларусь.

Комитет по стандартизации, метрологии и сертификации при Совете Министров Республики Беларусь в области технического нормирования и стандартизации:

- осуществляет реализацию единой государственной политики;
- осуществляет общую координацию разработки технических регламентов и государственных стандартов;
- устанавливает порядок разработки, утверждения, государственной регистрации, проверки, пересмотра, изменения, отмены, уведомления об этом, применения, опубликования технических кодексов, государственных стандартов, технических условий;
- утверждает, вводит в действие, отменяет государственные стандарты, вносит в них изменения (кроме государственных стандартов в области архитектуры и строительства);
- осуществляет государственную регистрацию технических регламентов, технических кодексов, государственных стандартов, технических условий (кроме технических условий, которые не проходят государственную регистрацию);
- определяет виды продукции (услуг), технические условия на которые не проходят государственную регистрацию;
- осуществляет официальное издание государственных стандартов (кроме государственных стандартов в области архитектуры и строительства);
- публикует информацию о действующих технических регламентах, технических кодексах, государственных стандартах, технических условиях;

- организует и проводит систематическую проверку действующих государственных стандартов (кроме государственных стандартов в области архитектуры и строительства) в целях их изменения или отмены;
- осуществляет государственный надзор за соблюдением требований технических регламентов (кроме технических регламентов, устанавливающих требования к зданиям, строениям и сооружениям);
- применяет в пределах своей компетенции к юридическим лицам и индивидуальным предпринимателям, нарушившим требования технических регламентов, меры воздействия, предусмотренные настоящим Законом и иными актами законодательства;
- участвует в работе по международной и межгосударственной (региональной) стандартизации (кроме стандартизации в области архитектуры и строительства).

***Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь* в области технического нормирования и стандартизации по вопросам архитектуры и строительства:**

- осуществляет реализацию единой государственной политики;
- координирует разработку технических регламентов и государственных стандартов; организует и проводит систематическую проверку действующих государственных стандартов в целях их обновления или отмены;
- утверждает, вводит в действие, отменяет государственные стандарты, вносит в них изменения;
- осуществляет официальное издание государственных стандартов;
- осуществляет государственный надзор за соблюдением требований технических регламентов;
- применяет в пределах своей компетенции к юридическими лицами индивидуальным предпринимателям, нарушившим требования технических регламентов, меры воздействия, предусмотренные настоящим Законом и иными актами законодательства;
- участвует в работе по международной и межгосударственной (региональной) стандартизации;
- дает официальные толкования по вопросам применения технических нормативных правовых актов, им утвержденных;
- утверждает по предложениям субъектов технического нормирования и стандартизации состав технических комитетов по стан-

дартизации, перечень закрепляемых за ними объектов стандартизации, а также положения об этих технических комитетах.

12.9 Международная стандартизация. Стандарты серий ISO 9000 и ISO 14000

В настоящее время стандарты серий ISO 9000 и ISO 14000 стали необходимыми нормами для большинства предприятий. Концептуальной основой ISO 9000 и ISO 14000 является то, что организация создает, обеспечивает и улучшает качество продукции при помощи сети процессов, которые должны подвергаться анализу и постоянному улучшению. Это подразумевает комплексное решение технических, экономических и социальных задач. Кроме того, очевидным становится тот факт, что игнорирование требований экологической безопасности и рационального использования ресурсов в конечном итоге приводит к неконкурентоспособности продукции, услуг и всего предприятия в целом.

По замыслу *ISO (International Standard Organization)*, система сертификации должна создаваться на национальном уровне. По опыту Канады ведущую роль в процессе создания национальной инфраструктуры сертификации играют национальные агентства по стандартизации, такие как Госстандарт, а также Торгово-промышленные палаты, союзы предпринимателей и т.д.

Стандарты серии ISO 9000 и ISO 14000 – это пакет документов по обеспечению качества и управлению окружающей средой, подготовленный членами международной делегации, известной как «ISO / Технический Комитет 176» (ISO / TC 176). Стандарты серии ISO 9000 способствуют обеспечению качества при проектировании, разработке, производстве, монтаже и обслуживании продукции, а ISO 14000 – охране окружающей среды и предотвращению загрязнений наряду с обеспечением социально-экономических потребностей самого предприятия.

Рассмотрим более подробно структуру серии ISO 9000.

В настоящее время серия ISO 9000 включает:

- все международные стандарты с номерами ISO 9000-9004, в том числе все части стандарта ISO 9000 и стандарта ISO 9004;
- все международные стандарты с номерами ISO 10001-10020, в том числе все их части;
- ISO 8402.

Три стандарта из серии ISO 9000 (ISO 9001, ISO 9002 и ISO 9003) являются основополагающими документами Системы Качества, описывающими модели обеспечения качества и представляющими три различные формы функциональных или организационных взаимоотношений в контрактной ситуации. Стандарты ISO 9000 и ISO 9004 представляют собой справочники по общему руководству качеством, стандартам по обеспечению качества, которые помогают пользователю прояснить трактовку требований стандартов ISO 9001, ISO 9002 и ISO 9003.

ISO 9000, ISO 9004 не являются моделями Обеспечения Качества и не должны рассматриваться как обязательные требования. Таким образом, бессмысленно говорить о сертификации или регистрации по ISO 9000 или ISO 9004. Могут быть получены только сертификаты на соответствие ISO 9001, 9002 или 9003.

К другим вспомогательным стандартам в области качества относятся:

ISO 10011 – Руководящие указания по проверке системы качества.

Данная группа является нормативной базой для органов, осуществляющих проверку системы качества предприятия (в том числе и при проведении сертификационного аудита).

ISO 10012 – Требования, гарантирующие качество измерительного оборудования.

Выполнение данных требований не является обязательным для соискателей сертификата соответствия стандартам ISO 9001, 9002 или 9003, однако трудно представить себе соблюдение требований ISO 9001, 9002 или 9003 без выполнения требований ISO 10012 или отсутствие у предприятия собственной метрологической базы.

ISO 10013 – Руководящие указания по разработке руководств по качеству.

Представлены основные рекомендации по составлению головного документа Системы Качества - Руководства по Качеству;

ISO 8402 – Управление качеством и обеспечение качества: Словарь.

Поскольку многие обычные слова, используемые повседневно, применяются в области качества в специфическом или ограниченном значении по сравнению с полным диапазоном определений, приводимым в словарях, то данный стандарт ставит целью пояснить и стандартизировать термины по качеству.

Общность и универсальность стандартов ISO 9000 заключается в том, что модели Обеспечения Качества не были разработаны для какой-либо специфической области - они предназначены для применения во всех областях промышленности и для всех стран.

Международный комитет ISO / TC 176 предлагает выбрать модель обеспечения качества из трёх возможных.

ISO 9001 – Система Качества: Модель обеспечения качества при проектировании, разработке, производстве, монтаже и обслуживании.

ISO 9001 является наиболее обширным стандартом; он применим в случае договорной ситуации, когда соответствие специфическим требованиям должно обеспечиваться в течение нескольких стадий, включающих: разработку, производство, монтаж и обслуживание. Это применимо, когда:

необходимо проектирование продукции и требования к ней определены в виде эксплуатационных характеристик;

доверие к соответствию продукции может быть достигнуто путем соответствующей демонстрации поставщиком его возможностей в проектировании, разработке, производстве, монтаже и обслуживании.

ISO 9002 – Система Качества: Модель обеспечения качества при производстве, монтаже и обслуживании.

ISO 9002 применим в договорной ситуации когда:

специфические требования к продукции установлены в проекте или в технических условиях;

доверие к соответствию продукции может быть достигнуто путем соответствующей демонстрации поставщиком его возможностей в производстве, монтаже и обслуживании.

ISO 9003 – Система Качества: Модель обеспечения качества при окончательном контроле и испытаниях.

ISO 9003 применим в договорной ситуации, когда:

доверие к соответствию продукции установленным требованиям может быть достигнуто путем соответствующей демонстрации поставщиком его возможностей в окончательном контроле и испытаниях.

Таким образом, ISO 9001 является наиболее обширным: в нем описывается система качества, которая распространяется на все возможные виды деятельности предприятия, ISO 9002 в меньшей степени описывает эту систему, исключив из рассмотрения деятельность

по проектированию, ISO 9003 еще в меньшей степени, чем ISO 9002 описывают систему, не затрагивая проектную, производственную и послепродажную деятельность.

Разработка единой системы менеджмента качества, как в регулируемой, так и в нерегулируемой государственным законодательством областях производства продукции, способствует тому, чтобы сократить общее количество (и весьма значительное) различных стандартов, предписаний, положений и других документов, часто противоречивых, которые производитель должен выполнять и которые, в силу их количества и противоречивости, он часто не в состоянии выполнить.

Таким образом, активизация деятельности субъектов отечественной экономики на формируемом национальном рынке в области управления качеством и конкурентоспособностью продукции и услуг создали объективные предпосылки для развития стандартизации требований к системам качества. Одновременно возникла необходимость создания национальных стандартов, определяющих правила и процедуры проведения сертификации систем качества продукции, работ и услуг. Введение в стране этих серий национальных стандартов способствует повышению конкурентоспособности отечественной продукции, работ и услуг, создает условия для реализации прав российских граждан на их безопасность, дополняет механизм реализации законодательных актов в области стандартизации и сертификации.

Тема 13. ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНАЯ

*Если Вы со мной не согласны,
это значит только то,
что Вы меня не слушали...*

Метрология делится на три самостоятельных и взаимно дополняющих раздела, основным из которых является **«Теоретическая метрология»**. В нем излагаются общие вопросы теории измерений.

Раздел **«Прикладная метрология»** посвящен изучению вопросов практического применения в различных сферах деятельности результатов теоретических исследований.

В заключительном разделе **«Законодательная метрология»** рассматриваются комплексы взаимосвязанных и взаимообусловлен-

ных общих правил, требований и норм, а также другие вопросы, нуждающиеся в регламентации и контроле со стороны государства, направленные на обеспечение единства измерений и единообразия средств измерений (СИ).

Основное понятие метрологии – измерение.

Согласно ГОСТ 16263-70, **измерение – это нахождение значения физической величины (ФВ) опытным путем с помощью специальных технических средств.**

Значимость измерений выражается в трех аспектах: философском, научном и техническом.

По способу получения результата измерений измерения разделяют на прямые, косвенные, совокупные и совместные

- ***Прямое измерение*** – это измерение, при котором искомое значение величины находят непосредственно из опытных данных. Например, измерение массы на циферблатных весах, длины микрометром, температуры термометром, электрического напряжения вольтметром. При прямых измерениях измеряемую физическую величину сравнивают непосредственно с мерой или преобразуют в другую физическую величину, которую также сравнивают с мерой. В качестве меры здесь обычно выступает шкала прибора.
- ***Косвенное измерение*** – это измерение, при котором искомое значение величины находят на основании известной зависимости между этой величиной и величинами, подвергаемыми прямым измерениям. Если измеряемая величина Q связана с другими величинами X_1, X_2, \dots, X_n , уравнением $Q = f(X_1, X_2, \dots, X_n)$, то величину Q вычисляют по указанному уравнению между величинами.

По способу выражения результатов различают абсолютные и относительные измерения:

- ***Абсолютное измерение*** - это измерение, основанное на прямых измерениях одной или нескольких основных величин и (или) использовании физических констант. Примером абсолютных измерений может служить измерение длины рулеткой, измерение силы с помощью мер массы и константы земного ускорения.
- ***Относительным измерением*** называется измерение отношения величины к одноименной величине, играющей роль единицы, или изменения величины по отношению к одноименной величине, принимаемой за исходную. Например, при измерении

частоты на осциллографе путем сравнения с некоторой известной частотой, наблюдают интерференционные фигуры (фигуры Лиссажу), которые идентифицируются в зависимости от отношения частот.

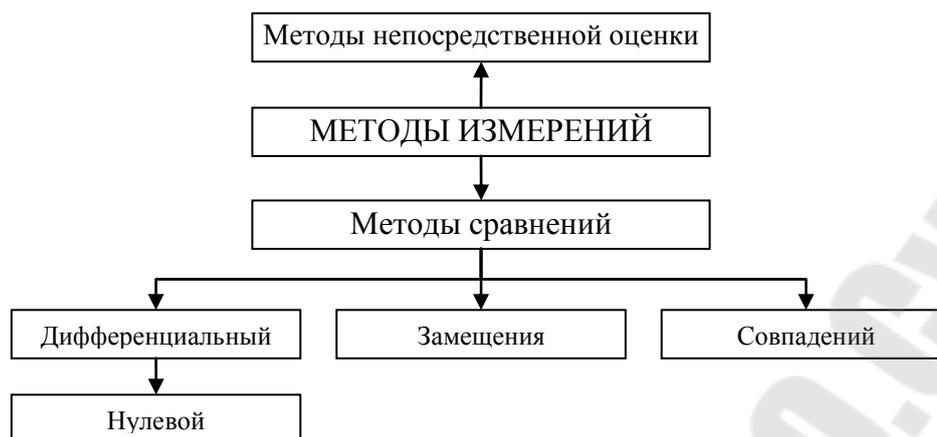
По характеру зависимости измеряемой величины от времени измерения разделяют на:

- *статические* – при которых измеряемая величина остается постоянной во времени;
- *динамические* – в процессе которых измеряемая величина изменяется.

К статическим относятся измерения геометрических размеров тела, измерения постоянного давления. К динамическим – измерения пульсирующих давлений, вибрации.

- ***Однократные измерения*** – измерения, выполняемые один раз.
- ***Многократные измерения*** – измерения одной и той же физической величины, результат которых получают из нескольких следующих друг за другом измерений. Обычно многократными считаются измерения проводимые свыше трех раз.
- ***Технические измерения*** – измерения, выполняемые при помощи рабочих средств измерений с целью контроля и управления научными экспериментами, контроля параметров изделия.
- ***Метрологические измерения*** – измерения при помощи эталонов и образцовых средств измерений с целью нововведения единиц физических величин или передачи их размеров рабочим средствам измерений.
- ***Равноточные измерения*** – ряд измерений какой-либо величины, выполненных одинаковыми по точности средствами измерений в одних и тех же условиях.
- ***Неравноточные измерения*** – ряд измерений какой-либо величины, выполненных различными по точности средствами измерений и в разных условиях.

Классификация методов измерения



Погрешность измерения – отклонение результата измерения от истинного значения измеряемой величины.

Абсолютная погрешность измерения – погрешность, выраженная в единицах измеряемой величины:

$$\Delta x = x - A.$$

Относительная погрешность измерения (%) – отношение абсолютной погрешности измерения к истинному значению измеряемой величины:

$$dx = \Delta x/A.$$

Относительная погрешность не может служить показателем точности измерений, так как она может существенно изменяться в зависимости от значения измеряемой величины. Для нормирования погрешности средств измерений используется понятие приведенной погрешности, которое определяется как:

$$\gamma_{пр} = \Delta x/A_n,$$

где A_n – нормируемое значение (для большинства приборов это максимальное значение шкалы)

Измерения являются одним из самых древних занятий в познавательной деятельности человека. Их возникновение относится к истокам материальной культуры человечества. По мере развития общества появилась необходимость в количественной оценке различных величин – расстояний, веса, размеров, объемов и т.д. Эту оценку старались свести к счету, для чего выбирались природные и антропологические единицы. Например, **время измерялось в сутках, годах; линейные размеры – в локтях, ступнях; расстояния – в шагах, сутках пути.**

ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ И ИХ ЕДИНИЦЫ

Физическая величина ГОСТ 16263-70 определена как 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.

Так, все тела обладают массой и температурой, но для каждого из них количественная оценка массы или температуры будет различной.

Не следует применять термин «величина» для выражения только количественной стороны рассматриваемого свойства. Например, неправильно употреблять выражения: «величина массы», «величина давления», «величина силы» и т. п., потому что свойства – масса, давление, сила – сами являются величинами. В этих случаях речь идет о размерах физических величин, и поэтому следует говорить «размер массы», «размер давления».

Сигналы измерительной информации

Сигналом называется материальный носитель информации, представляющий собой некоторый физический процесс, один из параметров которого функционально связан с измеряемой физической величиной. Такой параметр называют *информативным*.

Сигнал измерительной информации – сигнал, функционально связанный с измеряемой физической величиной и несущий информацию о ее значении.

Классификация измерительных сигналов



Основные и дополнительные единицы физических величин системы СИ

Величина			Единица		
Наименование	Размерность	Рекомендуемое обозначение	Наименование	Обозначение русское	Обозначение международное
Основные					
Длина	L	l	метр	м	m
Масса	M	m	килограмм	кг	kg
Время	T	t	секунда	с	s
Сила электрического тока	I	I	ампер	А	A
Термодинамическая температура	θ	T	кельвин	К	K
Количество вещества	N	n, ν	моль	моль	mol
Сила света	J	J	кандела	кд	cd
Дополнительные					
Плоский угол	-	-	радиан	рад	rad

Телесный угол	-	-	стерадиан	sr	sr
---------------	---	---	-----------	----	----

ЭТАЛОНЫ

Для обеспечения единства измерений необходима тождественность единиц, в которых проградуированы все средства измерений одной и той же физической величины. Это достигается путем точного воспроизведения и хранения установленных единиц физических величин и передачи их размеров применяемым средствам измерений.

Воспроизведение, хранение и передача размеров единиц осуществляются с помощью *эталонов и образцовых средств измерений*. Высшим звеном в метрологической цепи передачи размеров единиц измерений являются эталоны.

Эталон единицы представляет собой средство измерений (или комплекс средств измерений), обеспечивающее воспроизведение и хранение единицы физической величины (или одну из этих функций) с целью передачи размера единицы образцовым, а от них рабочим средствам измерений и утвержденное в качестве эталона в установленном порядке.

Эталон называется *первичным*, если он воспроизводит единицу с наивысшей в стране (по сравнению с другими эталонами) точностью. Первичные эталоны основных единиц воспроизводят единицу в соответствии с ее определением.

Первичный, или специальный, эталон, официально утвержденный в качестве исходного для страны, называется *государственным*.

Основное назначение эталонов – служить материально-технической базой воспроизведения и хранения единиц физических величин.

По своему метрологическому назначению вторичные эталоны делят на *эталон-копии, эталоны сравнения, эталоны-свидетели и рабочие эталоны*.

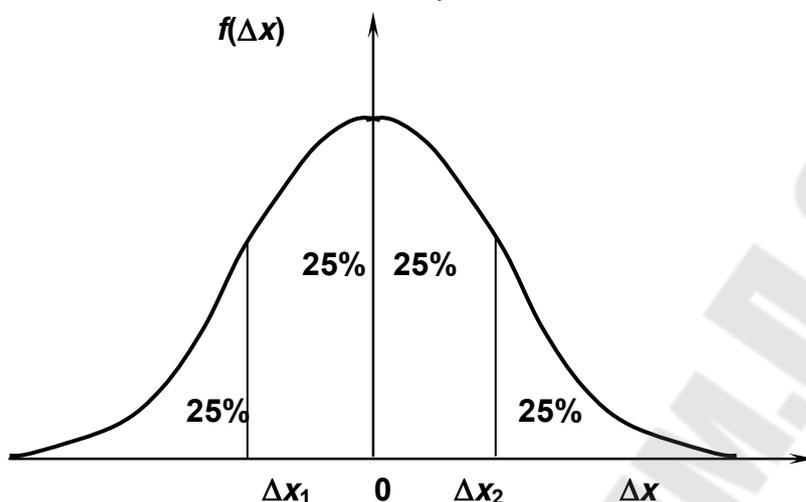
Допускается применение государственного эталона в качестве рабочего, если это предусмотрено правилами хранения и применения эталона.

Числовые вероятностные характеристики случайных погрешностей

- Для описания частных свойств случайной величины используют числовые характеристики распределений. В качестве **числовых характеристик** выступают моменты случайных величин: **начальные и центральные**.

- Все они представляют собой некоторые средние значения; причем, если усредняются величины, отсчитываемые от начала координат, моменты называются начальными, а если от центра закона распределения – то центральными.

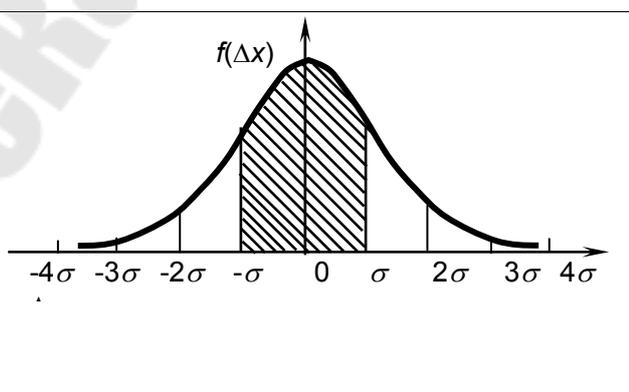
Квантильные оценки случайной величины



На рис. Δx_1 , есть 25 %-ная квантиль, Так площадь под кривой $f(\Delta x)$ слева от нее составляет 25 % всей площади. Абсцисса Δx_2 соответствует 75 %-ной квантили. Между Δx_1 и Δx_2 заключено 50 % всех возможных значений погрешности, а остальные лежат вне этого интервала.

На графике нормального распределения погрешностей по оси абсцисс отложены интервалы с границами $\pm\sigma$, $\pm 2\sigma$, $\pm 3\sigma$, $\pm 4\sigma$. Доверительные вероятности для этих интервалов приведены в таблице.

$t\sigma$	P
$\pm\sigma$	0,68
$\pm 2\sigma$	0,95
$\pm 3\sigma$	0,997
$\pm 4\sigma$	0,999



ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ С ПОМОЩЬЮ ИНТЕРВАЛОВ

Смысл оценки параметров с помощью интервалов заключается в нахождении интервалов, называемых доверительными, между грани-

цами которых с определенными вероятностями (доверительными) находятся истинные значения оцениваемых параметров.

Пример. По результатам пяти наблюдений была найдена длина стержня. Итог измерений составляет $L=15,785$ мм, $\sigma_{\bar{x}}=0.005$ мм, причем существуют достаточно обоснованные предположения о том, что распределение результатов наблюдений было нормальным. Требуется оценить вероятность того, что истинное значение длины стержня отличается от среднего арифметического из пяти наблюдений не больше чем на 0,01 мм.

Из условия задачи следует, что имеются все основания для применения распределения Стьюдента.

Вычисляем значение дроби Стьюдента

$$tp = \frac{0,010}{\sigma_{\bar{x}}} = \frac{0,010}{0,005} = 2$$

и число степеней свободы $k = n - 1 = 5 - 1 = 4$

По данным стандартных таблиц находим значение доверительной вероятности для

$t_p = 2$ и $k = 4$:

$$P(|\bar{X} - Q| < 0.010) = P(|\bar{X} - Q| < 2\sigma_{\bar{x}}) = 0,8838$$

Систематические погрешности принято классифицировать в зависимости от причин их возникновения и по характеру их проявления при измерениях:

- погрешности метода,
- инструментальные погрешности,
- погрешности, обусловленные неправильной установкой и взаимным расположением средств измерения,

- личные погрешности

Погрешности метода

- Погрешности метода, или теоретические погрешности, проистекающие от ошибочности или недостаточной разработки принятой теории метода измерений в целом или от допущенных упрощений при проведении измерений.
- Погрешности метода возникают также при экстраполяции свойства, измеренного на ограниченной части некоторого объекта, на весь объект, если последний не обладает однородностью измеряемого свойства.

Пример:

При определении плотности вещества по измерениям массы и объема некоторой пробы возникает систематическая погрешность, если проба содержала некоторое количество примесей, а результат измерения принимается за характеристику данного вещества вообще.

Инструментальные погрешности

- Инструментальные погрешности, зависящие от погрешностей применяемых средств измерений. Среди инструментальных погрешностей в отдельную группу выделяются погрешности схемы, не связанные с неточностью изготовления средств измерения и обязанные своим происхождением самой структурной схеме средств измерений.
- Исследование инструментальных погрешностей является предметом специальной дисциплины - теории точности измерительных устройств.

Погрешности, обусловленные неправильной установкой и взаимным расположением средств измерения

Погрешности, обусловленные неправильной установкой и взаимным расположением средств измерения, являющихся частью единого комплекса, несогласованностью их характеристик, влиянием внешних температурных, гравитационных, радиационных и других полей, нестабильностью источников питания, несогласованностью входных и выходных параметров электрических цепей приборов и так далее.

Личные (субъективные) погрешности

Личные погрешности, обусловленные индивидуальными особенностями наблюдателя.

Такого рода погрешности вызываются, например, запаздыванием или опережением при регистрации сигнала, неправильным отсчетом десятых долей деления шкалы, асимметрией, возникающей при установке штриха посередине между двумя рисками.

Обработка результатов прямых равнодисперсионных наблюдений

Прямыми называются измерения, в результате которых искомое значение физической величины находят непосредственно из опытных данных. Прямые измерения осуществляются путем многократных наблюдений.

Результаты наблюдений $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ называются равнодисперсионными, если они являются независимыми, одинаково распреде-

ленными случайными величинами. Равнорассеянные результаты получают при измерениях, проводимых одним наблюдателем или группой наблюдателей с помощью одних и тех же методов и средств измерений в неизменных условиях внешней среды.

Обработка результатов наблюдений в соответствии с методикой прямых измерений с многократными наблюдениями производится в следующем порядке:

1. Путем введения поправок исключают известные систематические погрешности из результатов наблюдений.

2. Вычисляют среднее арифметическое \bar{X} исправленных результатов наблюдений, принимая его за оценку истинного значения измеряемой величины.

3. Вычисляют оценку S_x среднеквадратического отклонения результатов наблюдения и оценку $S_{\bar{X}}$ среднеквадратического отклонения среднего арифметического \bar{X} .

4. Проверяют гипотезу о нормальности распределения результатов наблюдения. Если число результатов $n > 50$, используют критерий Пирсона χ^2 , при $15 < n < 50$ – составной критерий. Уровень значимости выбирается из интервала 0,02 – 0,10. При $n < 15$ нормальность распределения не проверяется.

Государственная система обеспечения единства измерений

- Принципы обеспечения единства измерений:
- применение только узаконенных единиц физических величин (ФВ);
- воспроизведение ФВ с помощью государственных эталонов;
- применение узаконенных средств измерений, которые прошли государственные испытания и которым переданы размеры единиц ФВ от государственных эталонов;
- обязательный периодический контроль через установленные промежутки времени характеристик применяемых средств измерений;
- гарантия обеспечения необходимой точности измерений при использовании поверенных средств измерений и аттестованных методик выполнения измерений;

- использование результатов измерений только при условии оценки их погрешности с заданной вероятностью;
- систематический контроль за соблюдением метрологических правил и норм, государственный надзор и ведомственный контроль за средствами измерений.

Цели, задачи и содержание МО

- Из необходимости обеспечения единства и требуемой точности измерений формулируются задачи МО всех видов метрологической деятельности на общегосударственном и ведомственном уровнях.
- К основным задачам МО на предприятиях относятся:
- проведение анализа состояния измерений, разработка и осуществление мероприятий по совершенствованию МО на предприятии;
- установление рациональной номенклатуры измеряемых параметров и оптимальных норм точности измерений, внедрение современных методик выполнения измерений, испытаний и контроля;
- внедрение стандартов, регламентирующих нормы точности измерений;
- проведение метрологической экспертизы нормативно-технической, конструкторской и технологической документации;
- поверка и метрологическая аттестация средств измерений (СИ);
- контроль за производством, состоянием, применением и ремонтом СИ.
- Ответственность за состояние и применение средств измерений на предприятиях несут инженеры, эксплуатирующие эти средства, а на предприятии (в организации) - руководитель предприятия (организации).

МЕТРОЛОГИЧЕСКИЙ НАДЗОР ЗА СРЕДСТВАМИ ИЗМЕРЕНИЙ

- Государственные и отраслевые поверочные схемы
- В основе обеспечения единообразия средств измерений лежит система передачи размера единицы измеряемой величины. Технической формой надзора за единообразием средств измерений является государственная (ведомственная) поверка средств измерений, устанавливающая их метрологическую исправность.

- Достоверная передача размера единиц во всех звеньях метрологической цепи от эталонов или от исходного образцового средства измерений к рабочим средствам измерений производится в определенном порядке, приведенном в поверочных схемах. Поверочная схема – это утвержденный в установленном порядке документ, регламентирующий средства, методы и точность передачи размера единицы физической величины от государственного эталона или исходного образцового средства измерений рабочим средствам.
- Различают государственные, ведомственные и локальные поверочные схемы органов государственной или ведомственных метрологических служб.

Средства измерений подвергают первичной, периодической, внеочередной, инспекционной и экспертной поверкам.

- Первичной поверке подвергаются СИ при выпуске из производства или ремонта, а также СИ, поступающие по импорту.
- Периодической поверке подлежат СИ, находящиеся в эксплуатации или на хранении через определенные межповерочные интервалы, установленные с расчетом обеспечения пригодности к применению СИ на период между поверками.
- Инспекционную поверку производят для выявления пригодности к применению СИ при осуществлении госнадзора и ведомственного метрологического контроля за состоянием и применением СИ.
- Экспертную поверку выполняют при возникновении спорных вопросов по метрологическим характеристикам (МХ), исправности СИ и пригодности их к применению.

Обязательной государственной поверке подлежат:

- средства измерений, применяемые органами государственной метрологической службы;
- образцовые средства измерений, применяемые в качестве исходных в метрологических органах министерств и ведомств;
- средства измерений, применяемые при учете материальных ценностей, взаимных расчетах и торговле;
- средства измерений, связанные с охраной здоровья трудящихся и техникой безопасности;
- средства измерений, применяемые при государственных испытаниях новых средств измерений;

- средства измерений, результаты которых используются при регистрации официальных спортивных международных и национальных рекордов.

Установлены два вида государственных испытаний:

- **приемочные испытания** опытных образцов средств измерений новых типов, намеченных к серийному производству или импорту в РФ (государственные приемочные испытания);
- **контрольные испытания** образцов из установочной серии и серийно выпускаемых средств измерений (государственные контрольные испытания).

Техническое обслуживание средств измерений и контроля

Основой поддержания средств измерений и контроля в исправном состоянии и постоянной готовности к применению по назначению является техническое обслуживание. Периодичность, объем и порядок проведения технического обслуживания приборов, применяемых автономно, определяются эксплуатационной документацией на эти приборы, а приборов, встроенных в технические устройства, – эксплуатационной документацией на эти устройства. При этом не допускается нарушение пломб, оттисков клейм, если это не предусмотрено эксплуатационными документами.

Различают техническое обслуживание по установленному регламенту или по текущему состоянию.

В зависимости от объема работ техническое обслуживание по регламенту может быть

- ежедневным,
- еженедельным,
- ежемесячным,
- полугодовым,
- годовым.

Ежедневно обслуживаются только применяемые в данный день приборы.

Все неисправности средств измерений и контроля, выявленные в процессе технического обслуживания, должны быть устранены.

Запрещается выполнять последующие операции до устранения обнаруженных неисправностей. Приборы с неустраненными неисправностями бракуют и направляют в ремонт.

При техническом обслуживании должна быть обеспечена безопасность персонала. Условия работы, срочность ее выполнения и другие причины не могут служить основанием для нарушения мер безопасности.

**Грунтович Николай Васильевич
Широков Олег Геннадьевич**

МЕТРОЛОГИЯ И СТАНДАРТИЗАЦИЯ

**Курс лекций
по одноименной дисциплине
для студентов специальностей
1-43 01 02 «Электроэнергетические системы и сети»
и 1-43 01 03 «Электроснабжение (по отраслям)»
дневной и заочной форм обучения**

Подписано к размещению в электронную библиотеку
ГГТУ им. П. О. Сухого в качестве электронного
учебно-методического документа 13.10.11.

Рег. № 28Е.

E-mail: ic@gstu.by

<http://www.gstu.by>