

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Владимирский государственный университет
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича
Столетовых»
(ВлГУ)

ЛЕКЦИИ ПО ДИСЦИПЛИНЕ
«Метрология, стандартизация и
сертификация»

Раздел «Метрология»

для специальности среднего профессионального образования
технического профиля
11.02.01 Радиоаппаратостроение

Курс лекций разработан в соответствии с Федеральным
государственным образовательным стандартом по специальности среднего
профессионального образования 11.02.01 Радиоаппаратостроение
(утверждённым приказом Министерства образования и науки РФ от
14.05.2014 №521)

Разработчик проф. каф. РТ и РС Поздняков А.Д.

СОДЕРЖАНИЕ

ЛЕКЦИЯ 1: ИСТОРИЯ, ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ТЕРМИНЫ

**ЛЕКЦИЯ 2: ГОСУДАРСТВЕННАЯ СИСТЕМА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЕДИНСТВА
ИЗМЕРЕНИЙ**

ЛЕКЦИЯ 3: МЕТРОЛОГИЧЕСКАЯ СЛУЖБА

ЛЕКЦИЯ 4: ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОНТРОЛЬ ЗА СИ

ЛЕКЦИЯ 5: ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ

ЛЕКЦИЯ 6: ЗАКОНЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТА ИЗМЕРЕНИЯ

ЛЕКЦИЯ 7: ПОДГОТОВКА И ПРАВИЛА ВЫПОЛНЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ

ЛЕКЦИЯ 8: ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТА

ЛЕКЦИЯ 9: ЭТАЛОНЫ И МЕРЫ

**ЛЕКЦИЯ 10: СТАТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И СХЕМЫ
ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ**

**ЛЕКЦИЯ 11: ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ЦИФРОВЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ
ПРИБОРОВ**

ПРИЛОЖЕНИЯ:

БУКВЕННО-ЦИФРОВОЕ ОБОЗНАЧЕНИЕ ВИДОВ ПРИБОРОВ

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

ЛЕКЦИЯ 1: ИСТОРИЯ, ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ТЕРМИНЫ

1. ИЗ ИСТОРИИ РАЗВИТИЯ МЕТРОЛОГИИ В РОССИИ

Потребность в измерениях у людей возникла с возникновением орудий производства и необходимостью знания количественной оценки материальных объектов. При этом вырабатывались определенные представления о размерах, формах, свойствах предметов и явлений, а также правила и способы их сопоставления.

В России в древности единицами длины были пядь, локоть. Локоть как единица измерения применялась в древности во многих государствах (Вавилон, Египет). Естественно, размер локтя был различным.

Одной из основных мер длины в России долгое время была сажень (упоминается в летописях начала X в.). Размер ее также не был постоянен. Применялись простая сажень, косая сажень казенная сажень и др. При Петре I по его указу русские меры длины были согласованы с английскими.

В 1835 г. Николай I в «Указе правительствующему Сенату» утвердил сажень в качестве основной меры длины в России, а за основную единицу массы был принят образцовый фунт — кубический дюйм воды при температуре 13,3° по Реомюру в вакууме (фунт равнялся 409,51241 г). В России использовались также аршин (0,7112 м) и верста (в разные времена ее размер был различным).

Для поддержания единства установленных мер существовали эталонные (образцовые) меры, которые находились в храмах и церквях.

В 1841 г. в соответствии с указом «О системе Российских мер и весов» при Петербургском монетном дворе было организовано *Депо образцовых мер и весов* — первое государственное поверочное учреждение. Основными задачами Депо являлись хранение эталонов, составление таблиц русских и иностранных мер, изготовление образцовых мер и рассылка последних в регионы страны. Поверка мер и весов на местах была вменена в обязанность городских дум, управ и казенных палат.

Важным этапом в развитии русской метрологии явилось подписание Россией метрической конвенции 20 мая 1875 г. В этом же году была создана Международная организация мер и весов (МОМВ). Место пребывания этой организации — Франция, г. Севр.

В 1893 г. в Петербурге на базе *Депо образцовых мер и весов* была образована *Главная палата мер и весов*, которую до 1907 г. возглавлял великий русский ученый Д.И. Менделеев. В это время проводились глубокие метрологические исследования. В 1900 г. при *Московском окружном пробирном управлении* открылась *Поверочная палатка торговых мер и весов*.

В 1918 г. был принят декрет правительства Российской Федерации «О введении международной метрической системы мер и весов».

В 1930 г. произошло объединение метрологии и стандартизации. Была проведена большая работа по изучению состояния метрологической деятельности. Был организован ряд метрологических институтов.

В 1954 г. был образован *Комитет стандартов, мер и измерительных*

приборов при Совете Министров СССР (*Госстандарт СССР*). После распада СССР управление метрологической службы России осуществляет Государственный комитет РФ по стандартизации, метрологии и сертификации (*Госстандарт России*).

В отличие от зарубежных стран управление метрологической службой в РФ централизовано и осуществляется в рамках единой сферы управления, включающей и стандартизацию. Руководство метрологией и государственный метрологический надзор сохраняются в качестве важнейших функций государственного управления.

2. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И СЛАГАЕМЫЕ МЕТРОЛОГИИ

Метрология (от греч. «метро» — мера, «логос» — учение) — наука об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства и способах достижения требуемой точности измерений.

Метрологию разделяют на три раздела: «Теоретическая метрология», «Прикладная (практическая) метрология» и «Законодательная метрология».

К ключевым понятиям законодательной метрологии относятся: измерение; физическая величина – ФВ; средство измерений - СИ; эталон и мера; рабочее и образцовое СИ (ОСИ); измерительный преобразователь и датчик; метод и алгоритм измерений; методика выполнения измерений — МВИ; метрологическая аттестация СИ — МА; поверка СИ; испытания СИ, метрологический надзор; сертификация СИ, государственная система обеспечения единства измерений – ГСИ и др.

Измерение — это нахождение значения физической величины опытным путем с помощью специальных технических средств. Измерение физической величины (ФВ) включает совокупность операций по применению технического средства, хранящего единицу ФВ или воспроизводящего шкалу ФВ, заключающихся в сравнении измеряемой величины с ее единицей или шкалой с целью получения значения этой величины в форме, удобной для использования.

Найденные значения называют *результатом измерений*. Измерительная информация — информация о значениях измеряемых ФВ, может быть представлена в формах: *аналоговой, цифровой или панорамной* (в виде графиков). Сигнал измерительной информации — это сигнал, функционально связанный с измеряемой ФВ.

Предметом метрологии является извлечение количественной информации о свойствах объектов и процессов, т. е. измерение свойств объектов и процессов с заданной точностью и достоверностью.

Важнейшей задачей метрологии является обеспечение единства измерений, которая решается при соблюдении двух условий: выражение результатов измерений в законенных единицах и установлении допускаемых погрешностей результатов измерений и границ, за которые они не должны выходить при заданной вероятности. Погрешности измерений указываются в паспорте, ТУ и иной нормативной документации, придаваемой средству измерения.

К основным слагаемым метрологии относят:

- общую теорию измерений;
- единицы физических величин и их системы;
- методы и средства измерений;
- методы определения точности измерений;
- основы обеспечения единства измерений;
- эталоны и образцовые средства измерений;
- методы передачи размеров единиц ФВ рабочим СИ от эталонов и ОСИ.

3. ОБЪЕКТЫ И ОБЛАСТИ ИЗМЕРЕНИЙ

Объектом измерений являются *физические величины*.

Физической величиной называется одно из свойств физического объекта (явления, процесса), которое является общим в качественном отношении для многих физических объектов, отличаясь при этом *количественным* значением.

Качественная характеристика физической величины определяется тем, какое свойство материального объекта или какую особенность материального мира эта величина характеризует (твердость, надежность, прочность и т. п.). Для выражения количественного содержания свойства конкретного объекта употребляется понятие «размер физической величины», который устанавливается в процессе измерения.

Физические величины разделяют на *измеряемые* и *оцениваемые*. Измеряемые величины могут быть выражены количественно в установленных единицах измерения. Величины, для которых не может быть введена единица измерения, относятся к оцениваемым. Оцениваемые величины производятся при помощи установленной шкалы.

Существуют различные подходы к классификации физических величин, например, классифицируют по видам явлений:

- вещественные, описывающие физические и физико-химические свойства веществ, материалов и изделий из них;
- энергетические, описывающие энергетические характеристики процессов преобразования, передачи и использования энергии;
- физические величины, характеризующие протекание процессов во времени.

В последние десятилетия кроме физических величин в прикладной метрологии начали использоваться и так называемые *нефизические величины*. Это связано с применением термина «измерение» в экономике, информатике, управлении качеством.

Область измерений — совокупность измерений ФВ, свойственных какой-либо области науки и техники и выделяющаяся своей спецификой. *Вид измерений* — часть области измерений, имеющая свои особенности и отличающаяся однородностью измеряемых величин.

Принято различать следующие области и виды измерений:

1. Измерения геометрических величин: длин; отклонений формы поверхностей; параметров сложных поверхностей; углов.

2. Измерения механических величин: массы; силы; крутящих моментов, напряжений и деформаций; параметров движения; твердости.

3. Измерения параметров потока, расхода, уровня, объема веществ: массового и объемного расхода жидкостей в трубопроводах; расхода газов; вместимости; параметров открытых потоков; уровня жидкости.

4. Измерения, давлений, вакуумные измерения: избыточного давления; абсолютного давления; переменного давления; вакуума.

5. Физико-химические измерения: вязкости; плотности; содержаний (концентрации) компонентов в твердых, жидких и газообразных веществах; влажности газов, твердых веществ; электрохимические измерения.

6. Теплофизические и температурные измерения температуры у теплофизических величин.

7. Измерения времени и частоты: методы и средства воспроизведения и хранения единиц и шкал времени и частоты; измерения интервалов времени; измерения частоты периодических процессов; методы и средства передачи размеров единиц времени и частоты.

8. Измерения электрических и магнитных величин на постоянном и переменном токе: силы тока, количества электричества, электродвижущей силы, напряжения, мощности и энергии, угла сдвига фаз; электрического сопротивления, проводимости, емкости, индуктивности и добротности электрических цепей; параметров магнитных полей; магнитных характеристик материалов.

9. Радиоэлектронные измерения: интенсивности сигналов; параметров формы и спектра сигналов; параметров трактов с сосредоточенными и распределенными постоянными; свойств веществ и материалов радиотехническими методами; антенные.

10. Измерения акустических величин: акустические — в воздушной среде и в газах; акустические — в водной среде; акустические — в твердых телах; аудиометрия и измерения уровня шума.

11. Оптические и оптико-физические измерения: световые, измерения оптических свойств материалов в видимой области спектра; энергетических параметров некогерентного оптического излучения; энергетических параметров пространственного распределения энергии и мощности непрерывного и импульсного лазерного и квазимонохроматического излучения; спектральных, частотных характеристик, поляризации лазерного излучения; параметров оптических элементов, оптических характеристик материалов; характеристик фотоматериалов и оптической плотности.

12. Измерения ионизирующих излучений и ядерных констант: дозиметрических характеристик ионизирующих излучений; спектральных характеристик ионизирующих излучений; активности радионуклидов; радиометрических характеристик ионизирующих излучений.

4. СПОСОБЫ И МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЙ

По способу получения результата различают:

Прямое измерение - это измерение, при котором искомое значение

величины находят непосредственно из опытных данных с учетом цены деления отсчетного устройства. Пример: измерение напряжения вольтметром как произведение известной цены деления C на отсчет по шкале X ($Y=CX$).

Косвенное измерение - это измерение, при котором искомое значение величины (Y) находят на основании известной зависимости между величинами, получаемыми в результате прямых измерений $Y=F(X_1, X_2, X_3, \dots, X_4)$. Примеры: измерение мощности по прямым измерениям тока и напряжения $P=UI$; измерение коэффициента передачи усилителя $K = 201g(U_{\text{вых}}/U_{\text{вх}})$.

Совокупные измерения - это производимые одновременно прямые измерения нескольких *одноименных* величин, при которых искомые значения находят решением системы уравнений. Например: нахождение сопротивлений отдельных резисторов по известному одному из них и по результатам прямых сравнений сопротивлений различных сочетаний резисторов.

Совместное измерение - это измерения *разноименных* величин для нахождения функциональных зависимостей между ними. Например: определение температурного коэффициента сопротивления резистора по данным прямых измерений его сопротивления при различных температурах.

Контроль — это испытание, в процессе которого определяется находится ли значение измеряемой величины в установленных для нее пределах. Результатом контроля является информация в виде "Годен" - "Не годен". Контроль бывает *поэлементный* и *комплексный* (изделия в целом). *Активный контроль* предполагает воздействие на технологический процесс в ходе изготовления. *Пассивный контроль* только констатирует факт годности или брака изделия.

Принцип измерения — совокупность физических явлений, на которых основаны измерения (на основе взаимодействия электрических зарядов, на эффекте Холла).

Алгоритм измерения — точная последовательность операций, обеспечивающая измерение физической величины.

Метод измерений — это совокупность приемов использования принципов и средств измерений. Под методом измерений понимают прием или совокупность приемов сравнения измеряемой величины с ее единицей (или шкалой) в соответствии с реализованным принципом измерений.

Методика измерений — детально намеченный распорядок измерений, регламентирующие методы, средства, алгоритмы, а так же способы обработки результатов. Методика должна включать:

- а) общие указания;
- б) методы и виды СИ, порядок подготовки и проведения измерений;
- в) методика обработки результатов.

Различают следующие варианты методов измерения:

Метод непосредственной оценки, в котором значение измеряемой величины определяют непосредственно по отсчетному устройству

многозначной меры, на которую непосредственно действует сигнал измерительной информации, например, измерение электрического напряжения электромеханическим вольтметром. В этом случае сигнал с помощью электромагнитной системы воздействует на заранее проградуированную многозначную меру — спиральную пружинку, поворачивающую рамку, а стрелка вольтметра индицирует угол закручивания пружинки. Если применяется цифровой вольтметр, мерой может служить, например, стабилитрон с делителем напряжения.

Метод противопоставления, в котором измеряемая величина и величина, воспроизводимая мерой, одновременно воздействует на прибор сравнения (компаратор), с помощью которого устанавливается соотношение между этими величинами, например, измерение массы на равноплечих весах.

Дифференциальный метод, в котором на прибор сравнения воздействует разность измеряемой величины и величины, воспроизводимой мерой, например, сравнение меры длины с образцовой на компараторе.

Нулевой метод, в котором результирующий эффект воздействия величин на прибор сравнения равен нулю.

Метод замещения, в котором измеряемую величину замещают известной величиной, воспроизводимой мерой.

Метод совпадений, в котором разность между измеряемой величиной и величиной, воспроизводимой мерой, измеряют, используя совпадения меток шкал или периодических сигналов, например, измерение частоты вращения стробоскопом.

5. СРЕДСТВА ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

Средства измерительной техники — обобщающее понятие, охватывающее технические средства, специально предназначенные для измерений (средства измерений, измерительные преобразователи, измерительные принадлежности, измерительные устройства, средства поверки).

Средство измерений (СИ) — техническое средство (или их комплекс), предназначенное для измерений, имеющее нормированные метрологические характеристики, воспроизводящее и (или) хранящее единицу или шкалу ФВ, которые принимаются неизменными (в пределах установленной погрешности) в течение известного интервала времени. В общем случае, СИ включает в себя меру, измерительный преобразователь (преобразователи), устройства сравнения и (или) индикации. Часть перечисленных элементов (кроме меры) в конкретном СИ может отсутствовать. Эти же элементы могут выполняться в виде самостоятельных технических устройств. СИ применяются как для измерения значений искомой ФВ, так и для измерений значений других ФВ, влияние которых на результат измерения искомой ФВ необходимо учитывать.

Измерительный преобразователь (Пр) — техническое средство, служащее для преобразования измеряемой величины в другую величину или в сигнал измерительной информации, удобный для обработки, хранения,

дальнейшего преобразования, индикации или передачи (но не поддающийся непосредственному восприятию) и имеющее нормированные метрологические характеристики (МХ). Различают: *первичные* Пр — первые в измерительной цепи, к которым подведена измеряемая величина; промежуточные; аналого-цифровые (АЦП); масштабные (измерительные трансформаторы, усилители).

Конструктивно обособленный первичный Пр называют *датчиком*.

Мера физической величины — СИ, предназначенное для воспроизведения и (или) хранения ФВ одного или нескольких заданных размеров, значения которых выражены в установленных единицах и известны с необходимой точностью. Различают меры: однозначные, воспроизводящие ФВ одного размера (гиря, конденсатор постоянной емкости); многозначные воспроизводящие ряд одноименных величин различного размера (линейка с делениями, конденсатор переменной емкости); наборы мер — специально подобранные комплекты мер, применяемые не только по отдельности, но и в различных сочетаниях с целью воспроизведения ряда одноименных ФВ различного размера (набор измерительных конденсаторов или резисторов). Если набор мер конструктивно объединен в единое устройство, имеющее приспособления для их соединения в различных комбинациях, его называют *магазином мер*. Разновидностями мер являются *стандартные образцы*, служащие для воспроизведения единиц величин, характеризующих свойства или состав веществ и материалов.

Измерительный прибор (ИП) — это средство измерений, предназначенное для выработки сигналов измерительной информации в форме доступной для непосредственного восприятия оператором, регистрации или принятия решения. ИП, как правило, имеет в своем составе меру. Различают ИП: *аналоговые; цифровые; показывающие* (допускающие только визуальный отсчет показаний); *регистрирующие; самопишущие; печатающие; интегрирующие* (усредняющие); *суммирующие* (показания которых функционально связаны с суммой двух или нескольких величин, подводимых по различным каналам); *сравнивающие* — для непосредственного сравнения измеряемой величины с величиной, значение которой известно (обычно с мерой).

СИ могут быть функционально объединены в измерительные установки. Если в них включены ОСИ, их называют поверочными установками. Если СИ соединяются между собой каналами связи и предназначаются для выработки сигналов измерительной информации в форме, удобной для автоматической обработки, передачи, использования, такую совокупность называют измерительной системой.

Измерительная установка — совокупность функционально объединенных средств измерения (приборов, мер, преобразователей) и вспомогательных устройств, расположенная в одном месте и предназначенная для выработки измерительной информации в форме

удобной для непосредственного восприятия оператором.

Измерительная система — совокупность средств измерения и вспомогательных устройств, соединенных между собой *каналами связи*, предназначенная для выработки сигнала измеряемой информации в форме, удобной для автоматической обработки, передачи и использования в системах управления. Измерительные системы, включающие в себя системы автоматического контроля, технической диагностики, называются информационно-измерительными системами (ИИС).

Измерительный комплекс — совокупность измерительных устройств и средств переработки информации, предназначенная для исследования, измерения и контроля (при наличии ЭВМ, называется ИВК). Измерительные комплексы, как правило, производят измерение разноименных величин.

При проведении измерений широко применяются **измерительные принадлежности**, служащие для обеспечения необходимых внешних условий: термостаты, барокамеры, экранирующие камеры, стабилизаторы питающих электросетей и т. п.

Средства поверки — обобщенное понятие, охватывающее эталоны, ОСИ, поверочные установки.

6. МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СИ

Метрологические характеристики (МХ) средств измерений — это характеристики, оказывающие влияние на результаты и погрешности измерений. Информация о назначении МХ приведена в документации на средства измерений (в ГОСТе, в ТУ, в паспорте). Метрологические характеристики, установленные нормативными документами, называют *нормируемыми*.

МХ СИ предназначены для:

- оценки технического уровня и качества средства измерения.
- уточнения результатов измерения и оценки погрешности.

Статические характеристики прибора справедливы для установившегося режима работы, *динамические* - учитывают переходные процессы (переходная характеристика, импульсная переходная характеристика, амплитудно-фазовая характеристика, амплитудно-частотная характеристика, передаточная функция).

При установлении совокупности нормируемых МХ для средств измерений конкретного вида необходимо использовать номенклатуру характеристик, регламентированных государственным стандартом ГОСТ 8.009—84 «ГСИ. Нормируемые метрологические характеристики средств измерений». В этом стандарте приведены рекомендации по выбору МХ для различных видов СИ и критерий рациональности основных составляющих погрешности. Все МХ можно разделить на две группы, определяющие *область применения СИ и качество измерения*.

Основными МХ **первой группы**, являются:

Диапазон измерений - область значений величины, в пределах которых нормированы допускаемые пределы погрешности. Значение величины,

ограничивающее диапазон измерений снизу или сверху (слева и справа), называют соответственно нижним или верхним пределом измерений.

Порог чувствительности — наименьшее изменение измеряемой величины, которое вызывает заметное изменение выходного сигнала. Чувствительность — отношение изменения сигнала на выходе СИ к вызывающему его изменению измеряемой величины.

К **МХ второй группы** относятся свойства: точность, сходимость и воспроизводимость измерений.

Точность — свойство измерений, отражающее близость их результатов к истинному значению измеряемой величины. Высокая точность измерений соответствует малым погрешностям. В практике применения СИ наиболее широко используется такая характеристика, как класс точности.

Класс точности СИ — обобщенная характеристика, выражаемая пределами *допускаемых погрешностей*, а также другими характеристиками, влияющими на точность. Классы точности конкретного типа СИ устанавливают в нормативных документах, которые определяют конкретные требования к метрологическим характеристикам, в совокупности отражающим уровень точности СИ данного класса.

Чаще всего класс точности соответствует приведенной погрешности СИ, отнесенной к конечному значению шкалы СИ (прибора) — к максимальному значению ФВ в диапазоне (поддиапазоне) измерений.

«Точность» и «погрешность» — понятия, во многом близкие друг другу.

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

Погрешность указывает границы неопределенности значения измеряемой физической величины. Она характеризует точность результатов измерений, проводимых данным средством.

Погрешность не следует путать с ошибкой измерений, связанной с субъективными обстоятельствами. Погрешности измерений обычно приводятся в технической документации на СИ или в нормативных документах.

Правильность — свойство измерений, отражающее близость к нулю систематических погрешностей в их результатах. Результаты измерений правильны, когда они не искажены систематическими погрешностями.

Сходимость — свойство измерений, отражающее близость друг другу результатов измерений, выполняемых в одинаковых условиях, одним и тем же СИ, одним и тем же оператором. Для методик выполнения измерений — это одна из важнейших характеристик.

Воспроизводимость — свойство измерений, отражающее близость друг к другу результатов измерений, выполняемых в различных условиях — в различное время, в разных местах, разными методами и средствами измерений. В процедурах испытаний продукции воспроизводимость, как и

сходимость, также является важнейшей характеристикой.

Основные характеристики средств измерений:

- принцип действия СИ — физический принцип, положенный в основу построения СИ данного типа;
- нормируемые метрологические характеристики (НМХ) — комплекс МХ, устанавливаемых в нормативной технической документации (НТД) на СИ;
- функция преобразования — зависимость информативного параметра выходного сигнала от информативного параметра входного сигнала;
- функция влияния — зависимость изменения МХ СИ от изменения влияющей величины или от изменения совокупности влияющих величин;

Нормируемые метрологические характеристики (НМХ) СИ конкретного типа в соответствии с ГОСТ 8.009—84:

1. Номинальное значение меры.
2. Номинальная статическая характеристика Пр.
3. Цена деления шкалы прибора или единица младшего разряда.
4. Входное сопротивление (емкость, индуктивность).
5. Значения погрешностей (основная и дополнительная погрешность прибора, класс точности).
6. Диапазон измерений.
7. Чувствительность (порог чувствительности).
8. Время установления показаний.
9. Быстродействие (число измерений в единицу времени).
10. Потребляемая мощность.
11. Нарботка на отказ (среднее время непрерывной работы до первого ремонта для заданной группы приборов).

ЛЕКЦИЯ 2: ГОСУДАРСТВЕННАЯ СИСТЕМА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЕДИНСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

1. ЗАКОНОДАТЕЛЬНЫЕ ОСНОВЫ ГСИ

Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ) — комплекс установленных стандартами взаимоувязанных правил, положений, требований и норм, определяющих организацию и методику проведения работ по оценке и обеспечению точности измерений.

Главным законодательным актом, обеспечивающим единство измерений, является Закон РФ «Об обеспечении единства измерений», который определяет:

- основные метрологические понятия (термины и определения);
- компетенцию Госстандарта России в обеспечении единства измерений;
- единицы величин, государственные эталоны, средства и методики измерений;
- компетенцию и структуру Государственной метрологической службы и других государственных служб обеспечения единства измерений;
- метрологические службы государственных органов управления,

предприятий и организаций;

—сферы распространения и виды государственного метрологического контроля и надзора;

—права, обязанности и ответственность государственных инспекторов по обеспечению единства измерений;

—условия использования средств измерений в сферах распространения государственного метрологического контроля и надзора;

—требования к выполнению измерений по аттестованным методикам;

—основные положения калибровки и сертификации средств измерений;

—лицензирование деятельности организаций и физических лиц по изготовлению, ремонту, продаже и прокату средств измерений;

—источники финансирования работ по обеспечению единства измерений;

—ответственность за нарушение положений Закона.

В целях реализации положений Закона «Об обеспечении единства измерений» выпущены Постановление Правительства РФ «Об организации работ по стандартизации, обеспечению единства измерений сертификации продукции и услуг» (№ 100 от 12 февраля 1994 г. с изменениями от 12 января 1996 г.) и ряд подзаконных актов. Кроме того, в стране действует система межгосударственных (ГОСТ) и государственных стандартов РФ (ГОСТ Р), большое число нормативных документов, правил и рекомендаций, регламентирующих метрологические требования, положения и нормы, а также организацию и порядок проведения работ по обеспечению единства измерений в стране.

Совокупность нормативных документов, устанавливающих правила, нормы, требования, направленные на достижение и поддержание единства измерений в РФ при требуемой точности, составляет *государственную систему обеспечения единства измерений (ГСИ)*.

Государственные стандарты ГСИ (ГОСТ, ГОСТ Р) регламентируют общие правила и требования в области метрологии (организацию и порядок проведения государственных испытаний и поверки; классификацию и процедуру создания эталонов и поверочных схем; требования к разработке методик поверки, измерений, метрологической аттестации; способы нормирования метрологических характеристик. Свыше 150 государственных стандартов устанавливают требования к метрологическим характеристикам и составу государственных эталонов и структуре возглавляемых ими поверочных схем.

Наибольшую долю в массиве метрологических документов составляют нормативные документы на методики поверки. В них регламентированы средства и методы поверки, алгоритмы ее проведения, обработки результатов измерений, оформления результатов поверки и т. д. Таких нормативных документов порядка 900. Более 100 документов распространяется на методики выполнения измерений (методики измерений), методики метрологической аттестации и другие вопросы метрологической деятельности.

2. ТЕРМИНОЛОГИЯ И ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ПО ОЕИ

Детальная структура и основные положения ГСИ представлены в ГОСТ Р 8.000 – 2000. Термины ГСИ:

Единство измерений: Состояние измерений, при котором их результаты выражены в узаконенных единицах величин и погрешности измерений не выходят за установленные границы с заданной вероятностью.

Обеспечение единства измерений (ОЕИ): Деятельность, направленная на установление и применение научных, правовых, организационных и технических основ, правил, норм и средств, необходимых для достижения заданного уровня единства измерений.

Система обеспечения единства измерений: Совокупность субъектов, норм, средств и видов деятельности, достаточная для обеспечения заданного уровня единства измерений.

Государственная система обеспечения единства измерений: Система управления субъектами, нормами, средствами и видами деятельности по обеспечению заданного уровня единства измерений в Российской Федерации.

Метрологическая служба: Совокупность субъектов деятельности и видов работ, направленных на обеспечение единства измерений.

Государственная метрологическая служба: Метрологическая служба, выполняющая работы по обеспечению единства измерений в масштабах страны.

Метрологическая служба федерального органа исполнительной власти: Метрологическая служба, выполняющая работы по обеспечению единства измерений в пределах, установленной ответственности этого органа.

Метрологическая служба юридического лица: Метрологическая служба, выполняющая работы по обеспечению единства измерений на предприятии.

Поверка средства измерений (не путать со словом «проверка») — совокупность операций, выполняемых органами государственной метрологической службы (или другими уполномоченными органами или организациями) с целью определения и подтверждения соответствия СИ установленным техническим требованиям. *Поверка СИ* — установление пригодности СИ к применению на основании экспериментально определяемых метрологических характеристик и контроля их соответствия установленным требованиям. Различают государственную и ведомственную поверку, а также первичную — при выпуске СИ из производства, после ремонта, при ввозе из-за границы партиями, — и периодическую, проводимую через установленные межповерочные интервалы.

Деятельность по ОЕИ направлена на охрану прав и законных интересов граждан и установленного правопорядка и экономики, а также на содействие экономическому и социальному развитию страны путем защиты от отрицательных последствий недостоверных результатов измерений во

всех сферах жизни общества на основе конституционных норм, законов, постановлений правительства Российской Федерации и НД.

Деятельности по ОЕИ осуществляется в соответствии с:

- Конституцией Российской Федерации (статья 71р),
- Законом Российской Федерации «Об обеспечении единства измерений»;
- постановлением Правительства Российской Федерации от 12.02.94 № 100 «Об организации работ по стандартизации, обеспечению единства измерений, сертификации продукции и услуг»;
- стандартами и другими НД ГСИ, принимаемыми Госстандартом России.

ОЕИ в стране осуществляется на:

- государственном уровне;
- уровне федеральных органов исполнительной власти;
- уровне юридического лица.

Государственное управление деятельностью по ОЕИ осуществляет Государственный комитет РФ по стандартизации и метрологии.

ОЕИ в пределах установленной ответственности федерального органа исполнительной власти осуществляет его метрологическая служба.

ОЕИ в пределах установленной области деятельности юридического лица осуществляет метрологическая служба предприятия (организации) или иная служба, выполняющая ее функции.

ГСИ состоит из следующих подсистем: ПРАВОВОЙ; ТЕХНИЧЕСКОЙ; ОРГАНИЗАЦИОННОЙ.

Нормы, правила, положения и требования ГСИ взаимоувязаны с нормами, правилами, положениями и требованиями Государственной системы стандартизации и других систем.

3. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ГСИ

Цель ГСИ — создание общегосударственных правовых, нормативных, организационных, технических и экономических условий для решения задач по ОЕИ и представление возможности всем субъектам деятельности оценивать правильность выполняемых измерений и уровень их влияния на результаты деятельности, основанной на результатах измерений.

Основные задачи ГСИ:

- разработка оптимальных принципов управления деятельностью по ОЕИ;
- организация и проведение фундаментальных научных исследований с целью создания более совершенных и точных методов и средств воспроизведения единиц и передачи их размеров;
- установление системы единиц величин и шкал измерений, допускаемых к применению;
- установление понятий метрологии, унификация их терминов и определений;

- установление рациональной системы государственных эталонов;
- создание, утверждение, применение и совершенствование государственных эталонов;
- установление систем передачи размеров единиц величин от государственных эталонов средствам измерений, применяемым в стране;
- создание и совершенствование вторичных и рабочих эталонов, комплектных поверочных установок и лабораторий;
- установление метрологических требований к эталонам, средствам измерений, методикам выполнения измерений, методикам поверки (калибровки) средств измерений и других требований, соблюдение которых является необходимым условием ОЕИ;
- разработка и экспертиза разделов метрологического обеспечения федеральных и иных государственных программ, в том числе программ создания и развития производства оборонной техники;
- осуществление государственного метрологического контроля: поверка средств измерений;
- испытания с целью утверждения типа средств измерений; лицензирование деятельности юридических и физических лиц по изготовлению, ремонту, продаже и прокату средств измерений;
- осуществление государственного метрологического надзора за: выпуском, состоянием и применением средств измерений; эталонами единиц величин; аттестованными методиками выполнения измерений; соблюдением метрологических правил и норм; количеством товаров, отчуждаемых при совершении торговых операций, количеством фасованных товаров в упаковках любого вида при их расфасовке и продаже;
- разработка принципов оптимизации материально-технической и кадровой базы органов Государственной метрологической службы;
- аттестация методик выполнения измерений;
- калибровка и сертификация средств измерений, не входящих в сферы государственного метрологического контроля и надзора;
- аккредитация метрологических служб и иных юридических или физических лиц по различным видам метрологической деятельности;
- аккредитация поверочных, калибровочных, измерительных, испытательных и аналитических лабораторий, лабораторий неразрушающего и радиационного контроля в составе действующих в Российской Федерации систем аккредитации;
- участие в работе международных организаций, деятельность которых связана с ОЕИ;
- разработка совместно с уполномоченными федеральными органами исполнительной власти порядка определения стоимости (цены) метрологических работ и регулирования тарифов на эти работы;
- организация подготовки и подготовка кадров метрологов;
- информационное обеспечение по вопросам ОЕИ;
- совершенствование и развитие ГСИ.

4. ПОДСИСТЕМЫ ГСИ

Правовая подсистема

Правовая подсистема — комплекс взаимосвязанных законодательных и подзаконных актов (в том числе межотраслевых НД ГСИ), объединенных общей целевой направленностью и устанавливающих согласованные требования к следующим взаимосвязанным объектам деятельности по ОЕИ:

- совокупности узаконенных единиц величин и шкал измерений;
- терминологии в области метрологии;
- воспроизведению и передаче размеров единиц величин и шкал измерений;
- способам и формам представления результатов измерений и характеристик их погрешности;
- методам оценивания погрешности и неопределенности измерений;
- порядку разработки и аттестации методик выполнения измерений;
- комплексам нормируемых метрологических характеристик СИ;
- методам установления и корректировки межповерочных (рекомендуемых межкалибровочных) интервалов;
- порядку проведения испытаний в целях утверждения типа средств измерений и сертификации средств измерений;
- порядку проведения поверки и калибровки средств измерений;
- порядку осуществления метрологического контроля и надзора;
- порядку лицензирования деятельности юридических и физических лиц по изготовлению, ремонту, продаже и прокату средств измерений;
- типовым задачам, правам и обязанностям метрологических служб федеральных органов исполнительной власти и юридических лиц;
- порядку аккредитации метрологических служб по различным направлениям метрологической деятельности;
- порядку аккредитации поверочных, калибровочных, измерительных, испытательных и аналитических лабораторий, лабораторий неразрушающего и радиационного контроля;
- терминам и определениям по видам измерений;
- государственным поверочным схемам;
- методикам поверки (калибровки) средств измерений;
- методикам выполнения измерений.

Нормативные документы по обеспечению единства измерений: государственные стандарты, международные (региональные) стандарты, правила и рекомендации по метрологии принимает и вводит в действие Госстандарт России в порядке, установленном Государственной системой стандартизации Российской Федерации. Допускается применение иных НД по ОЕИ, разрабатываемых и принимаемых в порядке, устанавливаемом Госстандартом России.

Техническая подсистема

Техническую подсистему ГСИ составляют:

- совокупность межгосударственных, государственных эталонов и

эталонов единиц величин и шкал измерений;

- совокупность военных эталонов — резерва государственных эталонов;
- совокупность стандартных образцов состава и свойств веществ и материалов;
- совокупность стандартных справочных данных о физических константах и свойствах веществ и материалов;
- средства измерений и испытательное оборудование, необходимое для осуществления метрологического контроля и надзора;
- совокупность специальных зданий и сооружений для проведения высокоточных измерений в метрологических целях;
- совокупность научно-исследовательских, эталонных, испытательных, поверочных, калибровочных и измерительных лабораторий (в том числе передвижных) и их оборудования.

Технической основой ГСИ также являются:

1. Система передачи размеров единиц и шкал физических величин от эталонов ко всем СИ с помощью ОСИ и других средств поверки.
2. Система разработки, постановки на производство и выпуска в обращение рабочих СИ, обеспечивающих исследования, разработку, определение характеристик продукции, технологических процессов и других объектов.
3. Система обязательных государственных испытаний СИ, предназначенных для серийного или массового производства и ввоза из-за границы партиями.
4. Система государственной и ведомственной метрологической аттестации и поверки СИ.

Организационная подсистема

Организационную подсистему ГСИ составляют следующие метрологические службы и другие службы ОЕИ:

- Государственная метрологическая служба;
- иные государственные службы ОЕИ;
- метрологические службы федеральных органов исполнительной власти и юридических лиц (в том числе метрологическая служба Вооруженных Сил РФ, осуществляющая деятельность по ОЕИ в сфере обороны и безопасности).

В Государственную метрологическую службу входят:

- подразделения центрального аппарата Госстандарта России, осуществляющие функции планирования, управления и контроля деятельностью по ОЕИ на межотраслевом уровне;
- государственные научные метрологические центры;
- органы Государственной метрологической службы на территориях республик РФ, краев, областей, округов и городов.

К иным государственным службам ОЕИ относятся:

- Государственная служба времени и частоты и определения параметров вращения Земли (ГСВЧ);

- Государственная служба стандартных образцов состава и свойств веществ и материалов (ГССО);

- Государственная служба стандартных справочных данных о физических константах и свойствах веществ и материалов (ГСССД).

Функции, структуру, права и обязанности метрологических служб и иных служб ОЕИ устанавливаются законодательными и подзаконными актами, в том числе межотраслевыми НД, а также положениями об этих службах.

5. ОСНОВЫ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Под метрологическим обеспечением понимается установление и применение научных и организационных основ, технических средств, правил и норм, необходимых для достижения единства и требуемой точности измерений.

Метрологическое обеспечение базируется на четырех основах: научной, организационной, технической и нормативной.

Научной основой метрологического обеспечения является метрология — наука об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства и способах достижения требуемой точности.

Организационной основой метрологического обеспечения являются Государственная метрологическая служба России, метрологические службы федеральных органов управления и метрологические службы юридических лиц. Государственное управление деятельностью по обеспечению единства измерений в РФ осуществляет Госстандарт России.

Технической основой метрологического обеспечения являются: система государственных эталонов единиц физических величин; система передачи размеров единиц физических величин от эталонов всем средствам измерений; система разработки, постановки на производство и выпуска в обращение рабочих средств измерений; система государственных испытаний средств измерений; система государственной и ведомственной поверки средств измерений; система стандартных справочных данных о физических константах и свойствах веществ и материалов.

Нормативной основой обеспечения единства измерений является законодательная метрология: Закон РФ «Об обеспечении единства измерений», стандарты, правила, рекомендации и другие нормативные документы.

6. ГОСУДАРСТВЕННОЕ УПРАВЛЕНИЕ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ ПО ОЕИ

Федеральным органом государственной власти, осуществляющим государственное управление деятельностью по обеспечению единства измерений в РФ, является Государственный Комитет Российской Федерации по стандартизации и метрологии (Госстандарт России).

Госстандарт осуществляет свою деятельность непосредственно и через находящиеся в его ведении территориальные центры стандартизации, метрологии и сертификации, а также через государственных инспекторов по надзору за государственными стандартами и обеспечению единства

измерений.

В ведении Госстандарта России находятся:

- Государственная метрологическая служба (ГМС);
- Государственная служба времени и частоты и определения параметров вращения Земли (ГСРН);
- Государственная служба стандартных образцов и свойств веществ и материалов (ГССО);
- Государственная служба стандартных справочных данных о физических константах и свойствах веществ и материалов (ГСССД).

Стандартный образец вещества или материала (СО) — мера, предназначенная для воспроизведения специфической величины (величин) из числа характеризующих состав, свойства и (или) технические характеристики веществ (материалов), или значения неспецифической величины (величин), для измерения которого необходимо учитывать особенности данного вещества (*материала*).

Справочные данные (СД) — данные о физических константах и свойствах веществ и материалов, основанные на исследованиях и высокоточных измерениях. В зависимости от достоверности СД различают: стандартные справочные данные (ССД), рекомендуемые справочные данные (РСД) и информационные данные (ИД). ССД — числовые значения физических констант и свойств важнейших материалов и веществ, полученные на основе анализа и оценки достоверности всей имеющейся совокупности воспроизводимых результатов измерений и (или) расчетов, аттестованные в ГСССД и утвержденные Госстандартом. Допустимые значения характеристики достоверности ССД должны соответствовать достигнутому уровню измерительной техники и научно-технических знаний в данной области. РСД — числовые значения физических констант и свойств материалов и веществ, полученные на основе оценки погрешности результатов измерений и (или) расчетов, аттестованные в ГСССД и утвержденные ВНИЦ МВ Госстандарта. Допускаемая погрешность РСД должна удовлетворять задачам, для решения которых рекомендуются эти данные, с учетом требований стандартов ГСИ. ИД — совокупность фактографических сведений о номенклатуре, свойствах и технических характеристиках производства и применения материалов и веществ.

В соответствии с законодательством РФ и «Положением о Государственном комитете Российской Федерации по стандартизации и метрологии» Госстандарт отвечает за решение следующих основных задач:

- выработку и реализацию государственной политики в сфере стандартизации, метрологии и сертификации, установление и использование стандартов, эталонов и единиц величин и исчисления времени;
- осуществление мер по защите прав потребителей и интересов государства в области контроля за соблюдением требований безопасности товаров, работ, услуг;
- обеспечение функционирования и развития систем стандартизации,

обеспечение единства измерений, сертификации, а также их гармонизации с международными и национальными системами зарубежных стран;
—организация и проведение государственного контроля и надзора за соблюдением обязательных требований государственных стандартов, правил обязательной сертификации, за сертифицированной продукцией, а также государственного метрологического контроля и надзора;
—формирование совместно с федеральными органами исполнительной власти федеральных информационных ресурсов и инфраструктуры стандартизации, метрологии и сертификации, аккредитации, качества и классификации технико-экономической информации.

ЛЕКЦИЯ 3: МЕТРОЛОГИЧЕСКАЯ СЛУЖБА

1. ГОСУДАРСТВЕННАЯ МЕТРОЛОГИЧЕСКАЯ СЛУЖБА

Метрологическая служба (МС) — сеть организаций Госстандарта и других министерств и ведомств, ответственных за достижение и поддержание единства измерений в стране. Она возглавляется главным центром МС — ВНИИМС; в нее входят метрологические НИИ и НПО — центры государственных эталонов, государственная служба времени и частоты (ГСВЧ), государственная служба стандартных образцов (ГССО), государственная служба стандартных справочных данных (ГСССД), органы государственной метрологической службы в союзных республиках, ведомственные метрологические службы.

Государственная метрологическая служба (ГМС) несет ответственность за метрологическое обеспечение в стране на межотраслевом уровне и осуществляет государственный контроль и надзор.

Особенностью правового положения ГМС является подчиненность ее по вертикали одному ведомству — Госстандарту России, в рамках которого она существует обособленно и автономно.

В состав ГМС входят: государственные научные метрологические центры (ГНМЦ); органы Государственной метрологической службы на территориях республик, в составе автономной области, автономных округов, областей, городов Москвы и Санкт-Петербурга.

Государственные научные метрологические центры (их семь) представлены такими институтами, как Всероссийский научно-исследовательский институт метрологической службы (ВНИИМС, Москва), научно-производственное объединение «ВНИИ метрологии имени Д. И. Менделеева» (ВНИИМ, Санкт-Петербург), научно-производственное объединение «ВНИИ физико-технических и радиотехнических измерений» (ВНИИФТРИ, Московская область), Сибирский государственный научно-исследовательский институт метрологии (СНИИМ, Новосибирск), Уральский научно-исследовательский институт метрологии (УНИИМ, Екатеринбург), Всероссийский научно-исследовательский институт расходомерии (ВНИИР, Казань), Восточно-Сибирский научно-исследовательский институт физико-технических и радиотехнических измерений (ВС ВНИИФТРИ, Иркутск).

ГНМЦ являются хранителями государственных эталонов, проводят исследования в области теории измерений, применения принципов и методов высокоточных измерений, разработки научно-методических основ совершенствования Российской системы измерений, разрабатывают нормативные документы по обеспечению единства измерений.

В состав Государственной метрологической службы входят свыше 100 *региональных центров стандартизации, метрологии и сертификации* (ЦСМиС), расположенных на всей территории РФ, городов Москвы и Санкт-Петербурга.

Основными функциями ЦСМ и С являются:

- государственный метрологический контроль и надзор за обеспечением единства измерений в регионе;
- метрологическое обеспечение предприятий и организаций;
- поверка и калибровка средств измерений;
- аккредитация поверочных и калибровочных лабораторий;
- обучение и аттестация поверителей;
- разработка новых средств измерений;
- техническое обслуживание и ремонт средств измерений.

Деятельность ГНМЦ регламентируется Постановлением Правительства Российской Федерации от 12.02.94 № 100.

2. ГОСУДАРСТВЕННЫЕ СЛУЖБЫ ПО ОЭИ

К числу государственных служб, обеспечивающих единство измерений, кроме Государственной метрологической службы относятся также Государственная служба времени, частоты и определения параметров вращения Земли (ГСВЧ), Государственная служба стандартных образцов состава и свойств веществ и материалов (ГССО) и Государственная служба стандартных справочных данных о физических константах и свойствах веществ и материалов (ГСССД).

ГСВЧ — это сеть организаций, осуществляющих межрегиональную и межотраслевую координацию работ по обеспечению единства измерений времени, частоты и определения параметров вращения Земли, а также воспроизведение, хранение и передачу размеров единиц времени и частоты, шкал атомного, всемирного и координированного времени, координат полюсов Земли. Измерительную информацию ГСВЧ используют службы навигации и управления судами, самолетами и спутниками, Единая энергетическая система России и др. В состав ГСВЧ входят ряд метрологических НИИ и НПО Госстандарта СССР, астрономические обсерватории и другие организации. Возглавляет работу Главный метрологический центр ГСВЧ, входящий в состав НПО "ВНИИФТРИ". В состав ГСВЧ входит государственный первичный эталон единиц времени и частоты.

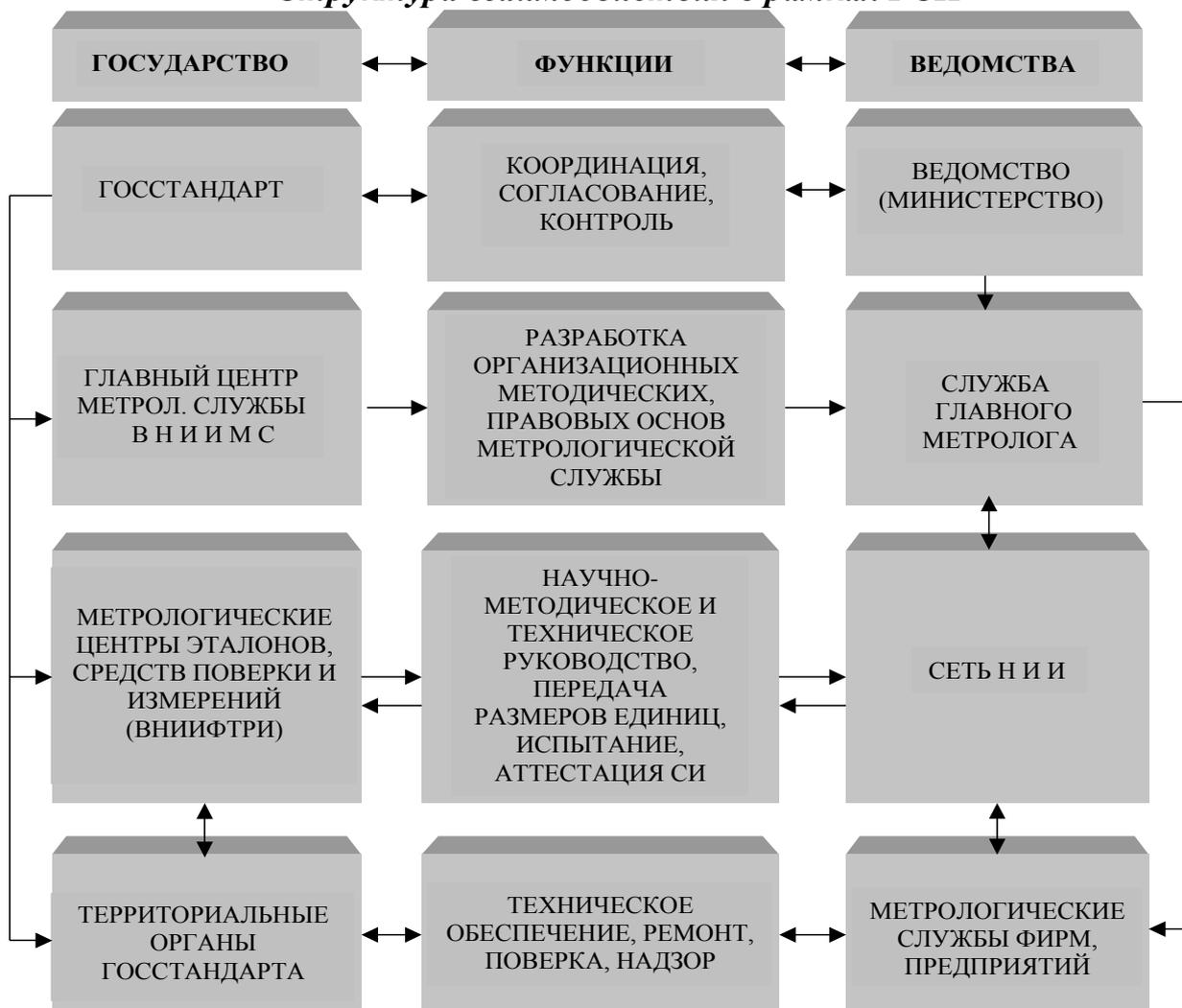
ГССО — это возглавляемая ВНИИМСО сеть организации различных министерств и ведомств. ГССО организует создание и применение стандартных образцов металлов и сплавов, медицинских препаратов, неф-

тепродуктов, минерального сырья, почв и т. п. Служба обеспечивает разработку средств сопоставления характеристик стандартных образцов с характеристиками веществ и материалов, которые производятся промышленными, сельскохозяйственными и другими предприятиями, для их идентификации или контроля.

ГСССД — это сеть организаций различных министерств и ведомств, несущих ответственность за получение и информационное обеспечение народного хозяйства ССД. Служба обеспечивает разработку достоверных данных о физических константах, о свойствах веществ и материалов. Возглавляет ГСССД ВНИЦ МВ (НПО "Элтест").

Метрологические службы федеральных органов управления создаются в министерствах (комитетах, ведомствах) в целях выполнения работ по обеспечению единства и требуемой точности измерений, проведения метрологического контроля и надзора.

Структура взаимодействия в рамках ГСИ



Метрологические службы организованы в Минздраве, Минатоме, Минприроде, Миноборонпроме и других федеральных органах исполнительной власти. Такие службы функционируют в РАО ЕЭС России,

РАО «Газпром» и других организациях. Метрологические службы федеральных органов управления и юридических лиц осуществляют свою деятельность в соответствии с Законом РФ «Об обеспечении единства измерений». Основные цели, задачи, права и обязанности метрологических служб государственных органов управления определены правилами по метрологии ПР 50.732—93 «Государственная система измерений. Типовое положение о метрологической службе государственных органов управления и юридических лиц». Права и обязанности метрологических служб определяются Положением о службе, утверждаемой руководителем министерства (комитета, ведомства).

К основным задачам метрологических служб федеральных органов управления относятся:

- надзор за состоянием и применением средств измерений, за аттестованными методиками выполнения измерений, за соблюдением метрологических правил и норм, нормативных документов по обеспечению единства измерений;
- калибровка средств измерений;
- проверка своевременности представления средств измерений на испытаниях в целях утверждения типа средств измерений, а также на поверку и калибровку;
- выдача обязательных предписаний, направленных на предотвращение, прекращение или устранение нарушений метрологических правил и норм;
- анализ состояния измерений, испытания и контроля на предприятии, в организации.

Метрологическая служба федерального органа управления представляет собой систему, образуемую его руководителем. Служба может включать в себя:

- структурное подразделение главного метролога в центральном аппарате федерального органа;
- головные и базовые организации метрологической службы в отраслях и подотраслях, назначаемые органом управления;
- метрологические службы предприятий, объединений и организаций (юридических лиц).

Метрологические службы (МС) юридических лиц (предприятий, организаций) относятся к числу основных звеньев метрологической службы федеральных органов управления (министерств, комитетов, ведомств).

Задачи, права и обязанности МС юридических лиц любой формы собственности изложены в правилах по метрологии ПР 50/732—93.

Изложим подробнее представление о структуре, основных задачах и обязанностях МС юридического лица на примере промышленного предприятия.

На крупном промышленном предприятии приказом руководства формируется самостоятельное структурное подразделение (отдел, бюро), возглавляемое главным метрологом предприятия, подчиняющимся

непосредственно главному инженеру (техническому директору). В службе главного метролога рекомендуется организовать следующие подразделения: комплексные (или по видам измерений) метрологические лаборатории, бюро подготовки и лабораторию организации метрологического обеспечения.

Структура и штаты МС утверждаются руководством предприятия исходя из специфики производства и объема работ, возлагаемого на метрологическую службу. Основными задачами МС предприятия являются: —обеспечение единства измерений, повышение уровня и совершенствование техники измерений, испытаний и контроля на предприятии; —организация и проведение работ по подготовке и совершенствованию метрологического обеспечения во всех областях деятельности предприятия; —определение необходимой номенклатуры и планомерное внедрение средств и методик выполнения измерений, испытаний и контроля, отвечающих современным требованиям и обеспечивающих повышение эффективности научных исследований, проектных, конструкторских и экспериментальных работ, поддержание заданных режимов технологических процессов, объективный контроль качества продукции, контроль соблюдения безопасных условий труда, учет и рациональное использование материальных и энергетических ресурсов. Метрологическая служба осуществляет свою работу под методическим руководством базовой организации метрологической службы министерства в тесном взаимодействии со службами стандартизации, надежности и сертификации продукции предприятия.

На МС предприятия возлагаются следующие обязанности:

- проведение анализа состояния метрологического обеспечения производства, научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ;
- разработка, согласование и внедрение стандартов и других нормативных документов по вопросам метрологического обеспечения;
- организация и участие в проведении метрологической экспертизы конструкторской и технологической документации, разрабатываемой на предприятии;
- разработка для нужд предприятия совместно с другими подразделениями СИ, их испытания и контроль;
- участие в проведении испытаний продукции и подготовке ее к сертификации;
- участие в разработке и внедрении локальных поверочных схем, поддержание в надлежащем состоянии эталонных СИ и организация своевременной поверки рабочих СИ;
- организация и проведение ремонта СИ, изучение их эксплуатационных свойств;
- участие в обеспечении подразделений предприятия СИ, стандартными образцами состава и свойств веществ и материалов, ведение учета СИ;
- организация обучения по повышению квалификации работников предприятия, связанных с выполнением измерений;

—предъявление руководителям подразделений предписаний об устранении выявленных нарушений метрологических правил, требований и норм, об изъятии из применения непригодных СИ.

На небольших предприятиях, при малых объемах работ Госстандарт России рекомендует вместо организации метрологических служб назначать лиц, ответственных за обеспечение единства измерений. Для ответственных лиц (инженеров-метрологов) утверждается должностная инструкция, в которой оговариваются их функции, права, обязанности и ответственность.

3. МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА НА ПРЕДПРИЯТИИ

Работы по метрологическому обеспечению подготовки производства начинаются с момента получения исходных документов на разработку новых изделий (освоение новой услуги) и выполняются всеми службами (конструкторскими, технологическими, метрологическими и др.) предприятий, осваивающих их производство. В результате выполнения этих работ должна быть создана нормативная база для определения с требуемой точностью и контроля с заданной достоверностью характеристик материалов, деталей, узлов и изделий, технологических процессов, оснастки и оборудования, необходимых для производства и выпуска продукции (выполнения услуги).

Работы по метрологическому обеспечению подготовки производства включают в себя:

—установление рациональной (минимально достаточной) номенклатуры измеряемых и контролируемых параметров и норм точности измерений, обеспечивающих эффективное ведение технологических процессов, достоверную оценку и контроль показателей качества изделий на всех этапах их изготовления, приемки и выпуска из производства при минимальных экономических затратах;

—разработку, аттестацию (в соответствии с ГОСТ Р 8.563—96 ГСИ. Методики выполнения измерений) и внедрение методик выполнения измерений и контроля, обеспечивающих установленные требования к точности результатов измерений и достоверности результатов контроля показателей качества изделий;

—выбор стандартизованных и разработку не стандартизованных (специального назначения) СИ и контроля;

—создание системы метрологического обслуживания используемых на производстве СИ и контроля;

—подготовку работников соответствующих служб и производственных подразделений предприятия к выполнению контрольно-измерительных операций;

—разработку нормативно-технических документов, регламентирующих правила выполнения каждого из указанных этапов работ по метрологическому обеспечению подготовки производства.

При выборе средств измерений основными метрологическими

характеристиками СИ считаются диапазон измерений, точность измерений, трудоемкость и стоимость контроля качества объекта измерения.

Диапазон измерений — область значений величины, в пределах которых нормированы допускаемые пределы погрешности.

Точность измерений определялась выше. Здесь скажем, что точность СИ должна быть достаточно высокой по сравнению с заданной точностью выполнения измеряемого размера, а трудоемкость измерений и их стоимость должны быть возможно более низкими, обеспечивающими экономичность процесса измерения.

Излишняя точность измерений ведет к повышению трудоемкости и стоимости измерений, а недостаточная точность нередко приводит к тому, что часть годной продукции при контроле качества может быть забракована и, наоборот, фактически негодная продукция может быть принята на контроле как годная.

4. МЕТРОЛОГИЧЕСКАЯ ЭКСПЕРТИЗА

Метрологическая экспертиза (МЭ) — анализ и оценивание оптимальности технических решений в части реализации метрологических требований, правил и норм, в первую очередь связанных с единством и точностью измерений. Различают МЭ документации и объектов.

Метрологической экспертизе подвергают техническую документацию (техническое задание, конструкторскую и технологическую документацию, документацию систем обеспечения качества и др.), различные приборы и технологическое оборудование.

Цель проведения экспертизы — оценка экспертами-метрологами правильности применения требований, правил, норм, обеспечивающих единство и точность измерений, а также обеспечение эффективности использования контрольно-измерительного оборудования.

В процессе проведения экспертизы решаются следующие задачи:

- определяется оптимальная номенклатура измеряемых и контролируемых параметров продукции и процессов;
- устанавливается соответствие показателей точности измерения требованиям эффективности и достоверности контроля и испытаний, а также обеспечения оптимальных режимов технологических процессов;
- проводится оценка контроля пригодности продукции и процессов;
- проводится выбор методов и средств измерений, обеспечивающих необходимое качество измерений при испытаниях или контроле;
- выявляется возможность применения унифицированных и стандартных средств измерений и аттестованных методик выполнения измерений;
- при необходимости разрабатываются и аттестуются методики выполнения измерений;
- устанавливается правильность обозначений физических величин и их единиц согласно принятых единиц физических величин.

Метрологическую экспертизу проводят подразделения метрологической службы предприятий и организаций. Проведение

метрологической экспертизы осуществляется в соответствии с действующими рекомендациями (МИ 1314—86, МИ 2267-2000, МИ 2177-91).

5. ПОНЯТИЕ О ГОСУДАРСТВЕННОМ МЕТРОЛОГИЧЕСКОМ НАДЗОРЕ И КОНТРОЛЕ

Метрологический контроль и надзор — деятельность, осуществляемая органами государственного контроля и надзора (ГМС) или аккредитованной метрологической службой (МС) юридического лица с целью проверки соблюдения пользователями СИ Закона «Об обеспечении единства измерений», требований государственных стандартов и других нормативных документов в области метрологии.

Метрологические службы юридических лиц осуществляют метрологический контроль и надзор путем:

- калибровки средств измерений (СИ);
- надзора за состоянием и применением СИ, аттестованными методиками выполнения измерений, эталонами единиц величин, применяемыми для калибровки СИ, соблюдением метрологических правил и норм, нормативных документов по обеспечению единства измерений;
- выдачи обязательных предписаний с целью устранения нарушений метрологических правил и норм;
- проверку своевременности представления СИ на испытание в целях утверждения типа, а также на поверку и калибровку.

В соответствии с Законом «Об обеспечении единства измерений» (ст. 13) *государственному контролю и надзору подвергаются СИ, методики выполнения измерений, количество товаров, фасованных в упаковки любого вида, и другие объекты в следующих сферах деятельности:*

- здравоохранение, ветеринария, охрана окружающей среды, обеспечение безопасности;
- торговые операции и взаимные расчеты между покупателем и продавцом, в том числе операции с применением игровых автоматов и устройств;
- государственные учетные операции;
- обеспечение обороны государства;
- геодезические и гидрометеорологические работы;
- банковские, налоговые, таможенные и почтовые операции;
- продукция, поставляемая по государственным контрактам в соответствии с Законом РФ «О поставках продукции и товаров для государственных нужд»;
- испытания и контроль качества продукции на соответствие обязательным требованиям государственных стандартов РФ и при обязательной сертификации продукции;
- измерения, проводимые по поручению органов прокуратуры, арбитража, других органов государственного управления;
- регистрация национальных и международных спортивных рекордов.

Государственный метрологический контроль включает:

- утверждение типа средств измерений;
- поверку средств измерений, в том числе эталонов;

—лицензирование деятельности юридических и физических лиц по изготовлению, ремонту, продаже и прокату средств измерений.

Государственный метрологический надзор осуществляется:

—за выпуском, состоянием и применением СИ, аттестованными методиками измерений, эталонами единиц величин, соблюдением метрологических правил и норм на предприятиях, деятельность которых относится к сферам, определенным ст. 13 указанного выше Закона;

—за количеством товаров, отчуждаемых при совершении торговых операций;

—за количеством фасованных товаров в упаковке любого вида при их расфасовке и продаже.

Проверки проводят должностные лица Госстандарта России — главные государственные инспекторы и государственные территориальные инспекторы по обеспечению единства измерений.

6. ВЛАДИМИРСКИЙ ЦСМ (ВЦСМ)

ВЦСМ выполняет функции Государственного надзора за стандартами, СИ, единицами физических величин, соблюдением метрологических правил и норм, а также испытанием и сертификацией продукции, работ и услуг на предприятиях, организациях и учреждениях области. Подчиняется Госстандарту России, взаимодействует с другими центрами России и институтами Госстандарта, а также Метрологическими службами министерств, ведомств, юридических лиц, федеральных и муниципальных органов самоуправления.

ВЦСМ руководит технической подготовкой в области метрологии, отвечает за единство измерений в регионе Владимирской области, входит (председателем) в областной Совет Метрологов. ВЦСМ осуществляет обучение и аттестацию специалистов-метрологов юридических лиц области, формирует планы и отчеты перед вышестоящими организациями. Под руководством ВЦСМ находятся: Отделы метрологии г. Владимира, Кольчугинского, Муромского, Гусь-Хрустального и Александровского районов, метрологические подразделения предприятий.

Владимирский отдел Метрологии занимается контролем; поверкой СИ; лицензированием работ по проектированию, изготовлению, ремонту, прокату и продаже СИ (ПР50.2.006(007); ПР50.50.2.005). Тарифы разрабатываются на основе МИ 2322-95 и ПР50.2.015-99. Проводит аккредитацию на право поверки СИ (ПР50.2.014); на право калибровки СИ (ПР50.2.016-96); на право разработки и аттестации МВИ (ГОСТ 8.563-97). Проводит МЭ, НД Аттестации испытательного оборудования по ГОСТ 8.568-97 в соответствии с ПР50.2.013-97. Проводит подготовку и переподготовку специалистов-метрологов их стажировку и аттестацию по ПР50.2.012-94.

Отдел Госнадзора проводит надзор:

- 1) За обязательными требованиями стандартов
- 2) За состоянием и применением СИ, МВИ норм и правил по метрологии
- 3) За правилами отчуждения товара при совершении торговых операций

4) За расфасовкой товаров и продуктов (ПР50.2.004-94)

Органы сертификации:

- 1) Орган сертификации пищевых продуктов
- 2) Орган сертификации работ и услуг автотранспорта; радио - и электробытовых товаров и услуг.

У директора ВЦСМ имеются заместители по сертификации пищевой продукции, ремонту автотранспорта, электробытовой и радиотехнической продукции. ВЦСМ взаимодействует с Пожарной; Торговой; Транспортной инспекцией; ГАИ; УВД; Учебной инспекцией; Антимонопольным комитетом; ВлГУ и др. организациями. Осуществляется взаимодействие с метрологическими службами юридических лиц, имеющими право поверки СИ в ограниченной области (для собственных нужд) и ограниченной номенклатуры (г. Радужный; Институт вирусологии; КЭМЗ; Завод Дегтярёва (г.Ковров), “Эталон”, ВлГУ и ряд юридических лиц, имеющих право калибровки СИ.

Основные виды деятельности ВЦСМ:**1. В области стандартизации:**

- а) комплексное обследование предприятий для выработки рекомендаций по повышению качества выпускаемой продукции.
- б) осуществляет проверки для выдачи разрешений на производство.
- в) проведение Госнадзора за стандартами и средствами измерений.
- г) проведение экспертных испытаний качества продукции.
- д) методическая помощь в организации службы стандартизации метрологии.
- е) информационное обслуживание предприятий.
- ж) помощь в обучении по стандартизации и метрологии.

2. В области испытаний и сертификации:

- а) комплексное обследование предприятий с целью выдачи разрешения выпуска сертифицированной продукции.
- б) проведение государственных испытаний средств измерений.
- в) участие в проведении государственных испытаний продукции.

3. В области метрологии:

- а) поверка средств измерений.
- б) аттестация нестандартных СИ и испытательного оборудования.
- в) аттестация измерительных, испытательных и метрологических лабораторий и отделов.
- г) выполнение специальных измерений с использованием уникального поверочного оборудования.
- д) метрологическое сопровождение разработки средств измерений, измерительных комплексов и систем.
- е) метрологическая аттестация информационно-измерительных систем, комплексов, роботов.
- ж) консультации по всем вопросам метрологии, стандартизации, сертификации.

ЛЕКЦИЯ 4: ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОНТРОЛЬ ЗА СИ

1. ОСНОВЫ ГОСУДАРСТВЕННОГО КОНТРОЛЯ

Утверждение типа СИ — первая составляющая государственного метрологического контроля. Оно необходимо для постановки на производство и выпуск в обращение новых типов СИ или их ввоза из-за границы. Процедура утверждения предусматривает обязательные испытания СИ, принятие решения об утверждении типа, его государственную регистрацию и выдачу сертификата об утверждении типа.

Утвержденный тип СИ подлежит внесению в *Государственный реестр*, который ведет Госстандарт РФ. На СИ утвержденного типа и эксплуатационные документы наносится знак утверждения типа установленной формы. При истечении срока действия сертификата, ухудшении показателей качества или внесении в их конструкцию изменения проводятся испытания на соответствие СИ утвержденному типу. В соответствии с международными соглашениями Госстандартом РФ может быть принято решение о признании результатов испытаний или утверждении типа СИ, проведенных за рубежом.

Метрологическая аттестация СИ — (МА) — признание СИ пригодным для применения (с указанием его метрологического назначения и метрологических характеристик) на основании тщательных исследований метрологических свойств этого средства. Как правило, МА подвергают СИ, не проходящие ГПИ или предназначенные для использования в качестве ОСИ.

Государственные приемочные испытания СИ — (ГПИ) — испытания образцов изготовленных СИ новых типов, предназначенных для серийного выпуска, или образцов СИ, подлежащих ввозу из-за границы партиями.

Государственные контрольные испытания СИ (ГКИ) — испытания образцов СИ, проводимые периодически с целью контроля качества серийно выпускаемых или ввозимых из-за границы партиями СИ на соответствие утвержденному типу.

Поверка средств измерений, в том числе эталонов, осуществляется органами Государственного метрологического контроля. Согласно Закону РФ «Об обеспечении единства измерений» допускается продажа и выдача напрокат только поверенных СИ. В отличие от процедуры утверждения типа, в которой участвует только типовой представитель СИ, *поверке подлежит каждый экземпляр СИ*.

Перечни групп СИ, подлежащих поверке, утверждаются Госстандартом. Развернутые перечни СИ, подлежащие поверке, составляют юридические и физические лица — владельцы СИ. Поскольку ежегодная потребность в поверке велика (около 1 млн. единиц СИ), а органы Государственной метрологической службы своими силами не могут обеспечить такой объем работы, Госстандарт РФ может предоставить право поверки СИ аккредитованным метрологическим службам юридических лиц.

Поверка СИ осуществляется аттестованным в качестве поверителя физическим лицом. Если СИ признано пригодным, то на него или на

техническую документацию наносится оттиск *индивидуального* поверительного клейма или выдается «Свидетельство о поверке».

В РФ применяются следующие виды поверок СИ:

Первичной поверке подлежат СИ утвержденных типов при выпуске из производства и после ремонта, а также при ввозе по импорту.

Периодической поверке подлежат СИ, находящиеся в эксплуатации или на хранении. Результаты периодической поверки действительны в течение межповерочного интервала. Первый межповерочный интервал устанавливается при утверждении типа. В дальнейшем межповерочные интервалы разрабатывают органы Государственной метрологической службы совместно с юридическими лицами-пользователями.

Внеочередную поверку осуществляют в следующих случаях:

—повреждение знака поверительного клейма или утрата свидетельства о поверке;

—ввод в эксплуатацию СИ после длительного хранения (более одного межповерочного интервала);

—неудовлетворительная работа прибора или проведение повторной настройки после ударного воздействия на СИ.

Инспекционную поверку производят для выявления пригодности к применению СИ при осуществлении государственного метрологического надзора.

Экспертную поверку производят при возникновении спорных вопросов по метрологическим характеристикам, исправности СИ и пригодности их к применению.

Лицензирование деятельности по изготовлению, ремонту, продаже и прокату СИ — одна из составляющих государственного метрологического контроля. Согласно Закону «Об обеспечении единства измерений» деятельность по изготовлению, ремонту, продаже и прокату средств измерений, относящихся к сфере распространения государственного метрологического надзора, должна подвергаться лицензированию органами Государственной метрологической службы.

Лицензия — это документально оформленное разрешение, выдаваемое органом Государственной метрологической службы на закрепленной за ним территории юридическому или физическому лицу на осуществление им деятельности по изготовлению, ремонту, продаже или прокату СИ.

Лица, претендующие на получение лицензии на изготовление СИ, должны иметь сертификат об утверждении типа СИ.

Лицензия действительна на всей территории Российской Федерации. Лицензия выдается на срок не более 5 лет, повторное лицензирование может быть осуществлено по сокращенной программе.

2. ПЕРЕДАЧА РАЗМЕРОВ ЕДИНИЦ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

Единство измерений достигается путем точного воспроизведения и хранения в специализированных организациях установленных единиц физических величин и передачи их размеров применяемым на практике СИ.

Воспроизведение единицы физической величины осуществляется в результате операций по материализации единицы физической величины с помощью государственного эталона. Различают воспроизведение *основной* и *производной* единицы.

Передача размера единиц — это приведение размера единицы физической величины, хранимой поверяемым СИ, к размеру единицы, воспроизводимой или хранимой эталоном, осуществляемое при их поверке или калибровке. Размер единицы передается от более точных средств измерений к менее точным СИ.

Поверка и калибровка представляют собой совокупность операций, выполняемых с целью определения и подтверждения соответствия СИ документально установленным техническим требованиям.

Суть поверки средств измерений заключается в нахождении погрешности СИ и установлении его пригодности к применению. По содержанию поверка СИ — это совокупность операций, выполняемых органами государственной метрологической службы или другими уполномоченными организациями с целью определения и подтверждения соответствия СИ установленным техническим требованиям. Процедура поверки регламентируется нормативными документами.

Поверка носит *обязательный характер* и проводится в отношении СИ, которые применяются в установленных Законом РФ «Об обеспечении единства измерений» сферах: здравоохранение, охрана окружающей среды, обеспечение обороны государства и др.

Калибровка средств измерений — комплекс операций, осуществляемых с целью определения и подтверждения действительных значений характеристик и (или) пригодности к применению СИ, не подлежащих государственному метрологическому контролю и надзору.

В ст. 23 Закона «Об обеспечении единства измерений» указывается на добровольный характер применения калибровки.

Калибровка может осуществляться метрологической службой юридического лица или любой другой аккредитованной на право проведения калибровочных работ организацией СИ, прошедшие калибровку, удостоверяются калибровочным знаком или соответствующим сертификатом.

Высшим звеном в метрологической цепи передачи размеров единиц измерений являются эталоны. Эталон 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 образцовые, а от них рабочим средствам измерений, утвержденное в качестве эталона в установленном порядке.

Соподчинение государственного эталона, вторичных эталонов и рабочих средств измерений определено государственной поверочной схемой.

Поверочная схема — это утвержденный документ, устанавливающий

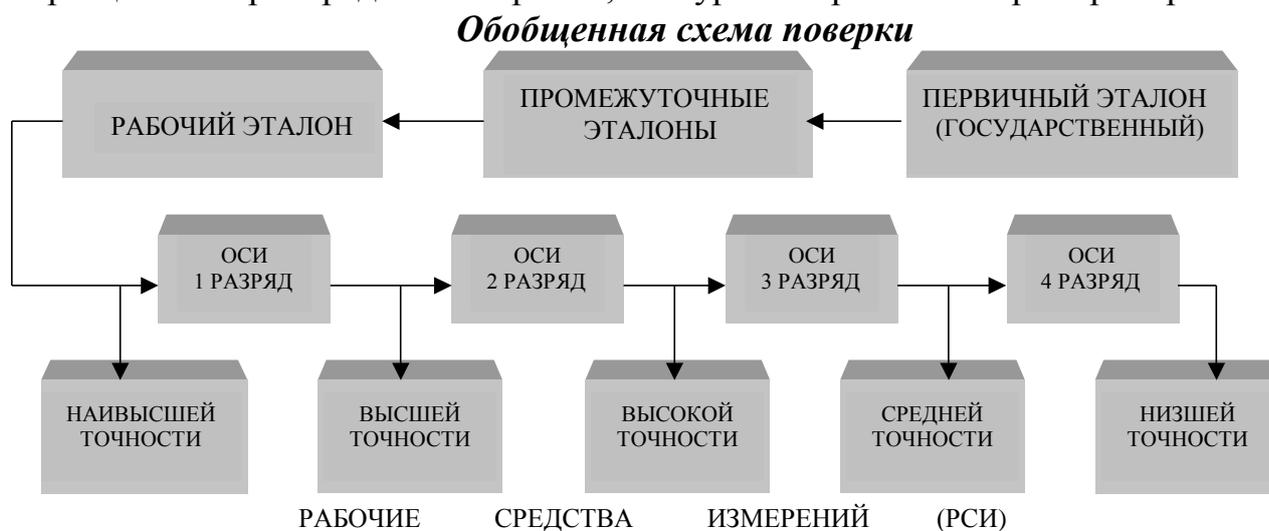
средства, методы и точность передачи размеров единиц от государственного эталона рабочим средствам измерений.

Различают государственные и локальные поверочные схемы. *Государственные поверочные схемы* определяются государственными стандартами и распространяются на все СИ данного вида; *локальные поверочные схемы* предназначены для метрологических органов министерств и метрологических служб юридических лиц и должны соответствовать требованиям соподчиненное, определяемой государственной поверочной схемой.

Передача информации о размере единиц осуществляется методами непосредственного сличения, а также с помощью компаратора. Непосредственное сличение применяют, как правило, для менее точных мер.

3. ОБОБЩЕННАЯ СХЕМА ПОВЕРКИ (ОСП)

ОСП включает в себя три уровня: I - уровень эталонов; II- уровень образцовых мер и средств измерения; III - уровень рабочих мер и приборов.



Эталон единицы физической величины — средство измерений или комплекс средств измерений, предназначенные для воспроизведения и хранения единицы (шкалы) и передачи ее размера нижестоящим по поверочной схеме (или менее точным) средствам измерений и утвержденные в качестве эталона в установленном порядке. По степени международного (национального) признания различают международные и национальные эталоны.

ПЕРВИЧНЫЙ ЭТАЛОН — эталон, обеспечивающий воспроизведение единицы (или шкалы) с наивысшей в стране (по сравнению с другими эталонами той же единицы) точностью. *Специальный эталон* — эталон, обеспечивающий воспроизведение единицы (шкалы) в особых условиях и служащий для этих условий первичным эталоном.

Специальные эталоны установлены для воспроизведения единиц в условиях, в которых прямая передача размера единицы от существующих эталонов технически неосуществима с требуемой точностью (высокие и сверхвысокие частоты; высокие энергии, давления, температуры; особые

состояния вещества; крайние участки диапазона измерений и т. п.).

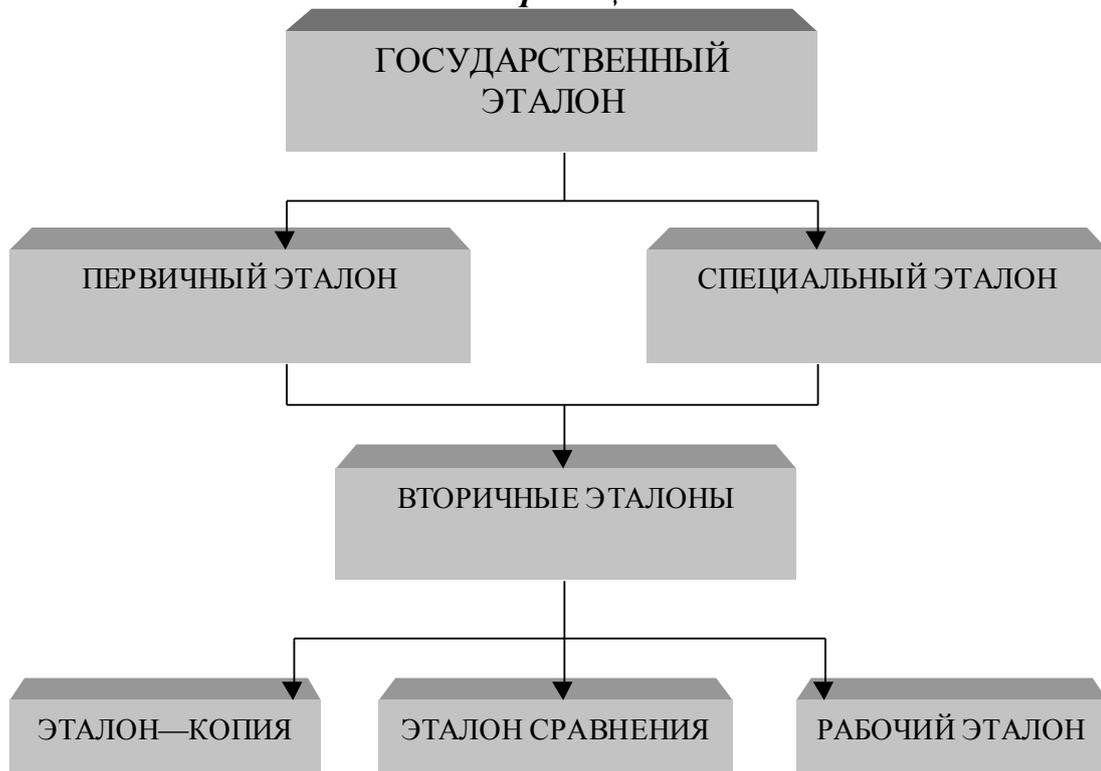
Примером специального эталона является эталон мощности электромагнитные волн при частотах 2,6—37,5 Гц в волноводных трактах.

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭТАЛОН - первичный или специальный эталон официально утвержденный Госстандартом в качестве исходного для страны.

Государственные эталоны всегда представляют собой комплексы средств измерений и вспомогательных устройств, обеспечивающие воспроизведение единицы и, в необходимых случаях, ее хранение, а также передачи размера единицы вторичным эталонам.

В метрологической практике большое распространение имеют вторичные эталоны. Вторичные эталоны составляют часть совокупности подчиненных средств хранения единиц и передачи их размера. Они создаются и утверждаются в тех случаях, когда это необходимо для организации поверочных работ и обеспечения сохранности и наименьшего износа Государственного эталона.

Схема классификации эталонов



ВТОРИЧНЫЙ ЭТАЛОН — эталон, получающий размер единицы путем сличения с первичным эталоном той же единицы.

ЭТАЛОН СВИДЕТЕЛЬ - вторичный эталон, предназначенный для сохранности государственного эталона.

ЭТАЛОН КОПИЯ - вторичный эталон, предназначенный для передачи размера рабочим эталонам. Создается при большом объеме поверочных работ и имеет ранг вторичных эталонов. Примером служит эталон-копия единицы массы килограмма в виде платиноиридиевой гири № 26 и рабочий эталон килограмма, изготовленный из нержавеющей стали.

ЭТАЛОН СРАВНЕНИЯ (эталон переносчик) - вторичный эталон, предназначенный для сличения эталонов, которые по каким либо причинам не могут быть непосредственно сличаемы друг с другом.

РАБОЧИЙ ЭТАЛОН - передает единицу размера образцовым средствам первого разряда и рабочим средствам наивысшей точности.

Наиболее точный эталон (или ОСИ) в данном конкретном органе метрологической службы называется *исходным*.

Для эталонов указывают:

- случайную погрешность воспроизведения единицы измерения, выраженную в виде среднего квадратичного отклонения результата измерений;
- не исключенную систематическую погрешность воспроизведения единицы измерения.

Одиночный эталон состоит из одной меры, одного измерительного прибора или одной измерительной установки, обеспечивающих воспроизведение или хранение единицы самостоятельно, без участия других средств измерений того же типа. Примерами одиночного эталона служат вторичные эталоны единицы массы — килограмма в виде платиноиридиевой и стальных гирь.

Групповой эталон состоит из совокупности однотипных мер, измерительных приборов или других средств измерений, применяемых как одно целое для повышения надежности хранения единицы.

Размер единицы, хранимой групповым эталоном, определяется как среднее арифметическое из значений, воспроизводимых отдельными мерами и измерительными приборами, входящими в состав группового эталона. Отдельные меры и измерительные приборы, входящие в групповой эталон, применяют в качестве одиночных рабочих эталонов, если это допустимо по условиям хранения.

Групповые эталоны бывают постоянного и переменного составов. В групповые эталоны переменного состава входят меры и измерительные приборы, периодически заменяемые новыми.

Эталонный набор представляет собой эталон в виде набора мер или набора измерительных приборов, позволяющий хранить единицу или измерять величину в определенном диапазоне, в котором отдельные меры или измерительные приборы набора предназначены для различных значений или различных областей значений измеряемой величины.

Примером эталонного набора является рабочий эталон единицы плотности жидкостей в виде набора денсиметров, служащих для определения плотности жидкостей в различных участках диапазона. Подобно групповым эталонам эталонные наборы могут быть постоянного и переменного состава.

Образцовое средство измерений — ОСИ — средство измерений, предназначенное для поверки подчиненных ОСИ и рабочих СИ. В практике большинства стран термин ОСИ не применяется. Все ОСИ, стоящие над рабочими СИ, называют *рабочими эталонами различного ранга* (разряда).

Примечания:

1. Далеко не всегда ОСИ точнее рабочего СИ. Например, для поверки вольтметра класса 5 достаточно иметь ОСИ класса 1,5, в то же время существуют рабочие вольтметры классов 0,5; 0,2 и т.д.

2. В качестве ОСИ могут использоваться рабочие СИ достаточной точности, прошедшие метрологическую аттестацию и имеющие ранг ОСИ.

ОБРАЗЦОВЫЕ МЕРЫ И ПРИБОРЫ - это меры и приборы предназначенные для хранения единиц измерения с меньшей точностью чем эталоны, а так же для поверки других мер и приборов.

КАЛИБРОВКА СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

Калибровка — совокупность операций, выполняемых с целью определения и подтверждения действительных значений метрологических характеристик, и (или) пригодность к применению средства измерений, *не подлежащего* государственному метрологическому контролю и надзору.

При определении и подтверждении действительных значений метрологических характеристик СИ лаборатория, калибрующая СИ, не делает вывода о пригодности прибора. Установленные характеристики могут отличаться от паспортных, и только заказчик определяет условия и цели использования данного СИ.

В Законе «Об обеспечении единства измерений» указывается на добровольный характер и область применения калибровки: «Средства измерений, не подлежащие поверке, могут подвергаться калибровке при выпуске из производства или ремонта или ввозе по импорту, при эксплуатации, прокате и продаже», однако добровольный характер калибровки не освобождает метрологическую службу от необходимости использования при калибровочных работах эталонов, соподчиненных с государственными эталонами единиц величин.

Калибровка может быть возложена как на метрологическую службу юридического лица, так и на любую другую аккредитованную организацию, способную выполнить калибровочные работы. Результаты калибровки СИ удостоверяются калибровочным знаком, наносимым на прибор, записью в эксплуатационных документах или сертификатом о калибровке.

Аккредитация на право проведения калибровки процедура добровольная. Она необходима тогда, когда предприятие поставляет продукцию на зарубежные рынки. В этом случае торговый партнер может потребовать от поставщика подтверждения того, что характеристики продукции измерялись СИ, проверенными аккредитованной метрологической службой.

Для проведения калибровочных работ создана и функционирует Российская система калибровки, деятельность которой регулируется соответствующими нормативными документами.

МЕТРОЛОГИЧЕСКАЯ НАДЕЖНОСТЬ СИ

Метрологической надежностью называют способность СИ сохранять установленное значение метрологических характеристик в течение заданного

времени при определенных режимах и условиях эксплуатации.

Надежность СИ является обобщенным понятием, включающим в себя стабильность, безотказность, долговечность, ремонтпригодность и сохраняемость.

Стабильность СИ — качественная характеристика, отражающая неизменность во времени его метрологических характеристик.

Безотказность — свойство СИ непрерывно сохранять работоспособное состояние в течение некоторого времени.

Долговечность — это свойство СИ сохранять свое работоспособное состояние до наступления предельного состояния, когда его применение уже недопустимо.

Ремонтпригодность — свойство СИ, заключающееся в приспособленности в случае отказов к восстановлению путем технического обслуживания и ремонта.

Сохраняемость — свойство СИ сохранять значения показателей безотказности, долговечности и ремонтпригодности не только в течение эксплуатации, но и после хранения и транспортирования.

СИСТЕМА СЕРТИФИКАЦИИ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

В России сформирована Система сертификации средств измерений. Структура Системы включает: Центральный орган — Управление метрологии Госстандарта РФ, Координационный совет, Апелляционный комитет, Научно-методический центр, органы по сертификации, испытательные лаборатории (центры) средств измерений.

Основная цель Системы — обеспечение единства измерений. Основная задача — проверка и подтверждение соответствия средств измерения установленным документально метрологическим нормам и требованиям.

Система носит добровольный характер, открыта для вступления и участия в ней юридических лиц — изготовителей, органов по сертификации, испытательных лабораторий и всех других заинтересованных предприятий, организаций и отдельных лиц.

Сертификацию осуществляют аккредитованные органы по сертификации средств измерений с учетом результатов испытаний аккредитованных лабораторий при наличии лицензионного соглашения с органом сертификации, который несет ответственность за объективность и достоверность результатов.

Аккредитацию органов по сертификации осуществляет Центральный орган Системы — Управление метрологии Госстандарта. Сертификат соответствия выдает также Центральный орган или иной орган по сертификации средств измерений на основе лицензии.

Порядок проведения сертификации включает следующие этапы:

- подача заявителем заявки в Центральный орган Системы на проведение сертификации;
- рассмотрение заявки и принятие решения по ней;
- проведение испытаний;

- сертификацию производства или системы качества, если это предусмотрено принятой схемой сертификации;
- анализ результатов, принятие решения о выдаче сертификата;
- выдача сертификата соответствия и информация о результатах сертифицирования.

Работа Системы сертификации средств измерений осуществляется на основе рекомендаций МИ 2277-93, МИ 2278-93 и МИ 2279-93.

МЕЖДУНАРОДНЫЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ ОРГАНИЗАЦИИ

Международное сотрудничество в области метрологии является важным фактором в решении таких крупных международных проблем, как торговля, научно-техническое сотрудничество, проблемы сырья, топлива и энергетики, продовольствия, охраны окружающей среды, использования ресурсов мирового океана. Метрология обеспечивает решение перечисленных проблем при соблюдении единства измерений как необходимое условие сопоставимости результатов испытаний и сертификации продукции. Именно эта задача является важнейшей в деятельности международных метрологических организаций, благодаря усилиям которых принята Международная система единиц физических величин (СИ), действует сопоставимая терминология, приняты рекомендации по испытаниям средств измерений перед выпуском серийной продукции и т. д.

Россия принимает активное участие в международных организациях по метрологии. Среди них наиболее известными являются Международная организация законодательной метрологии (МОЗМ), Международная организация мер и весов (МОМВ), Европейская организация по метрологии (ЕВРОМЕТ) и ряд других.

Международная организация законодательной метрологии (МОЗМ) — межправительственная организация, созданная по инициативе СССР в 1956 г. Россия участвует в ней как правопреемница Советского Союза. Организация объединяет более 80 государств.

Главные цели МОЗМ — разработка общих вопросов законодательной метрологии, в том числе установление классов точности СИ, обеспечение единообразия определения типов и образцов систем СИ, рекомендаций по испытаниям с целью установления единообразия метрологических характеристик СИ независимо от страны-изготовителя, определение порядка поверки и калибровки средств измерений.

МОЗМ издает международные рекомендации, которые охватывают следующие вопросы: терминологию в области метрологии, требования к метрологическим характеристикам СИ, способы выражения погрешностей СИ и результатов измерений, требования к метрологической деятельности, которые касаются испытаний, поверки, сертификации, калибровки СИ, метрологического контроля и надзора за обеспечением единства измерений. Документы МОЗМ носят рекомендательный характер.

Россию в МОЗМ представляет Госстандарт РФ, а также министерства и ведомства. Участие России в работе МОЗМ позволяет активно влиять на

содержание принимаемых рекомендаций, что дает возможность совершенствовать метрологическую деятельность в стране, гармонизировать ее с международными организациями — Международной организацией мер и весов (МОМВ), Международной электротехнической комиссией (МЭК), Международной организацией по стандартизации — (ИСО) и др.

Международная организация мер и весов (МОМВ) была создана в 1875 г. на основе Метрической конвенции, подписанной 17 государствами, в том числе Россией. В настоящее время ее членами являются 50 стран мира.

Цель МОМВ — унификация национальных систем единиц измерений физических величин и установление единых фактических эталонов длины и массы (метра и килограмма).

В соответствии с упомянутой выше конвенцией было создано *Международное бюро мер и весов* (МБМВ) — международная научно-исследовательская лаборатория, которая хранит и поддерживает международные эталоны. В практическом плане главной задачей МБМВ являются сличение национальных эталонов с международными. Научное направление работы Бюро — совершенствование метрической системы измерений и международных эталонов, разработка и применение новых методов и средств точных измерений, координация научно-исследовательских работ стран-членов в области метрологии.

Результаты научных работ МОМВ значительны. Достаточно назвать принятие Международной системы единиц, нового определения секунды, метра, электрических единиц и др. Важным результатом участия в работе МОМВ является переход стран на единые единицы и эталоны. Это обеспечивает основу для взаимного признания результатов измерений и испытаний, позволяет устранить технические барьеры в международной торговле.

Среди региональных международных организаций по метрологии, которые появились в последние годы, следует упомянуть *Европейскую организацию по метрологии* (ЕВРОМЕТ). ЕВРОМЕТ работает в области исследования и разработки национальных эталонов, содействует развитию поверочных служб - стран-членов на высшем метрологическом уровне, разрабатывает методы измерения наивысшей точности.

Многие международные организации, формально не являясь метрологическими организациями, наряду со своей основной деятельностью разрабатывают международные стандарты и рекомендации по метрологической терминологии и методикам выполнения измерений при испытаниях продукции, а также по установлению шкал измерений и т.д.

Специальными вопросами метрологии и измерительной техники занимаются ряд других международных организаций, таких как МККР — Международный консультативный комитет по радиосвязи, ИКАО — Международная организация гражданской авиации, МАГАТЭ — Международное агентство по атомной энергетике и т. д.

Между государствами — бывшими республиками СССР, членами СНГ

подписано Межправительственное соглашение о проведении согласованной политики в области стандартизации, метрологии и сертификации. В соответствии с этим документом сохраняется единство измерений на основе государственных стандартов СССР, использование единых эталонов, стандартных справочных данных, стандартных образцов состава и свойств веществ и материалов. Соглашение содержит положение о взаимном признании результатов испытаний средств измерений и их поверки.

ЛЕКЦИЯ 5: ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ

1. ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ

В соответствии с ГОСТ Р 8.000-2000 *измерение* — это нахождение значения физической величины опытным путем с помощью специальных технических средств. В зависимости от степени приближения результата измерения к объективности различают истинное, действительное и измеренное значения физической величины.

Истинное значение физической величины — это значение, идеально отражающее в качественном и количественном отношениях соответствующее свойство объекта. Из-за несовершенства средств и методов измерений истинные значения величин практически получить нельзя. Их можно представить только теоретически.

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

Измеренное значение физической величины — это значение, полученное при измерении с применением конкретных методов и средств измерений.

Погрешностью измерения называют отклонение результата измерения от истинного (идеального) значения измеряемой величины. Поскольку истинное значение величины неизвестно, то в метрологических работах вместо истинного значения используют действительное, за которое принимают показание эталонов.

В метрологической практике при проведении измерений необходимо учитывать ряд факторов, влияющих на результаты измерения. Это — объект и субъект измерения, метод, средство и условия измерения.

Объект измерения должен быть чист от посторонних включений, если измеряется плотность вещества, свободен от влияния внешних помех (природные процессы, промышленные помехи и т. п.). Сам объект не должен обладать внутренними помехами (работа самого объекта измерения). *Субъект измерения*, т. е. оператор, привносит в результат «личностный» момент измерения, элемент субъективизма. Он зависит от квалификации оператора, санитарно-гигиенических условий труда, психофизиологического состояния субъекта, от учета эргономических требований.

Метод измерения. Очень часто измерение одной и той же величины постоянного размера разными методами дает различные результаты, причем

каждый из них имеет свои недостатки и достоинства. Искусство оператора состоит и том, чтобы соответствующими способами исключить или учесть факторы, искажающие результаты. Если измерение не удастся выполнить так, чтобы исключить или компенсировать какой-либо фактор, влияющий на результат, то в последний в ряде случаев вносят соответствующую поправку.

Влияние СИ на измеряемую величину во многих случаях проявляется как возмущающий фактор, например, внутренние шумы измерительных электронных усилителей. Неправильные показания СИ могут быть результатом дефекта изготовления отдельных его частей.

Другим фактором является *инерционность СИ*, не успевающего отреагировать на изменение сигнала. При этом некоторые СИ дают постоянно завышенные или постоянно заниженные показания.

Условия измерения как влияющий фактор включают температуру окружающей среды, влажность, атмосферное давление, напряжение в сети и т. п.

Учет указанных факторов предполагает исключение ошибок и внесение поправок к измеренным величинам.

2. КЛАССИФИКАЦИЯ ПОГРЕШНОСТЕЙ ИЗМЕРЕНИЙ

1. По причинам появления можно выделить следующие погрешности: *методические, инструментальные и субъективные.*

МЕТОДИЧЕСКИЕ погрешности обусловлены несовершенством метода измерения, допущений и упрощений при использовании эмпирических зависимостей и др. Они закладываются и известны *на стадии проектирования*. Например, погрешность, связанная с ценой деления. Все методические погрешности для приборов данного типа всегда одинаковы. Отличительной особенностью методических погрешностей является то, что они могут быть определены лишь путем создания математической модели или имитационным моделированием измеряемого объекта и не могут быть найдены сколь угодно тщательным исследованием лишь самого измерительного прибора.

Если при проектировании прибора сделаны какие-то допущения, округления, приближения, то они приведут к погрешности уже в уравнении измерения или в статистической характеристике прибора. Например, при измерении мощности методом детектирования подразумевается, что характеристика детектора *квадратичная* на начальном участке и *линейная* при больших сигналах. Реальная характеристика отличается от принятой модели.

Методическая погрешность может быть также обусловлена влиянием измерительного устройства на измеряемую величину. Примером может служить погрешность шунтирования, возникающая при измерении напряжения вольтметром. Вследствие шунтирования входным сопротивлением вольтметра того участка цепи, на котором измеряется напряжение, оно оказывается меньшим, чем было до присоединения вольтметра. Поэтому для одного и того же вольтметра, присоединяемого

поочередно к разным участкам исследуемой цепи, эта погрешность различна: на низкоомных участках ничтожна, а на высокоомных - может быть очень большой.

Размер этой переменной погрешности не может быть указан в паспорте прибора, и она является методической. Для расчета этой погрешности пользователь должен при каждом конкретном измерении напряжения оценивать сопротивление исследуемой цепи между точками, к которым присоединен вольтметр, т.е. производить дополнительное исследование объекта измерения.

Часто причиной возникновения методической погрешности является то, что, организуя измерения, нередко измеряют или вынуждены измерять не ту величину, которая в принципе должна быть измерена, а некоторую другую, близкую, но неравную ей. Этот прием замены позволяет создавать наиболее простые, надежные и универсальные приборы.

Когда метод уже воплощен в приборе, то его погрешности должны быть изучены, определены и занесены в паспорт. С этого момента, вне зависимости от причин возникновения, погрешности для пользователя *могут считаться инструментальными*.

ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ погрешности обусловлены свойствами средств измерений: неидеальностью составных частей, несовершенством технического процесса изготовления прибора и разбросом параметров элементов. К этим погрешностям относят также погрешности, связанные с влиянием внешних факторов и режима питания.

СУБЪЕКТИВНЫЕ - погрешности, обусловленные влиянием на результаты оператора, снимающего показания (например, погрешность параллакса).

2. По условиям появления погрешности подразделяются на:

СТАТИЧЕСКИЕ (основную и дополнительную);

ДИНАМИЧЕСКИЕ (основную и дополнительную).

СТАТИЧЕСКАЯ ПОГРЕШНОСТЬ — это погрешность прибора в установившемся режиме работы.

ДИНАМИЧЕСКАЯ ПОГРЕШНОСТЬ - погрешность возникшая в неустановившемся режиме измерений. Это добавка к статической погрешности.

Средства измерений могут применяться в нормальных и рабочих условиях. Эти условия для конкретных видов СИ установлены в стандартах или технических условиях.

Нормальным условиям применения средств измерений должен удовлетворять ряд следующих (основных) требований: температура окружающего воздуха $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$; относительная влажность $(65 \pm 15)\%$; атмосферное давление (100 ± 4) кПа; напряжение питающей сети (220 ± 4) В и $(115 \pm 2,5)$ частота сети (50 ± 1) Гц и (400 ± 12) Гц. Как следует из перечисленных требований, нормальные условия применения СИ характеризуются диапазоном значений влияющих на них величин типа климатических факторов и параметров

электропитания.

Рабочие условия применения СИ определяются диапазоном значений влияющих величин не только климатического характера и параметров электропитания, но и типа механических воздействий. В частности, диапазон климатических воздействий делится на ряд групп, охватывающих широкий диапазон изменения окружающей температуры. В рабочих условиях прибор функционирует и может быть оценена его дополнительная погрешность.

Влияющий фактор		Группа						
		1*	2	3	4	5	6	7**
Температура, T °C	min	10	10	5	-10	-30	-50	-30
	max	25	35	40	40	50	60	70
Max влажность в % при температуре T °C		80	80	90	90***	90	95	90
<i>Атмосферное давление</i>		630...800				460...800		
Напряжение питания		220±22V(±10%)						

* - соответствует основным мерам измерительных вычислительных устройств;

** - 7 группа для составных частей приборов 5 группы;

*** - вместо 90% при 30 °C можно задать 98% при 25 °C.

Для вычислительной техники рекомендуется 2 группа, для измерительных приборов — 3 группа, для аппаратуры со специальными свойствами — 4, 5, 6 группы.

ОСНОВНАЯ — это погрешность в нормальных условиях работы (или номинальных).

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ - часть статистической погрешности, которая обусловлена отклонением условий работы от нормальных. Обычно дополнительная погрешность представлена в виде некой добавки на изменение внешних условий. Например, дополнительная погрешность не более половины основной при отклонении температуры на 10°C.

ОСНОВНАЯ СТАТИЧЕСКАЯ ПОГРЕШНОСТЬ, в зависимости от причин ее появления, может быть разделена на виды:

- погрешность приближения;
- погрешность от несоответствия параметров СИ или его частей номиналу;
- погрешность от действия внутренних дестабилизирующих факторов.

ОБЩАЯ СТАТИЧЕСКАЯ ПОГРЕШНОСТЬ: $\Delta Y_{ст} = \Delta Y_{осн} + \Delta Y_{доп}$.

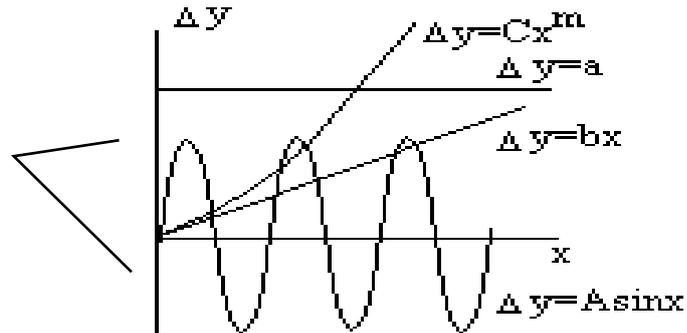
ОСНОВНАЯ ДИНАМИЧЕСКАЯ ПОГРЕШНОСТЬ - погрешность при номинальных условиях. На нее влияют инерционные элементы: масса подвижных частей, индуктивности, емкости и т.д. При преобразовании тепловых величин (термисторные измерители мощности, калориметрические...) возникает запаздывание установления температуры.

ОБЩАЯ ДИНАМИЧЕСКАЯ ПОГРЕШНОСТЬ: $\Delta Y_{д} = \Delta Y_{осн} + \Delta Y_{доп}$.

Полная погрешность $\Delta Y_{п} = \Delta Y_{д} + \Delta Y_{ст}$.

3. По характеру связи между величиной погрешности и уровнем сигнала различают аддитивные, мультипликативные, степенные, периодические и комбинированные (комплексные).

Графики погрешности в зависимости от уровня сигнала



$\Delta y = a = \text{const}$ — аддитивная погрешность не зависит от величины сигнала;

$\Delta y = bx$, $b = \text{const}$ — мультипликативная погрешность зависит от сигнала линейно;

$\Delta y = Cx^m$, $C = \text{const}$ — степенная погрешность (квадратичная, кубическая);

$\Delta y = A \sin x$ — периодическая погрешность;

В реальных приборах характер погрешности всегда более сложен, поскольку составляющих несколько и $\Delta Y = a + bx + cx^2 + dx^3 + \dots$.

4. По размерности различаются погрешности: абсолютная, относительная, приведенная, относительная приведенная погрешности. Понятие относительной погрешности применимо для величин, описываемых шкалами отношений и разностей.

АБСОЛЮТНАЯ — разность между полученным и истинным значением $\Delta y = y_{\text{изм}} - y_0$. Выражается в единицах измеряемой величины.

ОТНОСИТЕЛЬНАЯ — отношение абсолютной погрешности к истинному значению измеряемой величины $\delta = \Delta y / y_0 \approx \Delta y / y_{\text{изм}}$ (используется на практике). Так как найти истинное значение трудно, а абсолютную погрешность оценить можно исходя из паспортных данных на прибор.

ПРИВЕДЕННАЯ ОТНОСИТЕЛЬНАЯ — $\delta_{\text{пр}} = \Delta y / y_{\text{д}}$. отношение абсолютной погрешности к величине диапазона измерения ($y_{\text{д}}$ — предел измерения или мах значения шкалы). С ней связано понятие *класса точности* прибора. Он равен наибольшему значению приведенной относительной погрешности выраженной в процентах ($K = \delta_{\text{пр MAX}} 100\%$).

На практике погрешности приборов могут формироваться в виде 2-ух или 3-ех-членной формулы.

Предел основной допускаемой погрешности — максимальное значение погрешности прибора, при которой он считается исправным. Эта погрешность не является погрешностью конкретного измерения конкретным прибором. Это диапазон, в котором может лежать погрешность. В НД указывается именно эта погрешность, которую следует учитывать в расчетах как инструментальную.

Рассмотрим формы аналитического выражения и способы нормиро-

вания пределов допускаемых основной и дополнительной погрешностей средств измерений.

Пределы допускаемой абсолютной основной погрешности, выраженные в единицах измеряемой величины или условно в делениях шкалы СИ, устанавливаются по одной из следующих двух формул:

$$1) \Delta = \pm a; \quad 2) \Delta = \pm(a + bx).$$

Пределы допускаемой относительной основной погрешности устанавливаются как $\delta = \pm 100\Delta/x = \pm q$, если $\Delta = \pm a$. Здесь q — положительное число. *Пределы допускаемой относительной основной погрешности* задают в виде:

$$\delta = 100 \frac{\Delta}{x} = \pm \left[c + d \left(\frac{x_k}{x} - 1 \right) \right].$$

Пределы допускаемой приведенной основной погрешности устанавливаются по формуле $\delta_{пр} = \gamma = 100\Delta/X_N = \pm p$, где p — положительное число; X_N — нормирующее значение, выраженное в тех же единицах, что и абсолютная погрешность Δ .

Положительные числа q , p , c и d выбираются из ряда предпочтительных чисел: $1 \cdot 10^N$; $1,5 \cdot 10^N$; $2 \cdot 10^N$; $2,5 \cdot 10^N$; $4 \cdot 10^N$; $5 \cdot 10^N$; $6 \cdot 10^N$, где $N = 1, 0, -1, -2$ и т.д.

Для средств измерений с равномерной, практически равномерной или степенной шкалой значение X_N принимают следующим:

- большему из пределов измерений или равным большему из модулей пределов измерений, если нулевое значение (нулевая метка) находится на краю или вне диапазона измерений;
- сумме модулей пределов измерений, если нулевое значение внутри диапазона измерения.

Представленные формы записи пределов допускаемой основной погрешности используются для установления класса точности СИ, которые имеют различные обозначения.

Классы точности измерительных приборов можно обозначают числами c и d (в процентах), разделяя их косой чертой (например, 0,05/0,02).

Формула для предельной основной погрешности	Пределы допускаемой основной погрешности, %	Обозначение класса точности
$\delta_{пр} = \frac{100\Delta}{X_N} = \pm p$	$\pm p$	Класс точности 1,5
$\delta = 100 \frac{\Delta}{x} = \pm \left[c + d \left(\frac{x_k}{x} - 1 \right) \right].$	$\pm \left[c + d \left(\frac{x_k}{x} - 1 \right) \right].$	Класс точности $\frac{c}{d} = \frac{0,02}{0,01}$

Для разных способов нормирования погрешностей средств измерений вычисления погрешностей различны. Рассмотрим характерные случаи.

1. Класс точности прибора указан буквой p . Тогда абсолютная погрешность результата измерения $\Delta = \pm p \cdot X_k / 100$. Пусть класс точности

используемого вольтметра 1,0. Проводилось измерение напряжения в точке $x = 1\text{В}$ на пределе измерения $X_K = 10\text{В}$. Тогда относительная погрешность результата измерения

$$\delta_{\text{пр}} = \pm 100 \cdot P / X_K = \pm 100 \cdot 1 / 10 = \pm 10\%.$$

2. Класс точности используемого вольтметра указан как c/d . В этом случае удобнее вычислить относительную погрешность результата измерения по формуле

$$\delta = 100 \frac{\Delta}{x} = \pm \left[c + d \left(\frac{x_K}{x} - 1 \right) \right],$$

а затем найти абсолютную погрешность как $\Delta = \delta_{\text{пр}} \cdot x / 100$.

Пусть класс точности используемого вольтметра $c/d = 0,02/0,01$. Измерялось напряжения в точке $x = 2\text{В}$ на пределе измерения $X_K = 10\text{В}$.

Тогда относительная погрешность результата измерения

$$\delta_{\text{пр}} = \pm \left[0,02 + 0,01 \left(\frac{10}{2} - 1 \right) \right] = \pm 0,06\%$$

а абсолютная погрешность напряжения $\Delta = \pm \delta_{\text{пр}} \cdot x / 100 = \pm 0,06 \cdot 2 / 100 = \pm 12 \cdot 10^{-4}\text{В}$.

В цифровых измерительных приборах аддитивная погрешность определяется *погрешностью квантования* (погрешностью дискретности). При плавном изменении входной величины x (например, напряжения в диапазоне 0...5 мВ) цифровой вольтметр с пределом измерения 100 мВ не может дать других показаний, кроме дискретных значений 0-1-2-3-4-5 мВ. Поэтому при возрастании величины x от 0 до 0,5 мВ прибор будет показывать $x=0$. При превышении значения 0,5 мВ цифровой вольтметр даст показания $x = 1\text{ мВ}$ и сохранит его до $x = 1,5\text{ мВ}$.

5. По закономерности появления при многократных испытаниях погрешности делятся на: СИСТЕМАТИЧЕСКИЕ, ПРОГРЕССИРУЮЩИЕ (ДРЕЙФОВЫЕ) И СЛУЧАЙНЫЕ. Грубой погрешностью (промахом) называют погрешность измерения, существенно превышающую ожидаемую при данных условиях. Результаты измерений с грубой погрешностью отбрасывают.

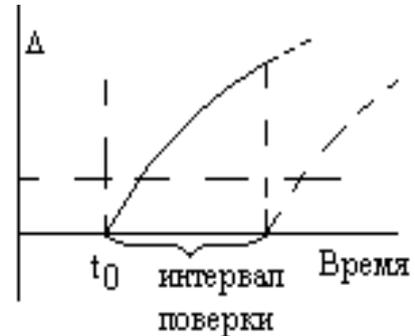
СИСТЕМАТИЧЕСКИЕ погрешности остаются постоянными или изменяются по определенному закону при повторных измерениях одной и той же величины. Они изменяются по известному закону в зависимости от сигнала и вызывающих причин, т.е. имеют определенное значение в каждой точке характеристики СИ. По характеру изменения во времени систематические погрешности подразделяют на постоянные и временные. Опасность систематических погрешностей заключается в том, что их присутствие чрезвычайно трудно обнаружить. Единственный способ их обнаружения состоит в проверке прибора путем повторной аттестации по образцовым мерам или сигналам.

Возникают, например, при неправильной установке нуля,

коэффициента передачи (калибровочного числа), из-за шумов, которые детектируются измерительной схемой, и возникает добавка.

Погрешности возникают при неидеальности амплитудной характеристики преобразователей и могут устраняться специальными приемами измерения. Например, погрешность из-за нелинейности характеристики детектора при измерении коэффициента передачи устраняется методом замещения путем использования регулируемого эталонного аттенюатора (меры).

ПРОГРЕССИРУЮЩИМИ (или дрейфовыми) называются непредсказуемые погрешности, медленно изменяющиеся во времени. Это погрешности, которые обычно носят характер систематических, но если не учитывать момент измерения, то можно считать ее случайной. Погрешности, как правило, вызываются процессами старения тех или иных деталей аппаратуры.



Если в какой-то момент времени t_0 прибор поверяется, то его систематическая погрешность минимальна, но с течением времени модуль погрешности будет расти (обычно по экспоненте). Если повторить поверку, то можно привести погрешность к исходному значению. Исходя из этого можно выбрать интервал времени в течении которого погрешность не превосходит значения основной допустимой погрешности. В соответствии с особенностями прибора этот интервал можно выбрать меньшим или большим (обычно 1 год).

Если мы хотим повысить точность измерений необходимо брать прибор сразу после поверки или делать интервал поверки короче.

СЛУЧАЙНЫЕ погрешности возникают в результате совокупного действия различных случайных причин. Они имеют разброс по величине и знаку при многократных испытаниях в одних и тех же условиях. В общем случае случайные погрешности могут иметь систематическую составляющую. В отличие от систематической ее нельзя исключить из результатов измерений, однако ее значение может быть уменьшено в результате специальных способов обработки результатов измерений. Для их описания используют вероятностный подход и законы распределения случайных величин. Среднее значение (математическое ожидание) содержит систематическую погрешность, а разброс значений (дисперсия или среднеквадратическое отклонение - СКО) характеризует случайную погрешность. Систематической погрешностью принято считать разность

$$\Delta Y_{\text{сист}} = M_1\{Y_{\text{экс}}\} - Y_0.$$

Случайные погрешности описываются условными законами распределения (зависящими от сигнала X или других причин).

ЛЕКЦИЯ 6: ЗАКОНЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТА ИЗМЕРЕНИЯ

В практике измерений законы распределения могут быть различными, но при анализе погрешностей реальный закон обычно аппроксимируют каким-нибудь более простым законом. Наиболее применимы законы распределения: нормальный; закон распределения Стьюдента; равномерный; арксинусный; дискретный двузначный; а также их композиции (трапециидальный, треугольный и др.)

Например, распределение, при котором с равными вероятностями встречаются только два дискретных значения случайной величины $+a$ и $-a$, называется дискретным двузначным распределением. Его плотность распределения вероятностей описывается аналитически как:

$$P(x) = [\delta(X-a) + \delta(X+a)]/2, \text{ где } \delta\text{-функция Дирака.}$$

Подобное распределение имеют цифровые приборы, показания которых принимают случайные значения в пределах дискрета.

Для описания различных свойств распределений используют параметры законов распределения, называемые моментами. Моменты, найденные без исключения систематической составляющей, называются начальными, а найденные для центрированных распределений, центральными.

Первый начальный момент называется математическим ожиданием. Второй центральный момент называется дисперсией случайной величины и относится к параметрам, характеризующим рассеяние отдельных ее значений от центра распределения.

Дисперсия имеет размерность квадрата случайной величины и выражает как бы мощность рассеяния относительно постоянной составляющей. Поэтому для более наглядной характеристики самого рассеяния пользуются корнем квадратным из дисперсии, т.е. действующим значением рассеянием, которое называется средним квадратическим отклонением (сокращенно - СКО) и имеет размерность самой случайной величины.

Третий центральный момент μ_3 характеризует асимметрично, т.е. скошенность распределения: когда один спад крутой, а другой пологий. Для симметричных относительно центра распределений он равен нулю. Третий момент имеет размерность куба случайной величины, поэтому для относительной характеристики асимметрии используют безразмерный коэффициент асимметрии, равный третьему моменту, деленному на куб СКО: $s = \mu_3/\sigma^3$.

Четвертый центральный момент характеризует протяженность распределения, а отнюдь не остроту его вершины, как это часто ошибочно указывается. Его относительное значение $\varepsilon = \mu_4/\sigma^4$ называется эксцессом распределения и для разных законов может иметь от 1 для дискретного двузначного распределения до бесконечности для распределения Коши. Во многих пособиях по теории вероятностей вводится коэффициент эксцесса γ_2

$= \varepsilon^{-3}$, который для более протяженных распределений, чем нормальное, - положителен, а для менее протяженных (треугольного, равномерного, арксинусоидального) – отрицателен.

Пусть абсолютная погрешность результата измерений является случайной и обозначается Δ . Аналитически случайная погрешность измерений описывается с помощью аппарата теории вероятностей и математической статистики. При такой оценке обычно интересуются вероятностью P того, что погрешность результата измерений Δ находится в некотором заданном интервале распределения погрешностей $(\Delta_{r1}, \Delta_{r2})$, где Δ_{r1} и Δ_{r2} — соответственно нижняя и верхняя границы интервала. Записывается данная вероятность как $P(\Delta_{r1} \leq \Delta \leq \Delta_{r2})$. В общем случае $0 \leq P \leq 1$. Если вероятность $P = 0,6$ и выполнено, например, сто измерений, то можно считать, что шестьдесят значений Δ попадают в интервал $(\Delta_{r1}, \Delta_{r2})$.

Для определения значения вероятности $P(\Delta_{r1} \leq \Delta \leq \Delta_{r2})$ необходимо знать закон $\rho(\Delta)$ распределения случайной погрешности Δ , называемый плотностью распределения вероятностей (или плотностью вероятностей) случайной погрешности Δ . При известном законе распределения $\rho(\Delta)$ искомая вероятность определяется по формуле

$$P(\Delta_{r1} \leq \Delta \leq \Delta_{r2}) = \int_{\Delta_{r1}}^{\Delta_{r2}} \rho(\Delta) d\Delta$$

Для интервала $(-\infty, \infty)$ всегда вероятность $P(-\infty < \Delta < \infty) = 1$. Это условие нормирования плотности распределения вероятностей $\rho(\Delta)$. Оно означает, что площадь под графиком любой функции $\rho(\Delta)$ на интервале всех ее значений должна быть равна единице.

Нормальный закон распределения погрешностей. Этот закон применяется при выполнении значительного числа измерений, когда большие погрешности Δ появляются реже, чем малые, а частота появления погрешностей, идентичных по абсолютной величине и противоположных по знаку, одинакова.

Для нормального закона распределения

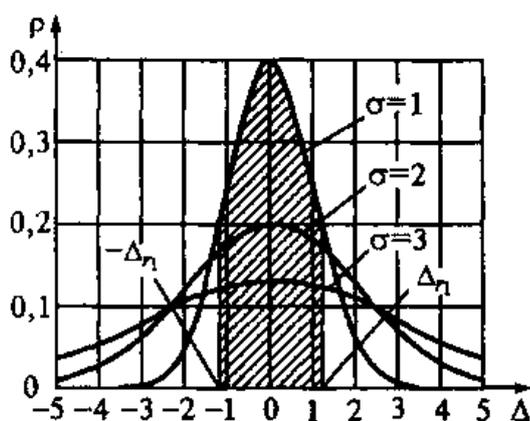
$$\rho(\Delta) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot \exp\left(\frac{-\Delta^2}{2\sigma^2}\right),$$

где σ — среднее квадратическое отклонение (СКО) погрешности Δ , характеризующее точность выполненных измерений (чем меньше σ , тем выше точность). Это следует из приведенных ниже графиков для различных значений σ . По мере уменьшения σ рассеяние случайных погрешностей Δ относительно центра их распределения, т.е. в данном случае относительно значения $\Delta = 0$, уменьшается. В теории вероятностей часто используется такой параметр, как дисперсия D , характеризующая рассеяние погрешностей относительно центра распределения. Причем среднее квадратическое отклонение и дисперсия связаны известной в математической статистике

формулой $\sigma = \sqrt{D}$.

На графике плотности вероятности для конкретного СКО вероятность численно равна площади S заштрихованной фигуры, ограниченной функцией $\rho(\Delta)$, отрезком оси Δ от $-\Delta_{r1}$ до Δ_{r1} и ординатами $\rho(-\Delta_{r1})$, $\rho(\Delta_{r1})$. Чем шире заданный интервал погрешностей $(-\Delta_{r1}, \Delta_{r1})$, тем больше площадь S , т.е. больше вероятность попадания случайных погрешностей измерений Δ в этот интервал.

Широкое применение в практической метрологии нормального закона распределения объясняется центральной предельной теоремой теории вероятностей (теоремой Ляпунова), утверждающей, что распределение случайных погрешностей будет близко к нормальному во всех случаях, когда результаты наблюдений формируются под влиянием большого числа независимо действующих факторов, каждый из которых оказывает лишь незначительное действие по сравнению с суммарным действием всех остальных.



Графики нормального закона распределения плотности вероятности

Для нормального закона распределения вероятность того, что случайная составляющая погрешности измерения не выходит за пределы интервала:

$\pm 3\sigma$, составляет 0,9972; $\pm 2,6\sigma$, составляет 0,99;
 $\pm 2\sigma$, составляет 0,95; $\pm 1,6\sigma$, составляет 0,9.

Погрешность, равная 3σ , принята в радиотехнике за *максимальную*. При этом из тысячи выполненных измерений только три их погрешности Δ выходят за пределы интервала $(-3\sigma, 3\sigma)$.

Нормальный закон распределения случайных погрешностей широко используется при обработке результатов измерений, что объясняется следующими обстоятельствами. Случайная погрешность измерения некоторой величины складывается из многих составляющих, вызванных различными причинами, зачастую трудноуловимыми. Учитывая отмеченное, принимают, что при прямых измерениях закон распределения случайных погрешностей многократных наблюдений некоторой величины соответствует нормальному. Для получения достаточно точных результатов обработки таких наблюдений их число n должно быть не меньше 20.

Закон распределения Стьюдента. Наиболее часто этот закон применяется в процессе обработки результатов небольшого числа многократных наблюдений физической величины ($2 \leq n < 20$) и справедлив, когда случайные погрешности наблюдений распределены по нормальному закону. Этот закон описывает распределение плотности вероятности значений случайной величины $t = (\tilde{x} - x_{и})/\sigma$, где $\tilde{x} = (x_1 + x_2 + \dots + x_n)/n$ — среднее арифметическое значение выполненного ряда наблюдений (x_1, x_2, \dots, x_n) величины $x_{и}$. Он отличается от нормального закона тем, что учитывает число выполненных наблюдений n и задается функцией, зависящей от относительного аргумента $t = \Delta/\sigma$, где $\Delta = \tilde{x} - x_{и}$ — случайная погрешность:

$$\rho(t)|n = \frac{\Gamma\left(\frac{n}{2}\right)}{\Gamma\left(\frac{n-1}{2}\right) \cdot \sqrt{\pi(n-1)}} \left(1 + \frac{t^2}{n-1}\right)^{-\frac{n}{2}}, \quad \Gamma(x) = \int_0^{\infty} e^{-t} t^{x-1} dt$$

Здесь $n \geq 2$; $\Gamma(n/2)$, $\Gamma((n-1)/2)$ — гамма-функции (интегралы Эйлера).

Из анализа следует, что закон распределения Стьюдента при числе наблюдений $n \geq 20$ практически совпадает с нормальным нормированным законом, а при $n < 20$ отличается от него тем значительнее, чем меньше число наблюдений n . Отличия состоят в увеличении рассеяния относительных погрешностей t около центра $t = 0$ по мере уменьшения числа наблюдений. Следовательно, при этом следует ожидать уменьшения вероятности P попадания погрешностей случайной величины t в заданный интервал $(-t_{г1}, t_{г1})$.

Случайная погрешность определяется по формуле $\Delta_{сл} = t(P_{д}, n)\sigma$, где $t(P_{д}, n)$ -коэффициент Стьюдента, характеризующий протяженность распределения.

Коэффициенты Стьюдента $t(P_{д}, n)$

n	$P_{д}$							
	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	0,95	0,98	0,99
2	1,00	1,38	1,96	3,08	6,31	12,71	31,82	63,66
3	0,82	1,06	1,34	1,89	2,92	4,30	6,97	9,93
4	0,77	0,98	1,25	1,64	2,35	3,18	4,54	5,84
5	0,74	0,94	1,19	1,53	2,13	2,78	3,75	4,60
6	0,73	0,92	1,16	1,48	2,02	2,62	3,37	4,03
7	0,72	0,91	1,13	1,44	1,94	2,45	3,14	3,71
8	0,71	0,90	1,12	1,42	1,90	2,37	3,00	3,50
9	0,71	0,89	1,11	1,40	1,86	2,31	2,90	3,36
10	0,70	0,88	1,10	1,38	1,83	2,26	2,82	3,25
16	0,69	0,87	1,07	1,34	1,75	2,13	2,60	2,95
25	0,69	0,86	1,06	1,32	1,71	2,06	2,49	2,80

При одной и той же доверительной вероятности с уменьшением числа наблюдений доверительный интервал увеличивается, т.е. точность измерений ухудшается.

Равномерный закон распределения плотности вероятности. Данный закон применяется тогда, когда случайная погрешность измерений с идентичной плотностью вероятности принимает любые значения в ограниченном интервале. Этот закон характерен для случайных погрешностей при измерении непрерывных физических величин методом дискретного счета, при преобразовании таких величин в аналого-цифровых преобразователях (погрешности дискретности, квантования), а также для погрешностей отсчета показаний со шкал приборов.

Все возможные случайные погрешности результата измерений, описываемых равномерным законом, расположены в интервале $(-\Delta_m, \Delta_m)$, где Δ_m — максимальная погрешность. Аналитически плотность вероятности равномерного закона распределения определяется по формуле

$$\rho(\Delta) = \begin{cases} \frac{1}{2\Delta_m}, & -\Delta_m \leq \Delta \leq \Delta_m; \\ 0, & \Delta < -\Delta_m \text{ и } \Delta > \Delta_m. \end{cases}$$

Вероятность того, что случайная погрешность результатов измерений Δ находится в некотором симметричном интервале $(-\Delta_{r1}, \Delta_{r1})$, определяется выражением (2.5) при подстановке в него значения плотности вероятности $\rho(\Delta) = 1/(2\Delta_m)$:

$$P(-\Delta_{r1} \leq \Delta \leq \Delta_{r1}) = \int_{-\Delta_{r1}}^{\Delta_{r1}} \rho(\Delta) d\Delta = \frac{1}{2\Delta_m} \int_{-\Delta_{r1}}^{\Delta_{r1}} d\Delta = \frac{\Delta_{r1}}{\Delta_m}.$$

На графике площадь заштрихованного прямоугольника с основанием $2\Delta_{r1}$ и высотой $1/(2\Delta_m)$ численно равна вероятности.

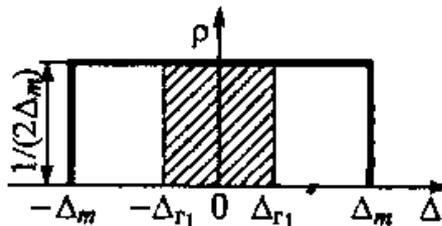


График равномерного закона распределения плотности вероятности

Для равномерного закона, симметричного относительно центра $\Delta = 0$, расчет СКО σ случайной погрешности выполняется с помощью известного из теории вероятностей выражения для дисперсии - случайной величины:

$$\sigma = \sqrt{D} = \sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} \Delta^2 \rho(\Delta) d\Delta} = \sqrt{\frac{1}{2\Delta_m} \int_{-\Delta_m}^{\Delta_m} \Delta^2 d\Delta} = \sqrt{\frac{\Delta_m^2}{3}} = \frac{\Delta_m}{\sqrt{3}}.$$

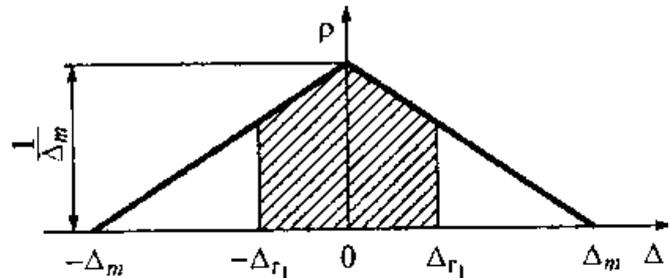
Изменение напряжения питания вследствие постепенно разряда гальванических источников тока можно приближенно считать линейной функций времени. Можно считать равномерным распределение погрешности от изменения температуры окружающей среды для приборов, работающих в цеховых или лабораторных условиях при односменной работе.

Равномерное распределение имеют: погрешность квантования в цифровых приборах, погрешность округления при расчетах, при отсчете показаний аналоговых приборов, погрешность от трения в стрелочных приборах с креплением подвижной части на кернах и подпятниках, а также в самоуровневающих мостах и потенциометрах со следящим электромеханическим приводом, погрешность определения момента времени для каждого из концов временного интервала в электронных цифровых хронометрах и частотомерах.

Треугольный закон распределения (закон Симпсона). Он характерен для случайных погрешностей цифровых приборов, в которых измеряемая величина преобразуется в пропорциональный интервал времени $T_{сч}$, называемый *временем счета*, а измерение этого интервала выполняется с помощью счетных импульсов стабильного генератора, имеющих период следования T_0 . В связи со случайным положением счетных импульсов относительно интервала $T_{сч}$, а также случайным соотношением между периодом T_0 и временем счета $T_{сч}$ треугольный закон представляет собой *композицию* (объединение) двух равномерных законов с одинаковыми по величине максимальными погрешностями Δ_m .

Функция распределения одномерной плотности вероятности случайных погрешностей для треугольного закона задается следующими соотношениями:

$$\rho(\Delta) = \begin{cases} \frac{\Delta_m + \Delta}{\Delta_m^2}, & -\Delta_m \leq \Delta \leq 0; \\ \frac{\Delta_m - \Delta}{\Delta_m^2}, & 0 \leq \Delta \leq \Delta_m; \\ 0, & -\Delta_m > \Delta; \Delta > \Delta_m. \end{cases}$$



Треугольный закон распределения плотности вероятности

Для этого закона вероятность того, что погрешность измерения Δ располагается в интервале $(-\Delta_{r1}, \Delta_{r1})$:

$$P(-\Delta_{r1} \leq \Delta \leq \Delta_{r1}) = 2 \int_0^{\Delta_{r1}} \left(\frac{\Delta_m - \Delta}{\Delta_m^2} \right) d\Delta = 2 \left(\frac{\Delta_{r1}}{\Delta_m} \right) - \left(\frac{\Delta_{r1}}{\Delta_m} \right)^2.$$

Заштрихованная область численно равна вероятности, определяемой последней по формуле.

В практике радиоизмерений используются и другие законы распределения погрешностей (например, *трапецидальный*, *арксинуса* и др.). В частности, трапецидальный закон является композицией двух равномерных с различными значениями максимальных погрешностей Δ_m . Если трапецидальный закон распределения неизвестен, то обычно принимают равномерное распределение погрешностей.

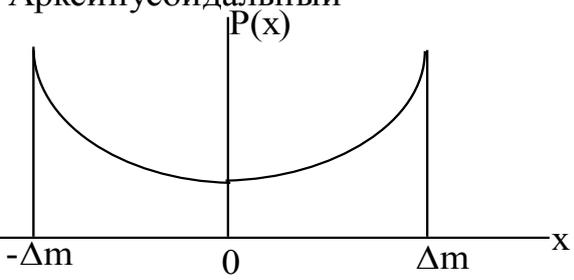
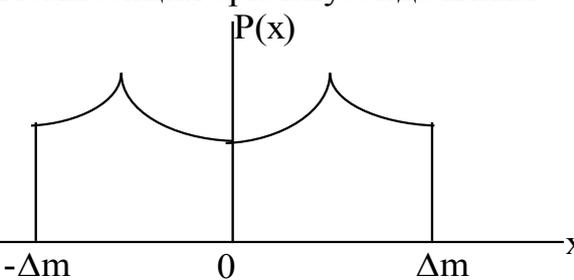
Суммируясь между собой, эти погрешности образуют трапецидальные распределения с разным отношением оснований трапеции.

Так, например, общая погрешность протяженности временного интервала в электронных цифровых частотомерах оказывается распределенной по треугольному закону Симпсона, так как образуется из двух равных равномерно распределенных погрешностей определения его концов.

Арксинусный закон распределения. Одной из составляющих погрешности, характерной для электрических средств измерений является погрешность от наводки на входе прибора или линии связи синусоидального напряжения силовых цепей с частотой 50 и 400 Гц. Эта помеха, складываясь с полезным сигналом, создает, как правило, аддитивную погрешность и в ряде случаев ограничивает порог чувствительности измерительного устройства. Распределение такой погрешности называется арксинусоидальным. Распределение суммы двух синусоидально изменяющихся во времени с разными частотами величин является композицией двух арксинусоидальных распределений. Если они имеют разные размахи, то их композиция имеет два пика.

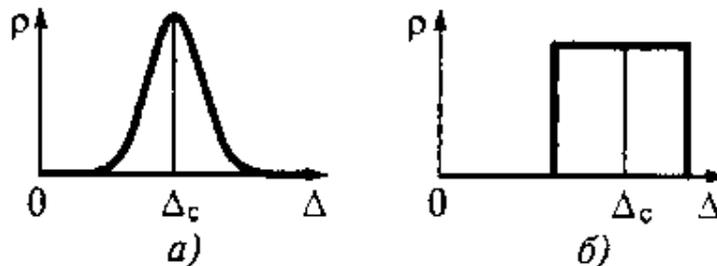
В общем случае погрешность результата измерения представляет собой сумму систематической Δ_c и случайной Δ погрешностей. При этом рассеяние значений случайной погрешности происходит относительно некоторого центрального значения, равного величине систематической погрешности.

Вид распределения	$\Delta m / \sigma$
1. Равномерный 	$\sqrt{3} \approx 1.73$
2. Трапециевидальный 	$\sqrt{4.8} \approx 2.19$
3. Треугольный 	$\sqrt{6} \approx 2.45$

Вид распределения	$\Delta m / \sigma$
1. Арксинусоидальный 	$\sqrt{2} \approx 1.41$
2. Композиция арксинусоидальных 	$4 / \sqrt{5} \approx 1.79$

Здесь Δm - максимальная погрешность центрированной погрешности.

Законы распределения погрешностей с центром Δ_c



Для количественной оценки систематической составляющей погрешности измерений Δ_c и рассеяния случайной погрешности Δ обычно используются две числовые характеристики случайной величины — математическое ожидание $M(\Delta)$ и дисперсия $D = \sigma^2$ соответственно:

$$M(\Delta) = \int_{-\infty}^{\infty} \Delta \rho(\Delta) d\Delta; \quad D(\Delta) = \int_{-\infty}^{\infty} (\Delta - M(\Delta))^2 \rho(\Delta) d\Delta.$$

Для оценки величины разброса случайных погрешностей относительно центра, т.е. ширины распределения, на практике используются различные приемы, приводящие к существенно разным результатам. "Предельная", или "максимальная", оценка случайной погрешности теоретически справедлива только для ограниченных распределений (равномерного, трапецеидального, треугольного, арксинусоидального и т.п.). Для этих распределений действительно существует такое значение $\pm \Delta_m$, которое ограничивает с обеих сторон возможные значения случайной

величины. Однако эти распределения являются лишь теоретической идеализацией. Главным недостатком такой оценки является бессмысленность арифметического суммирования “предельных” значений, так как получаемая сумма может превышать действительные погрешности в несколько раз.

На основании этого вводится понятие квантильных оценок погрешности, т.е. значений погрешности с заданной доверительной вероятностью P_d , как границ интервала неопределенности, на протяжении которого встречается P_d 100 процентов всех значений погрешности, $(1-P_d)100$ процентов общего числа их значений остаются за границами этого интервала.

В теории и практике оценки надежности средств автоматики, электронной и измерительной техники общепринятая доверительная вероятность равна 0.9. Удобней всего доверительную погрешность снабжать индексом, численно равным принятой доверительной вероятности, т.е. писать, например $\Delta^{0.90}$ при $P_d=0.9$, $\Delta^{0.95}$ при $P_d=0.95$.

Доверительная погрешность обладает тем уникальным свойством, что для широкого класса наиболее употребительных законов распределения вероятностей только она имеет однозначное соотношение со средним квадратическим отклонением в виде $\Delta^{0.9} = 1.6\sigma$ вне зависимости от вида распределения. Поэтому при отсутствии данных о виде закона распределения для определения двусторонней доверительной вероятности предписывал использование только $P_d=0.9$. Практическое определение Δ_d сводится к тому, что из всех полученных отсчетов отбрасываются наиболее удаленные от центра, а следовательно, самые ненадежные отсчеты. Если при переменной N (количество измерений) отбрасывается постоянная относительная доля всех отсчетов, то определяемое по крайним членам оставшегося вариационного ряда значение Δ_d , в отличии от Δ_m , с ростом длины N серии отсчетов не возрастает, а стабилизируется и оказывает тем более устойчивым, чем больше объем выработки N , не уступая по простоте определения “максимальному” значению Δ_m . При этом следует иметь в виду, что по ограниченным экспериментальным данным мы получаем не точные доверительные значения, а лишь их приближенные значения - ОЦЕНКИ. Достоверность квантильных оценок резко повышается с понижением значений P_d , а при постоянном P_d - с ростом числа отсчетов N . Поэтому квантильные оценки с большими доверительными вероятностями могут быть найдены только при большом числе отсчетов.

Располагая рядом из n отсчетов и отбрасывая с каждого из концов ряда по $N_{\text{ОТБ}}$ отсчетов, можно определить с доверительной вероятностью, не большей, чем $P_d \leq (N-1) / (N+1)$. Отсюда число отсчетов N , необходимое для определения по экспериментальным данным с заданной вероятностью P_d , будет не меньшим, чем $N \geq (1+P_d+2N_{\text{ОТБ}}) / (1-P_d) \approx [2(1+N_{\text{ОТБ}})] / (1-P_d)$. Для различных значений P_d и $N_{\text{ОТБ}} = 1$ приведено ниже:

P_d	0.8	0.9	0.95	0.98	0.99	0.995	0.997
N	20	40	80	200	400	800	1333

Таким образом, по экспериментальным данным легко определить значение Δ_d лишь с доверительной вероятностью $P_d \geq 0.95$ ($N = 80$), а определение $\Delta^{0.99}$ или $\Delta^{0.997}$ практически трудноосуществимо (нужно $N > 400-1333$).

Часто доверительные погрешности рассчитывают, вводя ничем не обоснованное предположение о том, что вид закона распределения погрешностей будто бы точно известен. В частности, используют прием, заключающийся в вычислении по небольшой выборке в 20-30 отсчетов оценки среднего квадратического отклонения σ , а затем указывают погрешность с доверительной вероятностью $P_d = 0.997$, равную $\Delta^{0.997} = 3\sigma$ на основании предположения о нормальности закона распределения. Однако такой прием является не корректным.

ГИСТОГРАММЫ

Выборки x_i $i = (1, \dots, n)$, полученные в отдельных измерениях величины x при наличии случайных ошибок, можно представить на диаграмме в виде столбцов. При построении все выборки x_i , полученные в измерениях, следует расположить на небольших интервалах шириной Δx , а затем отложить число выборок $N(x)$, попавших в эти интервалы. Обычно размер интервалов выбирается по правилу:

$$\Delta x = (x_{max} - x_{min}) / n^{1/2}, \text{ где } K = n^{1/2} - \text{число столбцов диаграммы.}$$

Для $n < 25$ значение Δx лучше определить по правилу Старджеса (Sturges):

$$\Delta x = (x_{max} - x_{min}) / (1 + 3,3 \log n).$$

Если ширину интервала Δx выбрать слишком малой, то «оггибающая» диаграммы будет сильно изрезанной. При слишком большом значении Δx «оггибающая» оказывается квантованной очень грубо, и форма распределения проступает не так явно.

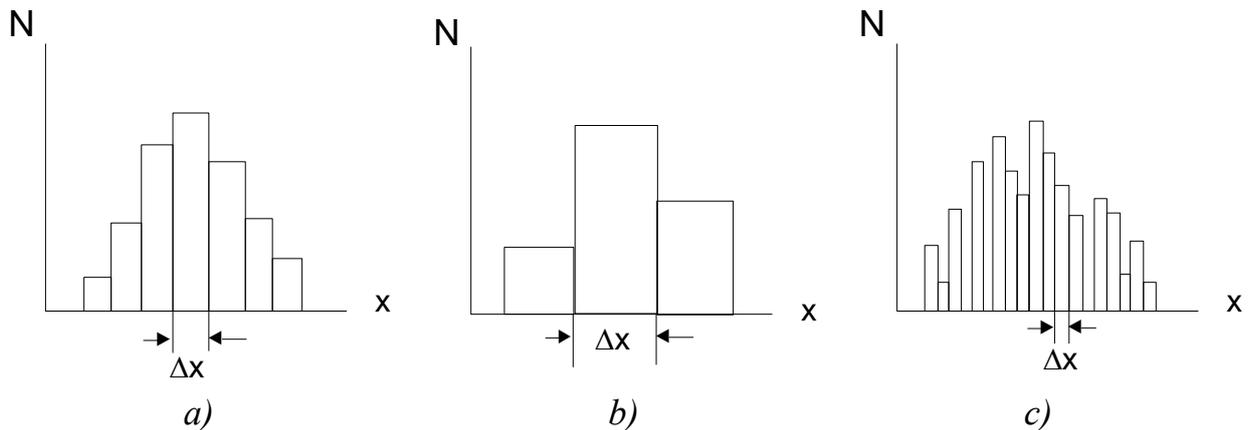
Можно построить нормализованную диаграмму, откладывая $N(x)/n$. Тогда по вертикали указывается относительное число измерений, результаты которых лежат в данном интервале. В этом случае можно утверждать, что по оси ординат отложена *вероятность* попадания результата измерения в данный интервал. Кроме того, можно провести нормализацию и по ширине интервала Δx , откладывая $N(x)/(n\Delta x)$. Диаграмму, получающуюся в результате нормализации, обычно называют *гистограммой*.

Если число выборок n растет, а диапазон $x_{max} - x_{min}$ остается в ограниченных пределах, как это бывает на практике при измерении всех физических величин, то число интервалов, на которые разбивается этот диапазон, и число столбцов в гистограмме, увеличиваются, тогда как ширина одного интервала Δx уменьшается. При $n \rightarrow \infty$ оггибающая гистограммы переходит в гладкую кривую. Такая (дважды) нормализованная гистограмма является *плотностью распределения вероятностей*

$$f(x) = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{1}{n} \frac{N(x)}{\Delta x}.$$

Или

$$f(x) dx = \frac{N(x)}{n}.$$



Диаграммы: (а) при правильном выборе ширины интервалов Δx , на которые разбивается весь диапазон возможных значений x ; (б) при слишком больших значениях Δx ; (с) при слишком малых значениях Δx .

Это означает, что $f(x)dx$ есть вероятность того, что значение выборки попадает в интервал между x и $x+dx$; отсюда и следует название: *плотность распределения вероятности*. Из последнего равенства следует, что

$$\int_{-\infty}^{\infty} f(x) dx = 1.$$

Интеграл в этом выражении представляет собой сумму всех вероятностей $f(x)dx$. Он равен вероятности того, что очередная выборка попадет в первый интервал ширины dx , или во второй, или в третий и т. д. Так как результат измерения должен принадлежать одному из этих интервалов, сумма должна равняться 1. Последнее соотношение показывает, что единице равна площадь под плотностью распределения вероятностей (что и достигается, главным образом, путем двукратной нормализации). Зная плотность распределения вероятностей, легко найти вероятность того, что результат очередного измерения x окажется меньше определенного значения a . Обозначая эту вероятность $P(x < a)$, получим:

$$P(x < a) = \int_{-\infty}^a f(x) dx.$$

ЛЕКЦИЯ 7: ПОДГОТОВКА И ПРАВИЛА ВЫПОЛНЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ

1. ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ И КРИТЕРИИ ВЫБОРА

Перед проведением эксперимента необходимо ответить на вопросы:

- **Для чего измерять?** С какой целью проводятся измерения, и в каком виде нужен результат (числовой, допусковый, в виде характеристики)?

- **Что измерять?** Какие характеристики (параметры) объекта являются информативными (основными) и насколько они стабильны?
- **Как и чем измерять?** Какие могут быть использованы методы и средства?
- **С какой точностью измерять?** Какая требуется точность, от чего зависят погрешности, как их можно исключить или уменьшить?
- **Какой ценой измерять?** Каковы общие затраты и можно ли их уменьшить за счет использования специальных методик и инструментальных средств?

Получение необходимой измерительной информации с минимальными материальными и временными затратами требует внимательного подхода к подготовке измерений физических величин.

Цель и задачи измерений необходимо обосновать в самом начале эксперимента, они в каждом конкретном случае индивидуальны. Даже для простой задачи измерения выходного напряжения генератора могут быть поставлено несколько целей:

- определить средний уровень сигнала;
- сравнить уровень с допустимыми границами;
- оценить максимальное или минимальное значение;
- определить нестабильность уровня и др.

Характер поставленной задачи существенно влияет на ход подготовки эксперимента и выбор всех его компонентов.

Модель объекта выбирается на основании тщательного анализа. При этом рассматриваются информативные, неинформативные и паразитные параметры объекта. Если, например, производится измерение напряжения переменного тока, то необходимо знать форму, спектр, частоту и диапазон возможных значений сигнала. На качество измерений будут влиять нелинейные искажения, помехи и наводки. Предварительные сведения об измеряемой величине могут быть известны при постановке задачи измерений. Так, измеряя напряжение питающей сети переменного тока, мы знаем, что напряжение должно иметь синусоидальную форму, частоту 50 Гц и значение примерно 220 В с допустимым отклонением до 10%. Реальное отклонение может превышать 20%, допустимые нелинейные искажения 5%, нестабильность частоты 2%. Все это важно при выборе методик и средств измерений.

Отклонение параметров сигнала от заранее установленной модели (в частности, отклонение напряжения сети от синусоидальной формы) может привести к неправильным результатам измерений. Если нет уверенности в адекватности модели, то следует уточнить ее, проведя ряд дополнительных измерений или выбрать СИ, показания которого не зависят от паразитных и неинформативных параметров объекта. При этом нужно учитывать, что модели одного и того же объекта измерений могут быть различными. Выбор той или иной модели диктуется задачами и условиями измерений. Так, измеряя сопротивление резистора, необходимо пользоваться

различными его моделями в зависимости диапазона частот тока, протекающего через данный резистор. На высоких частотах следует учитывать влияние собственных емкостей и индуктивностей, а на СВЧ — влияние поверхностного эффекта. Правильный выбор модели позволяет верно трактовать результаты измерений и обеспечивает при прочих условиях необходимую точность.

Выбор метода измерений определяется принятой моделью объекта и доступными СИ. При выборе метода измерений добиваются того, чтобы погрешность метода измерений, т.е. составляющая систематической погрешности измерений, обусловленная несовершенством принятой модели и метода измерений (иначе, теоретическая погрешность), не сказывалась заметно на результирующей погрешности измерения, т.е. не превышала 30% от нее. Различные методы измерений требуют разных затрат времени на выполнение наблюдений. Поэтому необходимо учитывать и временные зависимости измеряемых величин. Изменения измеряемых параметров модели в течение времени измерения (выполнения цикла наблюдений), как правило, не должны превышать 10 % от заданной погрешности измерения. Если возможны альтернативы, учитывают и экономические соображения: ненужное завышение точности модели и метода измерения приводят к необоснованным затратам. То же относится и к выбору СИ. Таким образом, выбор метода измерений и СИ практически происходит одновременно.

При выборе СИ необходимо учитывать, что рабочие СИ, предназначены для проведения технических измерений. По условиям применения они могут быть:

- *лабораторными*, используемыми при научных исследованиях, проектировании технических устройств, медицинских измерениях;
- *производственными*, используемыми для контроля характеристик технологических процессов, контроля качества готовой продукции;
- *полевыми*, используемыми непосредственно при эксплуатации самолетов, автомобилей, морских судов и т. п.

Выбор СИ определяется измеряемой величиной, принятым методом измерений и требуемой точностью результата измерений (нормами точности). Измерения с применением СИ недостаточной точности могут быть причиной неправильных выводов. Применение излишне точных СИ экономически невыгодно. Учитывают также диапазон изменений измеряемой величины, условия измерений, эксплуатационные качества СИ, их стоимость.

Основное внимание уделяют быстрдействию и погрешностям СИ. При этом добиваются выполнения условия:

$$\Delta_{\Sigma} = \Delta_{\text{МОД}} + \Delta_{\text{М}} + \Delta_{\text{СИ}} + \Delta_{\text{УСЛ}} + \Delta_{\text{О}} \leq \Delta_{\text{Д}},$$

где предельные погрешности: $\Delta_{\text{МОД}}$ — модели измерений; $\Delta_{\text{М}}$ — метода измерений; $\Delta_{\text{СИ}}$ — средства измерений, $\Delta_{\text{О}}$ — оператора; $\Delta_{\text{УСЛ}}$ — дополнительные погрешности, обусловленные воздействием влияющих факторов условий измерений; $\Delta_{\text{Д}}$ — предельно допускаемая погрешность результатов измерений.

Этот критерий выбора СИ достаточно надежен, но дает завышенную на 20—30 % оценку суммарной погрешности измерения Δ_{Σ} . Если такой запас по точности не допустим, суммирование составляющих Δ_{Σ} следует произвести статистически. Следует также иметь в виду, что даже в области нормальных условий измерений погрешность СИ может изменяться на 35 %.

Рассмотрим основные факторы, которые следует учитывать при выборе СИ:

А. Воздействие СИ на объект. Средство измерений, подключаемое к объекту измерения, может существенно исказить измеряемую величину, что приведет к неверному результату измерения. Так, включая амперметр в измеряемую цепь, мы уменьшаем ток в этой цепи за счет сопротивления самого амперметра или, измеряя температуру некоторого тела с помощью термопары, подключением термопары мы изменяем температурный режим этого тела. Для уменьшения этого влияния необходимо, чтобы мощность, выделяемая на объекте средством измерений, была относительно небольшой.

Ориентировочно относительную погрешность, вызванную потреблением мощности $P_{и}$ от измеряемого объекта, можно оценить формулой $P \ll P_{и}/P$, где P — мощность, выделяемая на объекте измерения. В тех случаях, когда средство измерений выделяет на объекте некоторую мощность (при измерении параметров электрических цепей), также следует оценить влияние средства на измеряемую величину. Например, при измерении малых сопротивлений двойными мостами постоянного тока через измеряемый объект протекает большой ток (5 А и более), что может вызвать нагрев объекта и изменение его сопротивления.

Б. Неполная адекватность принятой модели объекту измерений. Измерительные приборы следует по возможности выбирать такими, показания которых не зависят (или минимально зависят) от неинформативных параметров принятой модели измеряемой величины. В этом случае эксперимент может быть проведен меньшим числом приборов и с большей точностью.

Так, при необходимости измерить действующее значение переменного напряжения лучше выбрать, например, электронный вольтметр действующего значения, а не электронный вольтметр среднего значения, градуированный в действующих значениях. Последний при отличии формы кривой напряжения от синусоидальной дает неверные результаты измерений, для коррекции которых требуются дополнительные измерения для уточнения модели объекта.

С. Погрешности, вносимые средствами измерений. Составляющими погрешности измерений (часто основными) являются погрешности, вносимые используемыми СИ. Эти погрешности оцениваются по метрологическим характеристикам выбранных СИ. Не следует необоснованно применять СИ высокой точности, что приводит к усложнению и удорожанию эксперимента. Кроме того, при выборе СИ

следует учитывать влияние внешних факторов (температуры, электромагнитных и электростатических полей и др.).

Д. Пределы измерений. Для многих измерительных приборов погрешность измерения минимальна на верхнем пределе измерений. Руководствуясь этим, следует выбирать такие пределы измерения, при которых ожидаемые показания прибора будут находиться ближе к верхнему пределу. Например, измеряя напряжение 10 В двумя вольтметрами, имеющими одинаковые классы точности (1,0), но разные верхние пределы (15 и 150 В), получим относительные погрешности измерения, соответственно ± 1.5 и $\pm 15\%$.

Е. Частотный диапазон. Выбирая частотный диапазон СИ, необходимо обеспечить неискаженное прохождение сигналов измерительной информации. Для этого частотный диапазон СИ должен быть шире частотного спектра входных сигналов. С другой стороны, с увеличением частотного диапазона возрастают помехи. Поэтому не следует стремиться использовать СИ с необоснованно широким частотным диапазоном. При заметном влиянии помех наилучшими будут средства, которые при минимальном искажении сигналов измерительной информации максимально отфильтровывают помеху.

Рассмотренный перечень факторов, который необходимо учитывать при выборе СИ, не является исчерпывающим. Он может быть дополнен требованиями быстродействия исключения влияния внешних факторов, оптимального конструктивного исполнения, и т.д. При подготовке эксперимента необходимо учитывать влияние на результаты измерения характеристик средства измерений, указанных в соответствующих НТД.

Следует иметь в виду, что как бы тщательно ни был изготовлен и отрегулирован прибор к моменту выпуска его на приборостроительном заводе, с течением времени в элементах схемы и механизме неизбежно протекают разнообразные процессы старения, и погрешность его неуклонно возрастает. Поэтому нормирование гарантированных в паспорте СИ пределов допускаемой погрешности производится заводом изготовителем с 1,25 - 2,5 - кратным запасом на старение. Такое превышение пределов допускаемой погрешности над фактическим значением погрешности СИ в момент их выпуска из производства или из ремонта является по существу единственным практическим способом долговременной метрологической стабильности средств измерений.

2. ОПТИМАЛЬНЫЙ ВЫБОР ТОЧНОСТИ СИ

До сих пор, говоря об области разброса исходных экспериментальных данных, мы принимали во внимание лишь погрешности средства измерений и неадекватность принятой модели. Но кроме этих двух составляющих разброс данных вызывается еще и невозпроизводимостью от опыта к опыту, или диффузностью, самого исследуемого явления. Поэтому разброс исходных данных (обозначим его оценку $\Delta_{ИД}$) всегда складывается из трёх составляющих: Δ_0 - диффузности объекта измерений, Δ_m - погрешности

адекватности модели, $\Delta_{\text{СИ}}$ - погрешности средств измерений. Эти составляющие, как правило, можно считать некоррелированными, когда $\Delta_{\text{ид}} = \sqrt{\Delta_0^2 + \Delta_{\text{м}}^2 + \Delta_{\text{СИ}}^2}$. Для рационального выбора погрешности $\Delta_{\text{СИ}}$ важно её соотношение с суммарной погрешностью объекта и модели: $\Delta_{\text{ом}} = \sqrt{\Delta_0^2 + \Delta_{\text{м}}^2}$.

При этом возможно три случая.

1. Обычно экспериментатор стремится использовать как можно более точную аппаратуру с $\Delta_{\text{СИ}} \leq \Delta_0$. При этом результирующий разброс исходных данных будет: $\Delta_{\text{ид}} = \sqrt{\Delta_0^2 + \Delta_{\text{СИ}}^2} \approx \Delta_0$, т.е. будет определяться диффузностью объекта. Таким образом, при $\Delta_{\text{СИ}} \ll \Delta_0$ точность измерений не может быть заметно повышена использованием более точных СИ. Единственным путём повышения точности остаётся статистическая обработка многократных отсчётов, поэтому повышение эффективности эксперимента в этом случае может быть достигнуто путём снижения точности используемых СИ, так как они становятся более дешёвыми.

2. При $\Delta_{\text{СИ}} \approx \Delta_0$ погрешность исходных данных составляет:

$$\Delta_{\text{ид}} = \sqrt{\Delta_0^2 + \Delta_{\text{СИ}}^2} \approx 1.4\Delta_0$$

т.е. возрастает всего на 40 % по сравнению с тем, когда $\Delta_{\text{СИ}} \ll \Delta_0$.

3. При $\Delta_{\text{СИ}} \gg \Delta_0$ погрешность исходных данных полностью определяется погрешностью $\Delta_{\text{СИ}}$, так как при этом:

$$\Delta_{\text{ид}} = \sqrt{\Delta_0^2 + \Delta_{\text{СИ}}^2} \approx \Delta_{\text{СИ}}$$

Сопоставив между собой все три случая, можно заключить, что для обеспечения наибольшей эффективности эксперимента нет смысла уменьшать случайную погрешность аппаратуры больше, чем до $\Delta_0/3$. Кроме того, увеличивать объём выборки усреднённых наблюдений имеет смысл только до тех пор, пока величина суммарной случайной погрешности не будет сопоставима с погрешностью адекватности модели исследуемого явления или систематической составляющей погрешности СИ.

3. УМЕНЬШЕНИЕ СИСТЕМАТИЧЕСКИХ ПОГРЕШНОСТЕЙ

С целью уменьшения систематических погрешностей возможно применение термостатирования, экранирования, виброзащиты и т.д. На этапе планирования и подготовки эксперимента принципиальным является выбор метода и средства измерений. Систематические погрешности, как правило, не проявляются при выполнении наблюдений и вычислении результатов измерений, но способны существенно исказить эти результаты.

При разработке СИ и МВИ, т.е. еще до начала измерений систематические погрешности более или менее полно исключаются (например, введением аддитивных и мультипликативных поправок). Поэтому при выполнении наблюдений и оценке результатов измерений имеют дело с неисключенными остатками систематических погрешностей — НСП.

Систематическую погрешность в данном справочнике необходимо понимать именно как неисключенную систематическую погрешность (НСП).

Для обнаружения НСП рекомендуется: провести измерение другим, максимально отличным от использованного, методом и сравнить результаты; резко изменить условия наблюдений (использовать другие экземпляры СИ, сменить оператора, изменить время наблюдений, например, провести их в ночное время, когда выключено технологическое оборудование); провести контрольное измерение в лаборатории другого предприятия или в метрологическом учреждении, в которых имеются более точные СИ и МВИ; выполнить теоретическую (расчетную) оценку НСП с привлечением имеющихся априорных знаний об объекте измерений, более точных или других моделях объекта измерений, методе и СИ. Для уменьшения (исключения) НСП в ходе выполнения измерений применяются следующие методы (приемы):

1. Метод замещения. Его суть — замена измеряемой величины известной (мерой), притом так, чтобы при этом в состоянии и действии всех используемых СИ не происходило никаких изменений.

2. Метод противопоставления. Измерение выполняется с двумя наблюдениями, проводимыми так, чтобы причина НСП оказывала разные, но известные по закономерности воздействия на результаты наблюдений.

3. Метод компенсации погрешности по знаку — предусматривает измерение с двумя наблюдениями, выполняемыми так, чтобы НСП входила в результат каждого из них с разными знаками.

Примеры:

а) Измеряется ЭДС с помощью потенциометра постоянного тока, имеющего паразитную ТЭДС. Проведя два наблюдения при противоположном направлении рабочего тока в потенциометре и взяв среднее значение, получим результат, свободный от этой погрешности.

б) Для исключения НСП из-за вариации, гистерезиса, мертвого хода верньерных механизмов, измерения проводят при подходе к определяемому отсчету слева и справа. Результат измерения вычисляют по формуле:

$$X = (X_{\text{СЛЕВА}} + X_{\text{СПРАВА}}) / 2.$$

4. Метод рандомизации (перевода систематической погрешности в случайную) заключается в такой организации измерений, при которой фактор, вызывающий НСП, при каждом наблюдении действует по разному.

Примеры:

а) Для исключения влияния магнитного поля Земли наблюдения повторяют несколько раз, поворачивая ОИ каждый раз на некоторый угол (обычно одинаковый) относительно силовых линий поля. За результат измерения принимают среднее арифметическое из всех наблюдений.

б) В особых случаях для исключения субъективной систематической погрешности можно менять операторов после каждого наблюдения.

в) При определении положения главного максимума диаграммы направленности антенны, измерения методом вилки осуществляют на

нескольких уровнях и при дальнейших вычислениях используют среднее арифметическое значение.

5. Метод симметричных наблюдений применяется для устранения прогрессирующих систематических погрешностей, линейно меняющихся пропорционально времени. Используют следующее свойство любых двух наблюдений, симметричных относительно средней точки интервала наблюдений: среднее значение линейно прогрессирующей погрешности результатов любой пары симметричных наблюдений равно погрешности, соответствующей средней точке интервала. Ряд наблюдений выполняют через равные промежутки времени и вычисляют средние арифметические значения результатов симметрично расположенных наблюдений (симметрично относительно среднего по времени наблюдения). Как было сказано, они должны быть равны. Это дает возможность контролировать в ходе измерения, соблюдается ли условие линейности возрастания систематической погрешности.

Описанные методы (приемы) должны учитываться при разработке МВИ.

4. ТРЕБОВАНИЯ К МВИ

Методика выполнения измерений (МВИ) - это НТД, в котором установлена совокупность операций и правил, выполнение которых обеспечивает получение необходимых результатов измерений.

Общие требования к разработке, оформлению, аттестации, стандартизации МВИ и метрологическому надзору за ними регламентирует ГОСТ Р 8.563—96 «ГСИ. Методики выполнения измерений». Одним из основных исходных требований при разработке МВИ является требование к точности измерений.

В МВИ должны устанавливаться:

- назначение, нормы точности и область применения МВИ;
- метод (методы) измерений;
- требования к СИ и вспомогательным устройствам, необходимым для выполнения измерений;
- требования к безопасности, включая экологическую безопасность;
- требования к квалификации операторов;
- условия выполнения измерений;
- операции подготовки к выполнению измерений;
- экспериментальные операции, выполняемые для получения результатов наблюдений при измерении;
- способы обработки результатов наблюдений и оценки показателей точности измерений;
- требования к оформлению и представлению результатов измерений.

Как правило, типовые МВИ оформляются в виде стандартов (или методических указаний) разной категории (государственных, ведомственных, конкретных предприятий) или разделов стандартов на:

- технологические процессы,

- методы испытаний и контроля качества продукции,
- методы и средства поверки СИ,
- программы метрологической аттестации СИ.

Могут разрабатываться и конкретные (не типовые) МВИ. В необходимых случаях выполняется метрологическая аттестация МВИ.

Примечание: При выполнении научных исследований МВИ в виде специального документа обычно не составляется. Ответственность за правильность организации и выполнения измерений и за их результаты несет в этом случае руководитель эксперимента.

Разработку или выбор МВИ начинают с анализа объекта, условий и цели измерений и установления соответствующей модели объекта измерений. Под моделью (содержащей физические, математические, структурные, смысловые и другие аспекты) объекта измерений (ОИ) — понимают формализованное описание ОИ, основанное на совокупности уже имеющихся знаний об ОИ и достаточно однозначно и точно отражающее его свойства в рассматриваемых условиях и для поставленной цели. В качестве измеряемых величин следует выбирать такие параметры или характеристики модели ОИ, которые наиболее близко соответствуют цели измерения.

Неполная адекватность отражения моделью свойств объекта является источником принципиальных погрешностей модели, для оценки которых экспериментальными или расчетными способами необходимо использовать все имеющиеся возможности. Погрешностями модели можно пренебрегать, если они не превышают 10 % от допускаемой погрешности измерений.

5. ПОДГОТОВКА К ИЗМЕРЕНИЯМ И ОПРОБОВАНИЕ СИ

При подготовке к измерениям оператор должен:

1. Ознакомиться с МВИ и последовательностью выполнения операций; проверить наличие необходимого комплекта СИ, вспомогательных устройств и материалов.

2. Убедиться в том, что основные и вспомогательные СИ имеют действующие свидетельства о поверке (метрологической аттестации) или поверительные клейма, а вспомогательные устройства прошли регламентное обслуживание.

3. Выполнить операции по созданию необходимых условий измерений, включая требования безопасности, например, включить кондиционеры и по вспомогательным СИ убедиться в том, что в помещении (в зоне проведения измерений) установилась требуемая температура.

4. Подготовить ОИ (например, очистить) и создать необходимые (по НТД) условия измерений (испытаний) — установить в рабочее положение, включить питание, охлаждение, прогреть его необходимое время и т.п.

5. Опробовать СИ. Проверить действие органов управления; регулировки, настройки и коррекции. Если СИ снабжены средствами самокалибровки (тестирования), выполнить соответствующие операции (это в первую очередь относится к автоматизированным ИС и ИИС).

6. Провести 2—3 пробных наблюдения и сравнить результаты с

ожидаемыми. При непредвиденно большом расхождении результатов проанализировать причины и устранить их.

6. КОНТРОЛЬ УСЛОВИЙ ВЫПОЛНЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ

Для правильной организации измерений необходимо подобрать: комплект СИ для контроля условий измерений; комплект технических устройств, обеспечивающих указанные в методиках условия измерений (условия испытаний) объекта; комплект устройств и материалов, необходимых для подготовки объекта испытаний и выполнения вспомогательных операций при измерениях, а также регистрации и оформления результатов измерений.

Сохранение указанных в эксплуатационной документации (ЭД) на СИ метрологических характеристик гарантируется для нормальных условий измерений — для номинальных значений основных влияющих физических величин. В ЭД на СИ указывают пределы нормальной области значений влияющих величин, выходить за которые при выполнении измерений не рекомендуется из-за возникновения дополнительной погрешности СИ. СИ влияющих величин выбирают такими, чтобы их погрешность не превышала 30% от допустимых изменений влияющих величин. Например, если температура должна находиться в пределах $(293 \pm 5) \text{K}$, погрешность термометра не должна превышать $\pm 1,5 \text{K}$. Соблюдение условий измерений контролируется периодически и каждый раз, когда возникают сомнения в результате наблюдения (измерения). Особенно опасны неожиданные, кратковременные изменения влияющих величин (например, появление электромагнитных наводок). Они могут остаться незамеченными и исказить результаты. Обязателен также контроль выполнения требований безопасности и экологии по всем опасным и вредным факторам (физическим, химическим, биологическим, психофизиологическим).

7. ПРЕДСТАВЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Результаты, полученные в процессе измерений, подлежат обработке. Основные этапы:

- запись результатов, представление данных;
- учет и исключение, систематических погрешностей;
- оценка и представление случайных погрешностей.

При этом наиболее типичными являются случаи прямого однократного измерения, прямого многократного измерения, косвенного измерения.

ЗАПИСЬ РЕЗУЛЬТАТОВ

Записывается столько значащих цифр, сколько позволяет получить отсчетное устройство РИП. Значащие - все цифры от первой ненулевой в результате:

1.5; 0.15; 0.0015; $1.5 \cdot 10^{-12}$; 15 - две значащие цифры;

1.50; $15.0 \cdot 10^6$ - три значащие цифры;

1.500; 15.00; 0.01500; $150.0 \cdot 10^8$ - четыре значащие цифры.

Верными считают все знаки в числовом результате, достоверность которых не вызывает сомнения. Результат следует записывать так, чтобы

значащих цифр было на одну больше, чем верных знаков.

При окончательной записи результата измерения, когда учтены все погрешности, необходимо в записи указывать эту погрешность (абсолютную или относительную). Если она не указывается, то следует считать абсолютную погрешность данного числа равной ± 1 его последнего знака. Например: $C = (2.997925 \pm 0.000003) \cdot 10^8$ м/с, $C = 2998 \cdot 10^2$ км/с (округление с точностью до ± 1 последнего знака, т.е. до ± 100 км/с). Результаты измерений обычно записывают в виде таблиц. Графики строят по экспериментальным точкам так, чтобы он проходил плавно, изменяя направление возможного ближе ко всем точкам, а не просто соединяя их ломаной линией. При снятии функциональных зависимостей (ВАХ, АЧХ АХ,...) очень важно правильно выбрать экспериментальный шаг изменения аргумента функции.

ПРАВИЛА ОКРУГЛЕНИЯ И ЗАПИСИ РЕЗУЛЬТАТОВ

1. Числовое значение результата наблюдения округляют в соответствии с числовым разрядом значащей цифры погрешности измерений. Округление производится лишь в окончательном ответе, а все предварительные вычисления проводят с одним-двумя лишними знаками.

При округлении лишние цифры в целых числах заменяются нулями, в десятичных дробях — отбрасываются. Если десятичная дробь оканчивается нулями, они отбрасываются только до того разряда, который соответствует разряду погрешности. Пример: результат 1,072000, погрешность + 0,0001. Результат округляют до 1,0720.

Если первая (слева направо) из заменяемых нулями или отбрасываемых цифр меньше 5, остающиеся цифры не изменяются. Если первая из этих цифр равна 5, а за ней не следует никаких цифр, или идут нули, то, если последняя цифра в округляемом числе четная или нуль, она остается без изменения, если нечетная—увеличивается на единицу. Пример: 1234,50 округляют до 1234; 8765,50—до 8766.

Если первая из заменяемых нулями или отбрасываемых цифр больше 5 или равна 5, но за ней следует значащая цифра, то последняя остающаяся цифра увеличивается на единицу. Пример: 6783,6 округляют до 6784; 12,34501 до 12,35.

2. Погрешность, возникающая в результате вычислений, не должна превышать 10 % суммарной погрешности измерений. Поэтому, если над результатами измерений предстоит произвести некоторые математические операции, то при округлении результатов в соответствии с правилом 1, добавляют один разряд справа, т.е. в первом примере результат 1,072000 нужно округлить не до 1,0720, а до 1,07200.

3. При определении числа знаков при вычислении погрешностей измерений следует учитывать, что погрешность определения значения погрешности достаточно велика, порядка 30 % при $n = 10$ и порядка 15 % при $n=20—25$, поэтому, при $n < 10$ следует оставлять одну значащую цифру, если она больше 3-х и две, если первая из них меньше 4-х. При $n \geq 10$, достаточно надежно оставлять во всех случаях две значащие цифры.

ПРЕДСТАВЛЕНИЕ И ИНТЕРПРЕТАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ

Результат измерения должен содержать не только полученное значение измеряемой величины, но и обязательно характеристики его погрешности с указанием числа наблюдений и доверительной вероятности. Вместо характеристик погрешности измерений можно дать ссылку на стандартизованную МВИ, по которой выполнялись измерения.

Допускается представление результата измерений доверительным интервалом, покрывающим истинное значение измеряемой величины с определенной доверительной вероятностью. В этом случае характеристики погрешности отдельно не указываются.

Совместно с результатами измерений могут приводиться дополнительные данные и условия измерений, которые необходимы для практического их использования, например, моменты времени, к которым относятся результаты измерений, сведения о принятой модели ОИ.

Наименьшие разряды значений результатов измерений должны быть такими же, как наименьшие разряды значений абсолютной погрешности измерений или значений границ, в которых находится абсолютная погрешность измерений или ее статистические характеристики. Характеристики погрешности выражаются числом, содержащим не более двух значащих цифр, так как *погрешность определения погрешности*, в лучшем случае, превышает 10 %.

Наиболее распространены следующие формы представления результатов измерений. При симметричной погрешности результат измерения представляют в форме $\bar{A}; \pm\Delta; P$ или $\bar{A} \pm \Delta; P$. При несимметричной погрешности измерений — в форме $\bar{A}; \Delta(P)$ от $\Delta_{\text{н}}$ до $\Delta_{\text{в}}$; P , где $\Delta_{\text{н}}$ и $\Delta_{\text{в}}$ — значения нижней и верхней границы погрешности измерения.

ЛЕКЦИЯ 8: ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТА

1. УЧЕТ И ИСКЛЮЧЕНИЕ СИСТЕМАТИЧЕСКИХ ПОГРЕШНОСТЕЙ

В процессе эксперимента для исключения или уменьшения систематических погрешностей могут использоваться специальные способы и приемы:

- периодическая калибровка и установка нуля;
- увеличение базы измерений;
- усреднение по результатам двух измерений снизу вверх и сверху вниз;
- рандомизация (перевод систематической погрешности в случайную, например, за счет применения нескольких однотипных приборов с разной погрешностью градуировки шкалы и установки нуля);
- введение известных заранее поправок, которые могут прилагаться к паспорту прибора в виде таблиц, графиков, формул.

Неисключенный остаток систематической погрешности (граница НСП) может оцениваться следующим образом. Если составляющих $m \leq 4$, то

единица НСП определяется по максимуму

$$\Delta Y_{\max} = \pm \sum_{i=1}^m \Delta Y_{i\max}.$$

Если $m > 4$ считают, что *неслучайные величины в пределах установленных границ могут находиться с равной вероятностью*. Тогда с вероятностью 0.95:

$$\Delta Y_{\max} = \pm 2\sigma = \pm 2\sqrt{\sum_{i=1}^m \Delta Y_{i\max}^2 / 3} \approx \pm 1,1\sqrt{\sum_{i=1}^m \Delta Y_{i\max}^2}.$$

Дополнительные рекомендации при оценке НСП:

1. Если случайные погрешности пренебрежимо малы, то границами НСП полагают пределы (паспортные) допускаемых основных и дополнительных погрешностей средств измерений.

2. При отсутствии априорной информации о составляющих НСП принимают модели равномерных законов распределения.

3. Погрешность шкалы измерительного прибора принимают равной ± 0.5 деления. Для цифровых приборов погрешность шкалы равна ± 1 счета.

2. ОЦЕНКА И ПРЕДСТАВЛЕНИЕ СЛУЧАЙНЫХ ПОГРЕШНОСТЕЙ

ПРЯМОЕ ОДНОКРАТНОЕ ИЗМЕРЕНИЕ

Результатом прямого однократного измерения физической величины $Y_{\text{ИЗМ}} = A$ является показание, снятое непосредственно с используемого средства измерения.

Погрешность результата измерения включает погрешность СИ, погрешность использованного метода измерения и субъективную погрешность оператора. Каждая из этих составляющих может иметь неисключенные систематические погрешности и случайные.

Оценивание погрешностей прямых однократных измерений можно подразделить на *точное* и *приближенное*,

Рассмотрим методику точной оценки. Пусть число неисключенных систематических погрешностей равно m и каждая задана границами $\pm\theta_i$, или доверительными границами $\pm\theta_i(P_j)$, т.е. границами с известной доверительной вероятностью $P_j = P_{\text{Д}}$. В этом случае *доверительная граница систематической составляющей результата измерения* $\theta = \theta(P_{\text{Д}})$ оценивается с задаваемой доверительной вероятностью $P_{\text{Д}}$ по одной из следующих формул:

$$\theta = k \sqrt{\sum_{i=1}^m \theta_i^2}; \quad \theta = k \sqrt{\sum_{i=1}^m \frac{\theta_i^2(P_j)}{k_j^2}},$$

где k — коэффициент, зависящий от $P_{\text{Д}}$ и m , а k_j — коэффициент, зависящий от P_j и оцениваемый аналогично коэффициенту k .

Оценка *доверительной границы случайной погрешности результата измерения* $\varepsilon = \varepsilon(P_{\text{Д}})$ с задаваемой доверительной вероятностью $P = P_{\text{Д}}$

выполняется в порядке, зависящем от вида представления случайных составляющих (погрешностей СИ, метода, оператора).

Погрешность результата прямого однократного измерения $\Delta = \Delta(P_d)$ для известного значения оценки СКО $S(\tilde{A})$ оценивается по одной из формул:

Значения $\theta/S(\tilde{A})$	Погрешности результата измерения Δ
$\theta/S(\tilde{A}) < 0,8$	$\Delta = \varepsilon(P_d)$
$\theta/S(\tilde{A}) > 8$	$\Delta = \theta(P_d)$
$0,8 \leq \theta/S(\tilde{A}) \leq 8$	$\Delta = K[\varepsilon(P_d) + \theta(P_d)]$

Значения коэффициента K при величинах доверительной вероятности $P_d = 0,95$ или $P_d = 0,99$ определяются из таблицы.

$\theta/S(\tilde{A})$	0,8	1	2	3	4	5	6	7	8
K при $P_d = 0,95$	0,76	0,74	0,71	0,73	0,76	0,78	0,79	0,80	0,81
K при $P_d = 0,99$	0,84	0,82	0,80	0,81	0,82	0,83	0,83	0,84	0,85

Результат прямого однократного измерения величины записывается в форме $Y_{\text{изм}} = \tilde{A} \pm \Delta(P_d)$, где \tilde{A} — результат измерения; P_d — доверительная вероятность погрешности результата прямого измерения Δ . Рекомендуется выбирать вероятность $P_d = 0,95$.

Рассмотрим особенности *приближенной оценки* погрешностей результата прямого однократного измерения. При такой оценке, как и при точной, необходимо перед началом измерений провести предварительную оценку составляющих погрешности результата и собственно погрешности измерения. Эта информация извлекается из опыта проведения подобных измерений, из нормативно-технической документации на используемые средства измерений, из научно-технических отчетов и других источников. Если оценка погрешности превышает допустимую, то следует выбрать более точное средство измерений или изменить методику измерения.

Допускается пренебрежение случайными погрешностями, если доказано, что граница θ неисключенных систематических погрешностей результата измерения больше СКО $S(\tilde{A})$ случайных погрешностей в восемь раз и более.

В простейшем случае погрешность результата измерения равна пределу основной погрешности средства измерения $\Delta_{\text{СИ}}$, определяемой по нормативно-технической документации, если измерения проводились в нормальных условиях. При этом результат измерения можно записать в виде $Y_{\text{изм}} = \tilde{A} \pm \Delta_{\text{СИ}}$, т.е. без указания доверительной вероятности, которая подразумевается равной 0,95. Если же измерения проводились в условиях, отличающихся от нормальных, то следует определять и учитывать пределы дополнительных погрешностей, а затем суммировать их с основными. Порядок такого суммирования приведен в нормативных метрологических документах.

ПРЯМОЕ МНОГОКРАТНОЕ ИЗМЕРЕНИЕ

Необходимость многократных наблюдений некоторой физической величины возникает при наличии в процессе измерений значительных случайных погрешностей. В этом случае задача состоит в том, чтобы по результатам наблюдений найти оценку истинного значения и интервал, в котором находится сама величина с заданной вероятностью. Решение задачи выполняется способом статистической обработки результатов наблюдений, основанным на гипотезе о распределении случайных погрешностей этих результатов по известному закону.

Многократные измерения позволяют уменьшить (отфильтровать) случайную погрешность. Для исключения погрешности необходимо бесконечное количество измерений. При ограниченном числе измерений находится лишь оценка случайной погрешности. Оценки - это случайные величины (в отличие от моментов) и должны удовлетворять условиям: состоятельности, несмещенности, эффективности.

Наиболее распространенной оценкой случайной погрешности является оценка среднеквадратического отклонения

$$\sigma^* = \sqrt{D^*} = \sqrt{\sum_{i=1}^N (Y_{ЭКСПi} - Y_{CP})^2 / (N-1)}$$

где среднее арифметическое результатов наблюдений:

$$Y_{CP} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N Y_{ЭКСПi}$$

Среднеквадратическая погрешность (оценка) среднего арифметического результатов измерений:

$$\sigma^*_{Y_{CP}} = \sigma^* / \sqrt{N} = \sqrt{[\sum_{i=1}^N (Y_{ЭКСПi} - Y_{CP})^2] / [N(N-1)]}$$

То есть, увеличивая N , случайную погрешность можно сделать пренебрежимо малой по сравнению с систематической. Такой прием называют фильтрацией случайной составляющей погрешности.

Дополнительно характеризуют случайную погрешность: доверительная вероятность (коэффициент надежности) и доверительный интервал (интервальная оценка). Доверительная вероятность α означает вероятность того, что результат измерений (действительное значение) отличается от истинного не более чем на Δ :

$$P(Y_{CP} - \Delta < Y_0 < Y_{CP} + \Delta) = \alpha, \text{ где } Y_{CP} - \Delta \dots Y_{CP} + \Delta \text{ — доверительный интервал.}$$

Для нормального закона распределения, выбрав $\alpha=0.95$, получим доверительный интервал в пределах $\pm 2\sigma^* Y_{CP}$. Погрешность $\Delta^{0.9}$ обладает тем уникальным свойством, что для широкого класса наиболее употребляемых законов распределения только она имеет однозначное соотношение со средним квадратическим отклонением в виде $\Delta^{0.9} = 1.6\sigma$. Поэтому при отсутствии данных в виде закона распределения для определения доверительной вероятности предписывается использовать $P_d = 0.9$.

Доверительная вероятность $P_d = 0.99$ используется лишь при указании погрешности первичных и рабочих эталонов.

Доверительный интервал $3\sigma^*$ используется для определения грубых погрешностей (промахов). Например, при $N > 30$ всегда отбрасываются результаты, отличающиеся более чем на $3\sigma^*$, так как вероятность их появления 0.003. Это правило ТРЕХ СИГМ.

Оценка результата измерения

Предположим, что при выполнении n многократных наблюдений одной и той же величины $x_{и}$ постоянная систематическая погрешность Δ_c полностью исключена (равна нулю). Тогда результат i -го наблюдения $x_i = x_{и} + \Delta_i$, находится с некоторой абсолютной случайной погрешностью $\Delta_i = x_i - x_{и}$.

При нормальном законе распределения погрешности, за истинную величину $x_{и} = A$ принимают ее оптимальную оценку в виде среднего арифметического значения (оценки математического ожидания) выполненного ряда наблюдений:

$$\tilde{x} = \tilde{A} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n} = \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{n}.$$

Зная оценку истинного значения величины $x_{и}$, вычисляют абсолютную погрешность каждого из n наблюдений $\bar{\Delta}_i = x_i - \tilde{x}$. Далее находят оценку СКО, характеризующую точность метода измерений:

$$\tilde{\sigma} \approx \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n \bar{\Delta}_i^2}.$$

Затем вычисляют оценку СКО значения $\tilde{x} = \tilde{A}$, которая называется среднеквадратическим отклонением результата измерения. Данное СКО характеризует степень разброса значений по отношению к истинному значению и для различных n определяется по формуле

$$\tilde{\sigma}_{cp} = S(\tilde{A}) = \frac{\tilde{\sigma}}{\sqrt{n}}.$$

Из приведенных выражений и следует, что точность метода и результата многократных наблюдений n увеличиваются с ростом числа последних. Если погрешность $\Delta_i = \Delta_i + \Delta_c$ есть сумма случайной Δ_i и постоянной систематической Δ_c погрешностей, то оценка результата измерений будет иметь вид:

$$\tilde{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n} = x_{и} + \Delta_c + \sum_{i=1}^n \frac{\Delta_i}{n}.$$

Из этого выражения следует, что многократные наблюдения и увеличение их числа n не влияют на систематическую составляющую погрешности результата измерений, но уменьшают случайную (за счет

различных знаков отдельных реализации). Поэтому в случае, когда в результате многократных наблюдений преобладает систематическая погрешность (например, при использовании прибора низкой точности), целесообразно ограничиться только одним измерением.

Доверительные границы случайной погрешности

Оценка измеряемой величины является случайной величиной и, следовательно, отличается от нее на некоторую погрешность. В связи с этим практический интерес представляет определение вероятности P_d того, что измеряемая величина $x_{и} = A$ находится в заранее заданном доверительном интервале $2\Delta_r$, причем $\pm\Delta_r$ — доверительные границы случайной погрешности результата измерения, а P_d — доверительная вероятность. Аналитически доверительная вероятность записывается в следующем виде:

$$P(\tilde{A} - \Delta_r \leq A \leq \tilde{A} + \Delta_r) = P_d.$$

Зная закон $\rho(\Delta)$ плотности вероятности случайной погрешности, можно по заданному P_d найти доверительный интервал (и наоборот). При поиске доверительного интервала вероятность задают равной 0,90...0,99. Если число наблюдений n велико, то для расчета доверительной границы можно использовать выражение $\Delta_r = k\sigma$, где k — коэффициент, зависящий от закона и объема выборки.

Границы НСП

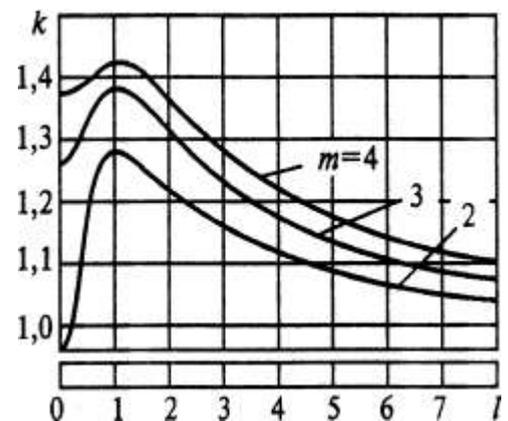
Всегда остаются *неисключенные систематические погрешности* (НСП), определяемые с некоторой погрешностью. Обычно НСП при повторных измерениях с применением других приборов (аналогичного типа) изменяются, но остаются в заданных границах. Поэтому подобные НСП принято рассматривать как случайные с равномерным симметричным законом распределения плотности вероятности и определять каждую границами $\pm\theta_i$. Причем в качестве границы θ_i принимают, например, пределы допускаемых основных и дополнительных погрешностей используемых средств измерений.

Общую границу $\theta = \theta(P_d)$ нескольких НСП вычисляют по формуле

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

где m — число неисключенных систематических погрешностей измерений, k — коэффициент, зависящий от m , принятой доверительной вероятности P_d и соотношения между составляющими θ_i . Данная вероятность P_d должна быть равна той, которая была принята при расчете доверительной границы случайной погрешности результата измерения. На практике чаще всего задают доверительную вероятность $P_d = 0,95$ и реже $P_d = 0,9$.

Выбор коэффициента k может выполняться в соответствии с m и



графиками, где $l = \theta_1/\theta_2$ — отношение границ; θ_1 — максимальная граница; θ_2 — граница, ближайшая к θ_1 .

P_d	m	k
0,95	—	1,1
0,99	> 4	1,4
	≤ 4	по графику $k(l) _m$ на рис. 2.9

Границы погрешности результата измерения. В общем случае на погрешность результата измерения с многократными наблюдениями влияют случайные погрешности и НСП. Методика оценки:

1. Пусть θ — граница НСП, $S(\tilde{A})$ — оценка СКО результата измерения, а $\varepsilon = t(P_d, n)S(\tilde{A})$ — доверительная граница случайной погрешности результата измерения. Причем оценки θ и ε выполнены при одинаковой доверительной вероятности.

2. Если $\theta < 0,8S(\tilde{A})$, то НСП пренебрегают, считая их несущественными по сравнению со случайными погрешностями, и полагают, что граница погрешности результата измерения $\Delta = \varepsilon = t(P_d, n)S(\tilde{A})$.

3. При $\theta > 8S(\tilde{A})$, пренебрегают случайной погрешностью по сравнению с НСП и полагают, что граница погрешности результата измерения $\Delta = \theta$.

4. В случаях, когда $0,8S(\tilde{A}) < \theta < 8S(\tilde{A})$, границу погрешности результата измерения вычисляют по формуле $\Delta = |\theta| + \varepsilon$, где θ — общая граница НСП, $\varepsilon = t(P_d, n)S(\tilde{A})$ — доверительная граница случайной погрешности.

КРАТКАЯ МЕТОДИКА ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ МНОГОКРАТНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Предполагается, что наблюдения выполняются одним экспериментатором в одинаковых условиях, одним и тем же прибором.

1. Проводят N единичных измерений $Y'_1 \dots Y'_N$.

2. Исключают известные систематические погрешности из результатов и получают исправленные значения $Y_1 \dots Y_N$.

3. Находят среднеарифметическое и принимают его за результат измерений (Y_{cp}).

4. Вычисляют оценку среднеквадратического отклонения результатов:

а) определяют σ^* (точность метода при единичном измерении);

б) находят относительное значение среднеквадратической погрешности

$\sigma_{отн}^* = \sigma^* / Y_{cp}$ (точность метода при единичном измерении).

5. Вычисляют оценку среднеквадратического отклонения результатов измерений $\sigma_{ср\ отн}^* = \sigma_{отн}^* / \sqrt{N}$ (это погрешность результата после обработки многократных измерений).

6. Проверяют гипотезу о том, что распределение результатов наблюдений нормальное (например, построением гистограммы).

7. Вычисляют доверительные границы случайной погрешности:

- а) задаются доверительной вероятностью, учитывая объем выборки N ;
- б) вычисляют доверительные границы для данного закона распределения.

3. ПРАВИЛА СУММИРОВАНИЯ ПОГРЕШНОСТЕЙ

Погрешности сложных измерительных приборов зависят от погрешностей отдельных узлов (блоков), также как и погрешности ряда систем и комплексов зависят от погрешности отдельных РИП, преобразователей, мер.

1. Систематические погрешности, если они известны или достаточно точно определены, суммируют алгебраически (т.е. с учетом собственных знаков).

Когда виды погрешностей не определены, их учитывают как случайные (рандомизируют).

2. Случайные погрешности (среднеквадратические оценки) суммируют с учетом их взаимных корреляционных связей. Например, для двух погрешностей:

$\sigma_{\Sigma} = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + 2\sigma_1\sigma_2\rho}$, где $\rho \in (-1; +1)$ - коэффициент корреляции. На практике обычно принимают $\rho = 0; -1; +1$. При $\rho = 0$ суммирование геометрическое. При $\rho = \pm 1$ суммирование алгебраическое: $\sigma_{\Sigma} = \sigma_1 \pm \sigma_2$.

Некоррелированные погрешности (вызванные независимыми причинами) всегда суммируются геометрически:

$$\sigma_{\Sigma} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \sigma_i^2}$$

Чем больше n , тем ближе итоговое распределение к нормальному.

При оценке влияния частных погрешностей на результат используют критерий ничтожной погрешности, в соответствии с которой, если вклад от составляющей i -й погрешности приводит к изменению суммарной не более, чем на 5%, то погрешность признается ничтожной.

Принимая во внимание, что $\delta_{\Sigma}^2 = (\delta_{\Sigma k})^2 + \delta_i^2$, критерий ничтожности имеет вид: $\delta_i \leq 0.3\delta_{\Sigma}$. Иногда рассматривают совокупность ничтожных погрешностей:

$$\sqrt{\delta_1^2 + \delta_2^2 + \dots} \leq 0.3\delta$$

При округлении окончательного результата могут быть опущены: одна малая составляющая, если она в 5 раз меньше наибольшей из суммируемых составляющих, две составляющие, если они в 7 раз меньше, и четыре, если они в 8 раз меньше наибольшей. Но делать такое заключение можно только после суммирования коррелированных составляющих и приведенных числовых значений погрешности к одному виду.

4. ПОГРЕШНОСТИ КОСВЕННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Особенность косвенных измерений состоит в том, что величина A ,

значение которой надо измерить, является известной функцией f ряда других величин — аргументов x_1, x_2, \dots, x_m . Данные аргументы подвергаются прямым измерениям, а величина A вычисляется по формуле

$$A = f(x_1, x_2, \dots, x_m).$$

Таким образом, при косвенных измерениях искомое значение находится на основании известной функциональной зависимости по результатам прямых измерений. Определение погрешности базируется на двух теоремах:

Теорема 1:

Если функциональная зависимость линейная:

$$Y = C_0 + C_1 X_1 + C_2 X_2 + \dots + C_g X_g,$$

где C_0, C_1, \dots, C_g - постоянные коэффициенты; X_1, X_2, \dots, X_g - измеряемые прямым путём аргументы; тогда абсолютные систематические погрешности суммируются с теми же коэффициентами: $\Delta Y_{\text{сист}\Sigma} = C_1 \Delta X_1 + C_2 \Delta X_2 + \dots + C_g \Delta X_g$, а среднеквадратическая погрешность находится по формуле:

$$\sigma = \sqrt{C_1^2 \sigma_1^2 + C_2^2 \sigma_2^2 + \dots + C_g^2 \sigma_g^2},$$

где ΔX_i - абсолютные систематические погрешности измерения X_i ;

σ_i - среднеквадратические погрешности измерения X_i .

Теорема 2:

Если функциональная зависимость представляет собой нелинейную дифференцируемую функцию $Y = f(X_1, X_2, \dots, X_g)$, тогда абсолютные систематическая и случайная погрешности определяются по формулам:

$$\Delta Y_{\text{сист}} \approx \frac{dY}{dX_1} \Delta X_1 + \frac{dY}{dX_2} \Delta X_2 + \dots + \frac{dY}{dX_g} \Delta X_g = \sum_{i=1}^g \frac{dY}{dX_i} \Delta X_i$$

$$\sigma = \sqrt{\left(\frac{dY}{dX_1}\right)^2 \sigma_1^2 + \left(\frac{dY}{dX_2}\right)^2 \sigma_2^2 + \dots + \left(\frac{dY}{dX_g}\right)^2 \sigma_g^2} = \sqrt{\sum_{i=1}^g \left(\frac{dY}{dX_i}\right)^2 \sigma_i^2}$$

Если погрешности коррелированы, тогда:

$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^g \left(\frac{dY}{dX_i} \sigma_i\right)^2 + 2 \sum_{i \neq j} \left(\frac{dY}{dX_i}\right) \left(\frac{dY}{dX_j}\right) K_{ij}}$$

где K_{ij} - корреляционный момент: $K_{ij} = \rho_{ij} \sigma_i \sigma_j$.

Величину ρ - выбирают равной 1 при наличии корреляции или 0, если её нет.

Необходимо отметить, что при косвенных измерениях ошибки вычислений должны быть на порядок меньше погрешностей непосредственных измерений аргументов, в противном случае надо учитывать погрешности вычислений как независимые составляющие.

Доверительные границы случайной погрешности и неисключенных систематических погрешностей. При косвенных измерениях, как и при многократных наблюдениях прямых измерений, оценка результата измерения является случайной величиной и отличается от

истинного значения. Поэтому практический интерес имеет оценка доверительного интервала $(\tilde{A} - \Delta_r, \tilde{A} + \Delta_r)$, в котором находится $A_{И}$ с заданной доверительной вероятностью P_d , где $\pm \Delta_r$ — доверительные границы случайной погрешности результата косвенного измерения.

При условии распределения плотности вероятности погрешностей результатов измерения всех аргументов функции $A = f(x_1, x_2, \dots, x_m)$ по нормальному закону граница Δ_r вычисляется по формуле:

$$\Delta_r = \varepsilon = t(P_d, n)S(\tilde{A}),$$

где $t(P_d, n)$ - коэффициент Стьюдента, соответствующий доверительной вероятности P_d ; $S(\tilde{A})$ — оценка среднеквадратического отклонения случайной погрешности косвенного измерения.

Граница θ неисключенных систематических погрешностей результата косвенного измерения вычисляется без учета знака по формуле

$$\theta = k \sqrt{\sum_{i=1}^m \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \right)^2 \theta_i^2},$$

здесь θ_i — заданные границы результатов измерений неисключенных систематических погрешностей аргументов; k — поправочный коэффициент, значения которого вычисляются с учетом задаваемой доверительной вероятности P_d для оценки значения θ , а также числа m составляющих θ_i .

Границы погрешности результата косвенного измерения. Суммарные границы $\pm \Delta$ погрешности результата косвенного измерения вычисляются с учетом границы НСП θ и доверительной границы ε случайной погрешности в зависимости от отношения $\theta/S(\tilde{A})$, где $S(\tilde{A})$ — оценка среднеквадратического отклонения случайной погрешности косвенного измерения. Порядок такого учета аналогичен соответствующему учету для однократных прямых измерений, где коэффициент K зависит от задаваемой доверительной вероятности ($P_d = 0,95$ или $P_d = 0,99$) и отношения $\theta/S(\tilde{A})$.

Зависимости коэффициента K при косвенных измерениях

$\theta/S(\tilde{A})$	0,5	0,75	1	2	3	4	5	6	7	8
K для $P_d = 0,95$	0,81	0,77	0,74	0,71	0,73	0,76	0,78	0,79	0,81	0,81
K для $P_d = 0,99$	0,87	0,85	0,82	0,80	0,81	0,82	0,83	0,83	0,84	0,85

Результат косвенного измерения и его погрешность должны представляться в виде формулы

$$x_{И} = \tilde{A} \pm \Delta(P_d).$$

В заключение отметим, что при однократных измерениях аргументов процедура определения результата косвенно измеряемой величины сохраняется такой же, как и при многократных измерениях.

ЛЕКЦИЯ 9: ЭТАЛОНЫ И МЕРЫ

Воспроизведение *основной единицы* осуществляется путем создания фиксированной по размеру физической величины *в соответствии с определением* единицы. Оно воспроизводится с помощью государственных первичных эталонов. Например, единица массы 1 кг воспроизведена точно в виде платиноиридиевой гири, хранимой в Международном бюро весов в качестве международного эталона.

Воспроизведение *производной единицы* сводится к определению значения физической величины в указанных единицах *на основании измерений других величин*, связанных функционально с измеряемой величиной.

Существуют эталоны для воспроизведения как основных единиц системы, так и ряда производных единиц, например, эталон единицы давления, эталоны единиц электрических величин: ЭДС, сопротивления, емкости, индуктивности и др. Создание эталонов производных единиц позволяет повысить точность, с которой передаются размеры этих единиц нижестоящим ОСИ. При создании эталонов производных единиц обеспечивается их связь с эталонами основных единиц.

Повышение точности воспроизведения единиц физических величин, как правило, связано с усложнением применяемых для этой цели устройств. Единица физической величины воспроизводится путем сложных операций с помощью эталонной установки в соответствии со строго определенной спецификацией. В принципе такие эталонные установки и применяемые чистые вещества могут быть воспроизведены в любом месте с одним только условием, чтобы они удовлетворяли требованиям, предусмотренным спецификацией. Однако известно, что результаты измерений, произведенных в различных местах с максимальной тщательностью, все же имеют некоторые расхождения. Это подтверждает и практика международных сличений национальных эталонов различных стран, эталонные работы в которых проводятся на высшем научном уровне.

Международные эталоны единиц физических величин хранятся в Международном бюро мер и весов (МБМВ). Однако вещественные эталоны могут портиться или изменяться во времени.

Хранение эталонов представляет собой сложнейший комплекс метрологических работ. С одной стороны, необходимо обеспечить максимальную сохранность эталона, с другой — значение единицы от эталона должно передаваться для использования в различных областях человеческой деятельности с необходимой точностью.

Государственные эталоны хранятся в метрологических институтах страны, которые являются центрами или главными центрами государственных эталонов. Для проведения работ с государственными эталонами назначаются особые ответственные лица — ученые хранители эталонов.

Воспроизведение основных единиц Международной системы единиц

(СИ) осуществляется с помощью государственных эталонов, т.е. в централизованном порядке. Воспроизведение дополнительных, производных, а в случае необходимости и внесистемных единиц осуществляется одним из двух способов, определяемых, исходя из соображений технико-экономической целесообразности:

- 1) централизованно—с помощью единого Государственного эталона;
- 2) децентрализованно — посредством косвенных измерений, выполняемых в органах метрологической службы с помощью ОСИ.

Способ централизованного воспроизведения применяется для большинства важнейших производных единиц СИ (ньютон, джоуль, Паскаль, ома, вольт, генри, Вебера и др.).

Способ децентрализованного воспроизведения применяется к производным единицам, размер которых не может передаваться прямым сравнением с эталоном, или когда поверки мер посредством косвенных измерений проще, чем их сравнение с эталоном, или когда обеспечивается необходимая точность. Когда для воспроизведения единицы требуется наличие специально предназначенного оборудования, создаются поверочные установки высшей точности.

Эталон единицы длины

В 1889 году метр был принят равным расстоянию между двумя штрихами, нанесенными на металлическом стержне X-образного поперечного сечения. Международный и национальные эталоны метра были изготовлены из сплава платины и иридия, отличающегося значительной твердостью и большим сопротивлением окислению. Погрешности сличения между собой платиноиридиевых штриховых метров находятся в пределах $\pm 1.1 \cdot 10^{-7}$ м ($\pm 0,11$ мкм), а так как штрихи имеют значительную ширину, существенно повысить точность этого сличения нельзя.

В 1895 г. Генеральная конференция по мерам и весам признала, что естественным свидетелем размера метра является длина световой волны монохроматического света. После изучения спектральных линий ряда элементов было найдено, что наибольшую точность воспроизведения единицы длины обеспечивает оранжевая линия изотопа криптона-86. XI Генеральная конференция по мерам и весам (1960 г.) приняла выражение размера метра в длинах этих волн как наиболее точное его значение.

На основе этого решения утверждено следующее определение: «Метр—длина, равная 1650763,73 длины волны в вакууме излучения, соответствующего переходу между уровнями $2p_{10}$ и $5d_{15}$ атома криптона-86».

Метр в длинах световых волн воспроизводится интерференционным методом на специальной установке с помощью лампы, заполненной изотопом криптона-86. С целью получения необходимых условий для излучения криптон охлаждают жидким азотом до 58—60 К. Возбуждение атомов криптона производят путем пропускания через него электрического тока.

Осуществление этого нового метода воспроизведения метра дало

возможность снизить погрешность воспроизведения метра примерно до 10^{-8} м, что позволяет выразить результат измерений (в самом благоприятном случае) уже числом из восьми цифр. Кроме повышения точности измерения (там, где это необходимо), первичный эталон единицы длины дает возможность следить за постоянством платиноиридиевого эталона, ставшего теперь вторичным эталоном.

Новейшие достижения в измерении частот и длин волн привели к совпадающим определениям скорости света, точность которых ограничивается в основном воспроизведением метра согласно его существующему определению. Значения длин волн, полученные через измерение частоты и заданную скорость света, обладают большей точностью, чем та, которая может быть достигнута сличением с длиной волны эталонного измерения криптона-86.

Исходя из этих соображений на XVII Генеральной конференции мер и весов в 1983 г. было принято новое определение метра. Метр — это длина пути проходимого в вакууме светом за $1/299792458$ долю секунды. Внедрение в практику нового определения метра позволит создать у нас в стране единый комплекс государственных эталонов времени, частоты и длины, который откроет возможности значительного повышения точности линейно-угловых измерений, дальнейшего развития астрономии, геодезии и других областей науки.

Эталон единицы массы

Первоначально было намечено за единицу массы принять массу одного кубического дециметра воды при температуре 4° С (при наибольшей плотности воды). Однако большие трудности воспроизведения единицы массы указанным путем привели к закреплению результата измерений в форме гири из сплава платины и иридия. Созданный одновременно с платиноиридиевым прототипом метра, прототип килограмма с аналогичными ему копиями до настоящего времени является носителем и воплощением единицы массы—килограмма.

В состав государственного эталона килограмма входят:

1. Копия международного прототипа килограмма — платиноиридиевый эталон, носящий знак №12 и представляющий собой гирю в виде прямого цилиндра с закругленными ребрами диаметром и высотой 39 мм.

2. Равноплечие призмные весы № 1 на 1 кг с дистанционным управлением, изготовленные фирмой Рупрехт, служащие для передачи размера единицы массы вторичным эталонам.

3. Равноплечие призмные весы № 2 на 1 кг с дистанционным управлением, изготовленные «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева», служащие также для передачи размера единицы массы вторичным эталонам. Платиноиридиевый эталон килограмма № 12 был изготовлен в 1883 г. из металла той же плавки, что и международный прототип килограмма. Он хранится на кварцевой подставке под двумя стеклянными колпаками в

стальном шкафу, помещенном в хранилище эталонов. Эталон хранится при атмосферном давлении, температуре $(20 \pm 3)^\circ\text{C}$ и относительной влажности воздуха 65%.

Чтобы предохранить износ эталона, с ним сличают только два эталона-копии один раз в десять лет. Размер единиц от первичного эталона к рабочим передается с помощью эталонов-копий.

Погрешность воспроизведения единицы массы эталоном килограмма $2 \cdot 10^{-9}$. Таким образом, эталон килограмма позволяет записывать результат измерения массы в лучшем случае числом из девяти цифр.

Эталон единицы времени

Ранее единицу времени определяли, исходя из солнечных суток. Так как продолжительность солнечных суток в течение года изменяется, то определили средние солнечные сутки. За единицу времени принимали секунду, равную $1/86400$ средних солнечных суток. Позднее обнаружили, что это вращение Земли происходит неравномерно. Тогда в основу определения единицы времени положили период вращения Земли вокруг Солнца — тропический год. Размер секунды был определен как $1/31556925,9747$ часть тропического года. Но поскольку тропический год тоже изменяется (на 5 с за 1000 лет), за основу был взят тропический год, отнесенный к определенному моменту времени: 12 ч 31 декабря 1899 г. Это определение секунды было зафиксировано в Международной системе единиц в 1960 г.

В 1967 г. XIII Генеральная конференция по мерам и весам приняла новое определение секунды, основанное на физическом явлении, которое позволяет более точно и более стабильно воспроизводить ее размер. «Секунда — $9\,192\,631\,770$ периодов излучения, соответствующего переходу между двумя сверхтонкими уровнями основного состояния атома цезия-133». Колебания, получаемые при возбуждении цезия-133 оказались надежными хранителями единицы времени.

В соответствии с определением единицы времени воспроизведение ее осуществляется атомно-лучевыми часами. Электромагнитные колебания кварцевого генератора умножаются до частоты спектральной линии цезия, принятой за рабочую. В резонаторе атомно-лучевой трубки энергия высокочастотных колебаний поглощается атомами цезия. При отклонении частоты кварцевого генератора от номинального значения интенсивность переходов атомов и плотность атомного пучка на выходе трубки резко сокращается. Блок автоподстройки, связанный с трубкой, вырабатывает сигнал ошибки, возвращающий частоты кварцевого генератора к номинальному значению. Стабильность частоты атомно-лучевых цезиевых часов составляет 10^{-11} .

Атомные генераторы, основанные на использовании атомарного водорода, позволяют еще на порядок повысить точность воспроизведения единицы частоты и времени. Менее точные, но более простые и дешевые рубидиевые генераторы. Их частоты и кратковременные нестабильности следующие:

$$\begin{array}{ll}
 f_{\text{Cs}^{133}} = 9.192.631.770 \text{ Гц} & \text{Cs} - 2 \cdot 10^{-11} \\
 f_{\text{Rb}^{87}} = 6.834.682.608 \text{ Гц} & \text{Rb} - 5 \cdot 10^{-11} \\
 f_{\text{H}} = 1.420.405.751,6 \text{ Гц} & \text{H} - 5 \cdot 10^{-13}
 \end{array}$$

Государственный эталон времени и частоты содержит 2 комплекта водородных квантовых генератора, 5 генераторов с кварцевой стабилизацией, 4 комплекта делителей и аппаратуру сличения частот, в том числе международного сличения. Погрешность атомных часов составляет $\pm(1-5) \cdot 10^{-12}$ (± 1 с за 30000 лет).

Эталон единицы силы электрического тока

В соответствии с постановлением IX Генеральной конференции по мерам и весам принято следующее определение ампера: «Ампер—сила не изменяющегося тока, который, проходя по двум параллельным прямолинейным проводникам бесконечной длины и ничтожно малого круглого сечения, расположенным на расстоянии 1 м один от другого в вакууме, вызвала бы между этими проводниками силу, равную $2 \cdot 10^{-7}$ Н на каждый метр длины».

Точное измерение электрического тока осуществляют с помощью инструмента, носящего название «токовых весов». К сергам коромысла весов подвешены два одинаковых соленоида. Один из них является рабочим, другой служит для создания симметричной нагрузки на коромысло, рабочий соленоид помещается внутри неподвижного соленоида. Через эти два соленоида пропускается один и тот же ток. В результате взаимодействия соленоидов на подвижной соленоид действует сила, которая уравновешивается силой тяжести гирь. Сила притяжения между катушками выражается формулой: $F = I^2 dM / dx$, где M — известная взаимная индукция катушек, а x — известное расстояние между ними. Значение производной dM / dx определяется из геометрии катушек. С помощью токовых весов можно достичь погрешности порядка $3 \cdot 10^{-6}$. Токовые весы — это пример «пассивного» эталона (пассивного, т.к. информация содержится в конструкции эталона).

Эталон единицы температуры

Генеральная конференция по мерам и весам определила кельвин как единицу термодинамической температуры, равную $1/273,16$ части термодинамической температуры тройной точки. Тройная точка воды — точка равновесия воды в твердой, жидкой и газообразных фазах.

Термодинамическая температурная шкала (шкала Кельвина) была предложена Кельвином еще в 1848 г. Воспроизведение термодинамической шкалы представляет большие трудности. Поэтому VII Генеральная конференция по мерам и весам в 1927 г. приняла, а IX Генеральная конференция в 1948 г. утвердила Международную практическую температурную шкалу, воспроизводимую по реперным точкам. В дальнейшем числовые значения реперных точек уточнялись в целях максимально возможного согласования ее с термодинамической шкалой. В

1968 г. Международным комитетом мер и весов в соответствии с полномочиями XIII Генеральной конференции по мерам и весам принята Международная практическая температурная шкала 1968 г. Эта шкала заменила Международную практическую температурную шкалу 1948 г. (редакция 1960 г.).

Температуры по Международной шкале выражаются в градусах Цельсия ($^{\circ}\text{C}$), но они могут быть выражены и в Кельвинах.

Определяющие постоянные (реперные) точки воспроизводят, реализуя состояние равновесия между фазами чистых веществ. Интерполяция между температурами постоянных точек производится по формулам, служащим для установления связи между показаниями специфицированных аттестованных интерполяционных приборов, и значениями Международной практической температуры.

В качестве постоянных точек используются равновесия между двумя фазами чистых веществ, а именно: между жидкой и газообразной фазами (точки кипения) или между твердой и жидкой фазами (точки затвердевания). В трех случаях используются так называемые тройные точки, характеризующие равновесием между твердой, жидкой и парообразной фазами водорода, кислорода и воды. Точность воспроизведения Кельвина и градуса Цельсия различна в различных интервалах температур. Наибольшая точность воспроизведения достигается в тройной точке воды $273,16\text{ K}$ (или $+0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$) $\pm 0,0002\text{ K}$. (или $^{\circ}\text{C}$).

В качестве эталонных приборов применяются платиновый термометр сопротивления в диапазоне температур $13,81\text{ K}$ и $630,74^{\circ}\text{ C}$; термopара платинородий-платина в диапазоне между $630,74$ и $1064,43^{\circ}\text{ C}$.

Эталон силы света

Кандела — сила света в заданном направлении источника, испускающего монохроматическое излучение частотой $540 \cdot 10^{12}$ Гц, энергетическая сила света которого в этом направлении составляет $1/683$ Вт/с. Кандела наиболее точно воспроизводится при помощи эталонного устройства — полного излучателя.

Полный излучатель, называемый иногда абсолютно черным телом, представляет собой небольшую трубочку из окиси тория внутренним диаметром около $2,5$ мм, погруженную в чистую платину. Платина в свою очередь, находится в сосуде, спрессованном из порошка плавленной окиси тория, окруженном порошком из окиси тория. Все это помещено во внешний сосуд из плавленного кварца. Внешний сосуд окружен небольшим числом витков медной охлаждаемой водой трубки. По трубке пропускается ток высокой частоты (около 250 кГц), который нагревает платину до ее расплавления. Вместе с платиной нагревается и трубочка из тория. Свет излучается из полости трубочки через отверстие в верхней ее части. Яркость полного излучателя при температуре затвердевания платины сравнивается с помощью фотометра с яркостью особых ламп накаливания, используемых в качестве вторичных эталонов.

Воспроизведению канделы приписана погрешность $\pm 0,5\%$ по результатам международных сличений.

Эталоны дополнительных и производных единиц СИ

Из двух дополнительных единиц СИ (радиана и стерadiana) воспроизводится с помощью эталона единица плоского угла — радиан.

Воспроизведение радиана осуществляется методом калибровки, исходя из того, что сумма всех центральных смежных углов многогранной призмы равна 2π рад (360°).

Государственный первичный эталон единицы плоского угла состоит из 36-гранной призмы, эталонной установки, включающей фотоэлектрические автоколлиматоры с электронным цифровым отсчетным устройством, позволяющим выполнять измерения в пределах от $-6''$ до $+6''$, и системы для установки и поворота многогранной призмы.

Цена отсчетного устройства автоколлиматора $0,01''$. Среднее квадратическое отклонение результата измерения не превышает $0,02''$. На многие производные единицы СИ также существуют государственные первичные эталоны, число которых непрерывно увеличивается.

Эталон разности электрических потенциалов (напряжения)

Первичный эталон разности электрических потенциалов снабжен электрохимическим *эталонным элементом* (нормальным элементом Вестона). Это специальный гальванический элемент, составные части которого строго подбираются по составу веществ и дозировки.

Бывают элементы насыщенные и ненасыщенные. В качестве основного вещества обычно используется раствор CdSO_4 (сернокислого кадмия). Насыщенные элементы при рабочей температуре содержат нерастворенные кристаллы, а ненасыщенные свободных кристаллов не имеют.

Тип	Класс точн.	Э. д. с., В	Допуст. ток, мкА	Температура $^\circ\text{C}$	Дрейф $\Delta\epsilon$, мкВ за год
Насыщенный	0,001	1,01859..1,01863	1	$20,0 \pm 0,5$	10
	0,002	1,01856..1,01866	1	$20,0 \pm 2,0$	20
	0,005	1,01850..1,01870	1	10 .. 40	50
Ненасыщенный	0.02	1,0186..1,0194	10	5 .. 55	200

При 20°C погрешность по напряжению $3 \cdot 10^{-6}$ при оптимальных условиях, которые заключаются в том, что изменения температуры не превосходят 10^{-3} К, отсутствует нагрузка и нет ни вибраций, ни тряски. У элемента Вестона очень длительное тепловое последствие. После того, как он был нагрет до 30°C , ему может понадобиться 6 месяцев, прежде чем напряжение на нем полностью стабилизируется и не будет отличаться более, чем на $0,3$ мкВ от его номинального значения при 20°C . Кроме того, элемент Вестона будет со временем стареть, что приведет к увеличению его внутреннего сопротивления (R_i : 500 — 1000 Ом) и уменьшению напряжения на несколько микровольт (в течение первых лет).

Для эталонов более низкого порядка достаточны зенеровские опорные

элементы (стабилитроны). Через зенеровский элемент пропускают постоянный ток и поддерживают его при постоянной температуре. Он может обеспечить погрешность меньше 10^{-5} . Зенеровские элементы особенно полезны в качестве переносимых эталонов, их часто применяют в портативной аппаратуре.

Уязвимость и сравнительно большая погрешность эталонных элементов заставляют искать эталоны напряжений, которые были бы более постоянными и легче воспроизводимыми. Результатом такого поиска стало использование *эффекта Джозефсона* в эталонах напряжения. Этот эффект, предсказанный в 1962 году английским студентом Брайеном Джозефсоном, наблюдается в том случае, когда два сверхпроводника располагаются близко один от другого на расстоянии порядка 10^{-9} м.

Обычно в качестве проводников используют тонкие пленки из свинца, охлажденные до температуры ниже точки перехода. Эти пленки разделены слоем окисла толщиной 1 нм. В этих условиях электроны имеют возможность совершить туннельный переход через образующийся контакт. Этот электрический туннельный ток помещают в высокочастотное электрическое поле (с частотой f_0), направленное перпендикулярно по отношению к контакту. В результате зависимость тока от напряжения имеет ступенчатый вид. Эта зависимость характеризуется скачками тока при квантованных значениях напряжения V_j . Напряжение $V_j(n)$, соответствующее n -му скачку (n — целое число), зависит от частоты f_0 по правилу: $V_j(n) = n f_0 (h/2q)$, где h и q — фундаментальные физические постоянные, а именно: h — постоянная Планка, q — заряд электрона. Для целей метрологии значение $2q/h$ принято равным 483597,9 ГГц/В. Соединяя контакты последовательно, можно получить напряжение порядка 10 мВ с погрешностью всего лишь $4 \cdot 10^{-7}$ (при $f_0 = 10$ ГГц и температуре 4°K).

Эталон электрического сопротивления

Эталонами электрического сопротивления являются образцовые резисторы на значения 10^{-5} — 10^9 Ом, намотанные проволокой из сплава, свойства которого в наименьшей степени зависят от температуры. Другое требование: малые значения собственной термо э. д. с.

Примером такого сплава является эваном (evanohm), состоящий из 74% никеля, 20% хрома и 6% алюминия и железа. Этот сплав обычно применяют для высокоомных эталонов (10 кОм). Для получения малых сопротивлений (1 Ом) часто используют манганин (86% Cu, 12% Mn, 2% Ni) или константан (54% Cu, 45% Ni, 1% Mn). Для манганина $\text{TKC} \leq 0,002\%$ на 1°C . Эталоны сопротивлений высокого класса помещают в термостат, температуру в котором поддерживают с очень большой точностью. Могут быть в виде однозначных мер или в виде магазинов. Изготавливаются в виде катушек с бифилярной намоткой. Классы точности подобных элементов 0,002..0,001. Бифилярная намотка позволяет уменьшить индуктивность катушки.



Эталон сопротивления чувствителен к влажности и нагреванию за счет рассеяния энергии на самом эталоне. Низкоомные эталоны бывают снабжены двумя парами выводов: токовыми выводами и выводами для измерения напряжения. Это сделано для того, чтобы при измерении сопротивления избежать влияния сопротивления контактов и подводных проводов. Можно достичь погрешности $1 \cdot 10^{-6}$.

Проволочные резисторы стареют и могут обладать большим дрейфом. Поэтому в настоящее время эталоны сопротивлений основаны на так называемом квантовом эффекте Холла (открытом К. фон Клитцингом в 1980 году). Этот метод позволяет привязать единицу электрического сопротивления Ом, к неизменным физическим постоянным подобно эффекту Джозефсона.

Квантовый эффект Холла наблюдается в том случае, когда полупроводниковая пластина, обладающая эффектом Холла, с большой подвижностью носителей заряда охлаждается до $1^{\circ} K$ и помещается в сильное магнитное поле. Если через пластину пропускается ток величины I , то между ее гранями возникает эдс Холла V_H . У зависимости V_H от интенсивности магнитного поля имеются так называемые плато. Результирующие (квантовые) сопротивления Холла выражаются формулой: $R_H(N) = V_H(N)/I$. Здесь $R_H(N) = (h / q^2) / N$, где N — целое число, а h и q — фундаментальные физические постоянные ($h / q^2 = 25812,807$ Ом). Этот метод позволяет задать единицу электрического сопротивления с погрешностью $2 \cdot 10^{-7}$.

Эталон емкости

Существуют в виде образцовых конденсаторов с малыми значениями ТКЕ. Диэлектрик — полистирол, кварц, стирофлен, вакуум.

Из четырех коаксиальных цилиндров можно сконструировать конденсатор, емкость которого будет зависеть только от длины цилиндров. Такой конденсатор особенно удобен в качестве эталона емкости, так как необходимо определять точно только длину. Методами оптической интерференции это можно сделать с исключительной точностью. Такие цилиндрические конденсаторы, называемые конденсаторами Томпсона-Лампара (Tompson-Lampard), позволяют достичь погрешности меньше 10^{-8} . Неудобство заключается в том, что емкость мала (приблизительно 1,9 пФ на метр). В качестве эталонов низших порядков используются другие конфигурации электродов, обеспечивающие значения емкостей 10 — 100 пФ, но обладающие более высокими погрешностями.

Эталон индуктивности

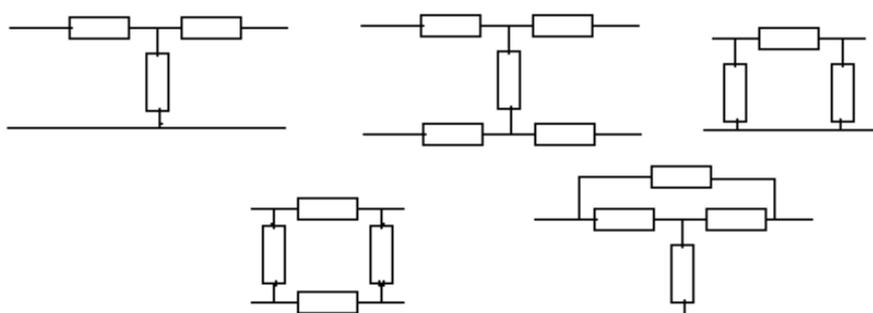
Точные эталоны индуктивности создать трудно. Это обусловлено большим числом параметров, определяющих довольно сложную геометрию катушек и влияющих на точность задания индуктивности. Кроме того, погрешность увеличивается за счет потерь энергии, обусловленных сопротивлением провода, эффектов близости и вихревых токов. Катушки наматываются на каркас (обычно фарфоровый). Точность имеющихся в

настоящее время эталонов индуктивности составляет примерно 10^{-5} .

Для того, чтобы сделать минимальное активное сопротивление используются многожильные провода и специальные методы пайки. При этом достигается более равномерное распределение тока по сечению. Используется провод типа литцендрат. Это медный многожильный провод с изолированными жилами.

Эталон затухания

Обычно в виде четырехполюсников (Т, Н, П, мостовая, Т с перекрытием и др. схемы). Эти схемы используются в измерительных приборах (ваттметры, вольтметры и др), в генераторах.



Схемы резистивных мер затухания основаны на поглощении и рассеивании энергии. Диапазон частот обычно не

превышает сотен МГц. В случае СВЧ диапазона эталонные меры поляризационные или предельные.

Запредельный аттенюатор использует особенности запредельного волновода ($\lambda \gg \lambda_{кр}$). На приведенном рисунке круглый волновод – запредельный, поле в нем убывает по экспоненте с постоянной затухания

$$\alpha \approx \frac{2\pi}{\lambda_{кр}} = \text{const.}$$

Изменяя длину отрезка круглого волновода L можно линейно (в дБ)



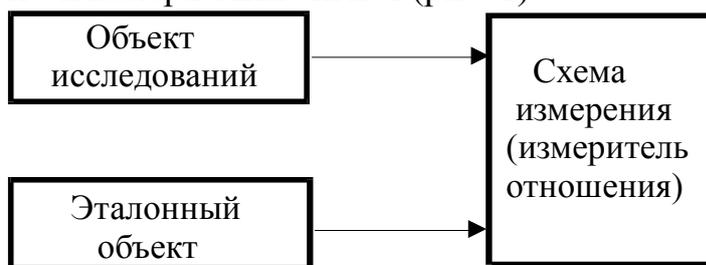
изменять затухание $A_{дБ} \sim L$. Используя точный микрометр можно с высокой точностью устанавливать требуемое значение (до 0.001 дБ).

Недостаток: так как аттенюатор несогласован по входу и выходу, то обычно включают активные элементы затухания на входе и выходе. Они обеспечивают дополнительное согласование. Начальное затухание при этом ~ 30 дБ и за счет регулировки длины максимальное затухание может достигать 140 дБ.

ЛЕКЦИЯ 10: СТАТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И СХЕМЫ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ

Объекты измерения можно разделить на «активные» и «пассивные». Для «активного» объекта (то есть в случае, когда информация, которую предстоит получить об измеряемом объекте, активна) нужен эталон, чтобы для данного объекта измерить их отношение величин сигналов объекта и

эталона. Такой эталон должен давать хорошо известный сигнал той же размерности, что и измеряемый сигнал (рис. 1).



а) активный объект измерения - пассивная система измерения



б) пассивный объект измерения - активная система измерения

Рис. 1. Получение информации об объекте измерения: (а) «Активный», (б) «Пассивный» объект измерения

Примером «активных» эталонов являются точные синтезаторы сигналов, источники опорного напряжения и т. д., тогда как измерительные преобразователи, аттенюаторы и калибровочные резисторы являются «пассивными» эталонами.

К пассивной информации нет доступа, пока она не преобразована в активную форму. Для того чтобы сделать это, необходим какой-то источник энергии (источник электрического тока при измерении резистора). С помощью энергии этого источника пассивная информация, имеющаяся в объекте измерения, становится активной - ток, текущий через резистор, вызывает появление на нем напряжения. Тогда активную информацию можно регистрировать имеющимися техническими средствами, то есть с помощью *измерительных средств*.

Таким образом, для измерения «пассивных» объектов (то есть в случае, когда измерительная информация, которую предстоит получить, содержится в объекте в пассивной форме) необходим внешний источник энергии, чтобы *возбудить* или активизировать соответствующие пассивные свойства данного объекта. Этот возбудитель оказывает воздействие на объект измерения, который, в свою очередь, так или иначе, откликается на него. Если известно воздействие, то для того, чтобы узнать свойства объекта, нужно лишь измерить отклик. Фактически отклик содержит активную информацию, как об измеряемом объекте, так и о воздействии. Если воздействие не известно, то для извлечения той части пассивной

информации, которая активизирована данным воздействием, необходимо осуществить измерение, как отклика, так и самого воздействия.

Если при измерении с помощью используемых технических средств определяется отношение двух физических величин, то необходимо чтобы они имели одну и ту же физическую размерность. При этом нужен *эталон (мера)*, который характеризуется известным соотношением между воздействием и откликом. Такой пассивный эталон даст возможность проводить измерения с «пассивным» объектом, как показано на рис. 1

Главное отличие активного РИП от пассивного – наличие стимулирующей части (источника тестового сигнала), который может быть эталонным или хотя бы стабильным на время измерений.

Источники погрешностей

Чтобы в возможно большей степени уменьшить погрешности измерений, полезно иметь некоторое представление об их источниках. Поэтому рассмотрим сейчас источники возможных ошибок на основе схемы измерения, изображенной на рис. 2.

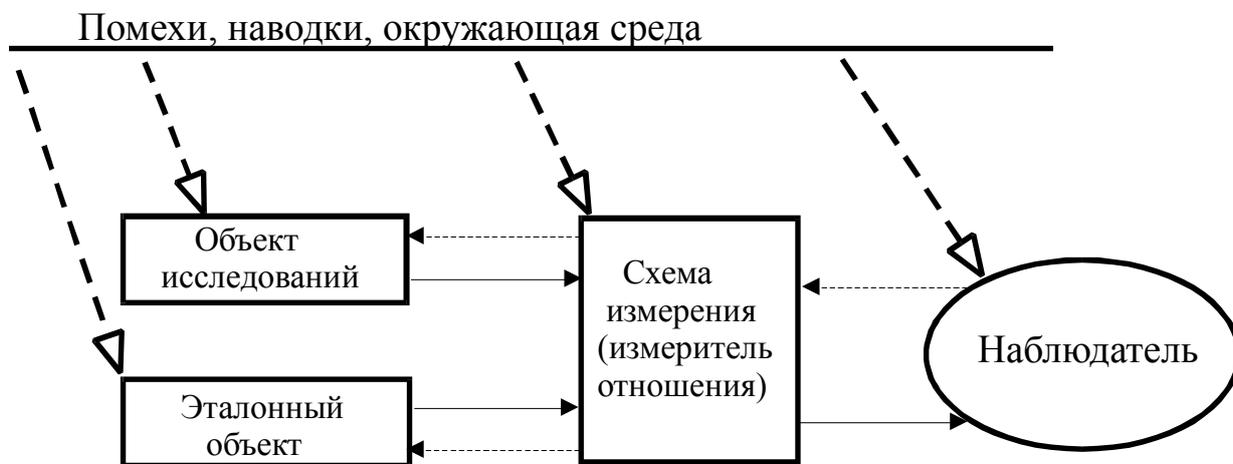


Рис. 2. Взаимодействия измерительной системы с исследуемым объектом, окружающей средой и наблюдателем

Согласно схемы, состоящей из объекта, измерительной системы и наблюдателя, помещенных в определенную окружающую среду, объект и система взаимодействуют друг с другом; объект влияет на измерительную систему и *наоборот*, система оказывает воздействие на объект. Влияние объекта на систему желательно. Посредством его осуществляется перенос измерительной информации. Влияние системы на объект нежелательно, так как при этом измеряемая величина может заметно изменяться. В этом состоит *ошибка обратного влияния*. Необходимо попытаться согласовать входной каскад измерительной системы с объектом таким образом, чтобы свести ошибку обратного влияния к минимуму.

На рис. 2 показано также взаимодействие между выходом измерительной системы и наблюдателем. Выражение «наблюдатель» употреблено здесь в широком смысле слова, включающем не только регистрацию результатов

измерения человеком, но и ЭВМ. Здесь также взаимодействие измерительной системы и наблюдателя складывается из желательной и нежелательной составляющих. Воздействие измерительной системы на наблюдателя, то есть передача наблюдателю результата работы измерительной системы, очевидно, является желательным. Обратное влияние может приводить к ошибкам, если характер воздействия наблюдателя на измерительную систему и степень этого воздействия оказываются такими, что результат измерения меняется.

Вот примеры ошибок такого рода: считывание показаний стрелочного прибора под углом, а не по направлению, перпендикулярному к шкале прибора, в результате чего возникает ошибка параллакса; нагружающее действие несогласованного (неодушевленного) наблюдателя на выходные каскады измерительной системы. Чтобы уменьшить *ошибки обратного влияния*, необходимо осуществить сопряжение выходного каскада измерительной системы с наблюдателем.

Помимо рассмотренных взаимодействий измерительная система находится в двусторонней связи с окружающей средой. Когда характер и степень данного взаимодействия таковы, что окружающая среда существенно влияет на результат работы измерительной системы, это взаимодействие нежелательно, оно вызывает возмущения и помехи. Об этом источнике ошибок измерения говорят как о *возмущающем* или «мешающем» воздействии.

Наконец, четвертым источником ошибок измерения являются (несовершенные) характеристики самой измерительной системы. Если характеристики системы не соответствуют требованиям данного измерения, то они приводят к тому, что измерения оказываются неправильными. Подбирая методики и СИ можно минимизировать ошибки измерения такого рода.

Обратное влияние на измеряемый объект: согласование

При самом акте измерения всегда в определенной степени оказывается воздействие на объект. Это может вызвать большее изменение измеряемой величины. Чтобы избежать этого, необходимо согласовать измерительную систему с измеряемым объектом. Обычно бывает достаточно подстроить только входную часть (входной каскад) измерительной системы. В зависимости от ситуации различают согласование различного рода. Известно три типа такого согласования: классическое согласование импедансов всех частей системы, сопряженное согласование и анэнергетическое согласование. При последнем варианте сводят к минимуму передачу энергии или мощности между объектом измерения и измерительной системой. В результате такого согласования в процессе измерения сколько-нибудь ощутимая энергия не передается на измеряемый объект и не потребляется от него. В некоторых случаях добиться этого позволяет компенсационный метод измерения.

Уравнение измерения - статическая характеристика прибора

В общем случае пассивный РИП можно рассматривать как

преобразователь измеряемой физической величины (входного сигнала) в форму доступную для непосредственного восприятия оператором, регистрации или принятия решения (рис. 3). Преобразование измерительной информации описывается статической (или градуировочной) характеристикой СИ и ее параметрами.

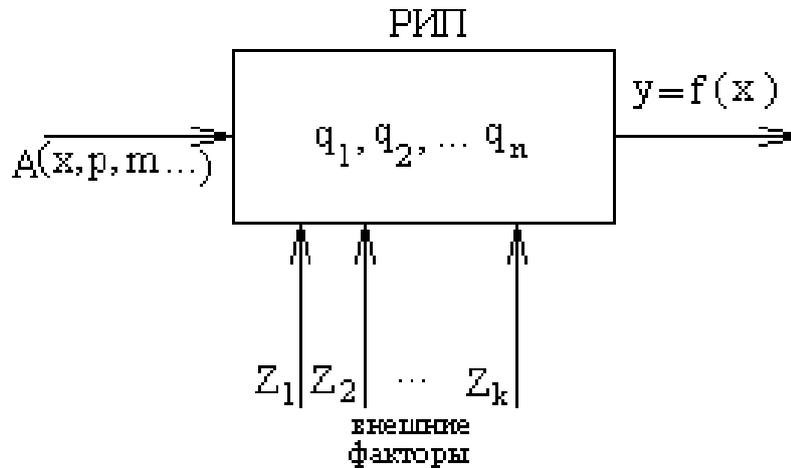


Рис. 3. Представление пассивного РИП

Как правило, измерительный сигнал A , представленный в общем виде, содержит информацию не только о параметре x , который надо оценить, но также избыточную информацию о других параметрах (p, m, \dots). Статической характеристикой называют функциональную связь между установившимся значением измеряемой величины x и выходным сигналом y . В общем случае $y = f(p, x, m, \dots, q_1, q_2, \dots, z_1, z_2, \dots)$, где $q_1 \dots q_n$ – внутренние параметры РИП (шумы, трение, термо-Э.Д.С....); $z_1 \dots z_k$ – внешние параметры и воздействия ($t^\circ\text{C}$, давление, внешние поля, питание...).

1. Заданная характеристика РИП $y_o = f_o(x)$ – устанавливает физическую взаимосвязь в идеальном виде. При этом уравнение измерения называется заданной статической характеристикой и y_o в этом случае абсолютно точно отражает x .
2. Номинальная характеристика $y_{расч.ном.} = f(x, q_{10}, q_{20} \dots q_{n0})$ – взаимосвязь при отсутствии дестабилизирующих факторов и номинальных параметрах РИП.
3. Расчетная характеристика $y_{расч.} = f(x, q_1, q_2 \dots q_n)$ – определяется параметрами РИП и внутренними дестабилизирующими факторами (паразитные Э.Д.С., наводки, утечки,...).
4. Экспериментальная характеристика $y_{эспер.} = f_{эспер.}(x)$ – зависимость, полученная в результате испытаний образцов РИП.

Экспериментальная характеристика, полученная в результате испытания реальных образцов РИП, учитывает все факторы - внутренние и внешние. В этом случае погрешность $\Delta = y_{эсп} - y_o$.

Для широкого круга средств измерений статические характеристики имеют следующую аналитическую форму записи:

$$y_H = S_H x + y_{0H}; \quad y = Sx + y_0,$$

где S_H и S — номинальная и реальная чувствительности СИ; y_{0H} , y_0 — соответственно выходные величины при отсутствии и наличии аддитивной составляющей погрешности.

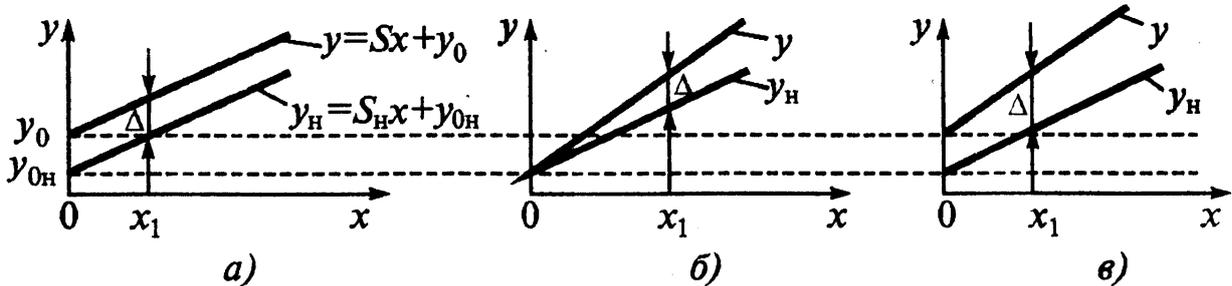


Рис. 4. Варианты отклонения реальной статической характеристики СИ от номинальной, вызывающих погрешности: а — аддитивную; б — мультипликативную; в — сумму аддитивной и мультипликативной

Абсолютная погрешность СИ равна разности значений реальной и номинальной характеристик при том же значении измеряемой величины x :

$$\Delta = \Delta(x) = y(x) - y_H(x).$$

В общем случае абсолютная погрешность средств измерения Δ (рассмотрим случаи, когда она положительна) состоит из *аддитивной* (суммируемой с измеряемой величиной) и *мультипликативной* (умножаемой на измеряемую величину) составляющих. Аддитивная составляющая не зависит, а мультипликативная зависит от измеряемой величины x . Наличие в погрешности Δ аддитивной и мультипликативной составляющих связано с характером отклонения реальной градуировочной характеристики СИ от номинальной.

При аддитивной составляющей:

$$\Delta = \Delta(x) = y - y_H = y_0 - y_{0H} = a,$$

где a — постоянная, выраженная в единицах измеряемой величины.

При мультипликативной (умножаемую на измеряемую величину) погрешности

$$\Delta = \Delta(x) = y - y_H = (S - S_H)x = bx$$

где b — постоянный коэффициент.

При сумме аддитивной и мультипликативной составляющих:

$$\Delta = \Delta(x) = y - y_H = a + bx.$$

График *абсолютной* погрешности СИ общего вида $\Delta = a + bx$ приведен на рис. 5 для диапазона измерений $0 \leq x \leq x_k$, где x_k — конечное значение диапазона измерений; a и bx — соответственно аддитивная и мультипликативная составляющие.

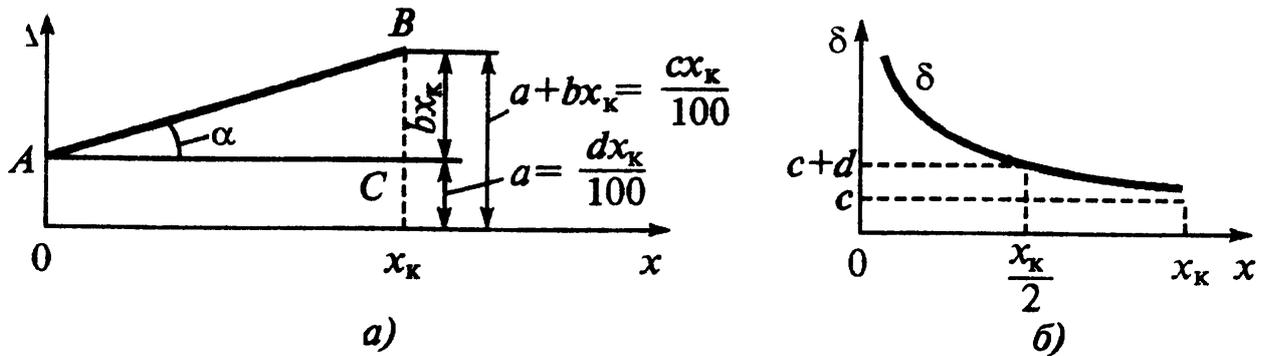


Рис. 5. Погрешности измерительного прибора:

a — абсолютная; b — относительная

Для построения соответствующего графика *относительной* погрешности средств измерений $\delta = 100\Delta/x_{\text{и}} = 100\Delta/x$ необходимо учитывать следующее обстоятельство. При оценке относительной погрешности принято значения аддитивной и суммарной составляющих абсолютной погрешности Δ выражать в долях конечного значения диапазона измерений $x_{\text{к}}$. Причем в конце диапазона измерений эти составляющие должны быть соответственно равны:

$$a = dx_{\text{к}}/100; \quad a + bx_{\text{к}} = cx_{\text{к}}/100.$$

В этих формулах $d = 100a/x_{\text{к}}$ и $c = 100(a + bx_{\text{к}})/x_{\text{к}}$ — коэффициенты, характеризующие точность СИ, равные относительным погрешностям (аддитивной и суммарной соответственно) при $x = x_{\text{к}}$. При этом, как следует из рассмотрения треугольника ABC , коэффициент

$$b = \operatorname{tg}\alpha = BC/AC = (cx_{\text{к}} - dx_{\text{к}})/100x_{\text{к}} = (c - d)/100.$$

С учетом данного значения для b , а также величины коэффициента a , выражение для относительной погрешности СИ принимает вид

$$\delta = 100 \frac{\Delta}{x} = 100 \frac{a + bx}{x} = c + d \left(\frac{x_{\text{к}}}{x} - 1 \right).$$

Из графика функции δ наглядно видно, что относительная погрешность СИ δ увеличивается и изменяется по гиперболе при уменьшении измеряемой величины x . Поэтому *следует выбирать такой диапазон измерений, в котором значение x близко к $x_{\text{к}}$* . Рассмотренные выражения и графики для абсолютной Δ и относительной δ погрешностей СИ получены для частного варианта, когда $\Delta > 0$.

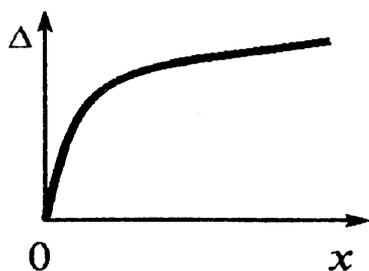


Рис. 6. Нелинейные погрешности СИ

В практике измерений вполне возможно получение значения $\Delta < 0$. Поэтому в общем случае выражения для абсолютной и относительной погрешностей СИ аналитически записываются со знаком «±».

Наряду с аддитивной и мультипликативной погрешностями средства

измерений могут вносить и погрешности нелинейного характера, имеющие нелинейную зависимость от измеряемой величины (рис. 6).

Основные схемы пассивных РИП

По структуре РИП может быть с разомкнутым (последовательным или последовательно параллельным) и с замкнутым соединением звеньев (компенсационные, имеющие обратную связь). Схемы реальных приборов могут содержать отдельные части, имеющие структуру каждого из трех приведенных вариантов схем.

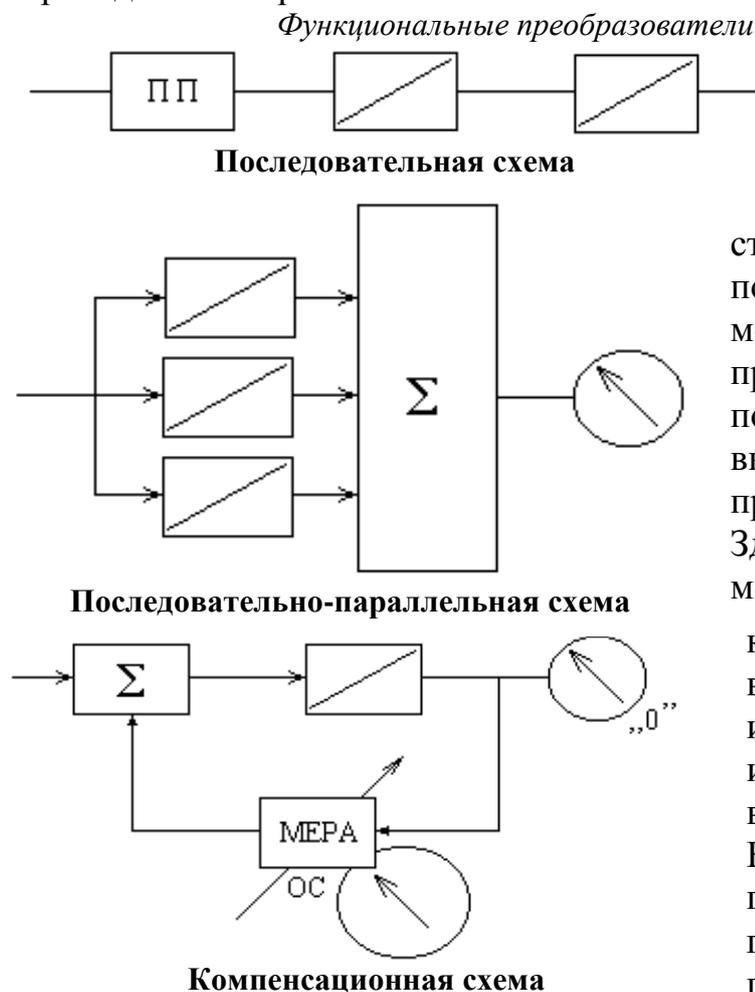


Рис. 7. Схемы приборов

Идеализированная структурная схема прибора с последовательным соединением модулей содержит первичный преобразователь (ПП), последовательно с которым включены другие преобразователи и индикатор. Здесь в качестве встроенной меры применен калиброванный канал передачи сигнала от входа прибора до его шкалы или сигнал образцового источника, включаемый на время калибровки на вход ПП. В последовательно-параллельной схеме сигналы группы параллельных преобразователей подаются на сумматор и далее на индикатор. Калибровка аналогична приведенному

выше варианту.

Третий вариант схемы РИП реализует метод сравнения с мерой, которая включена в обратную связь.

Это компенсационная схема. Здесь на сумматор приходят входной сигнал и сигнал, формируемый мерой. Индикатор «0» показывает равенство этих сигналов. Регулятор величины меры может при достижении «0» служить шкалой отсчета уровня входного сигнала. Можно также применять встроенный измеритель сигнала меры. Нередко на выходе меры включается калиброванный делитель сигнала (аттенюатор, делитель частоты и др.)

Для компенсационного метода может потребоваться

вспомогательный источник энергии, который поставлял бы точно столько же энергии, сколько в противном случае потреблялось бы от источника измеряемой величины. Компенсацией можно воспользоваться для подавления возмущающих воздействий. В дифференциальном усилителе на паре биполярных транзисторов компенсация уменьшает влияние температурных изменений.

Измерительные мосты

Мостовые методы используются для различных задач измерения сопротивления, емкости, индуктивности, добротности. На их основе строятся измерители температуры, перемещений, объема, скорости и др. устройства систем автоматики. Широкое применение мостовых схем обусловлено высокой чувствительностью и высокой точностью измерений. В зависимости от вида, мосты делят на следующие виды:

- мосты постоянного тока;
- мосты переменного тока;
- одинарные или четырехплечие;
- двойные или шестиплечие.

Для моста постоянного тока, приведенного на рис. 8, плечи образованы постоянными резисторами. Если $R_1 = R_3$, $R_2 = R_4$, то в точках а) и б) потенциалы будут одинаковые и ток в цепи гальванометра отсутствует. Это условие баланса моста.

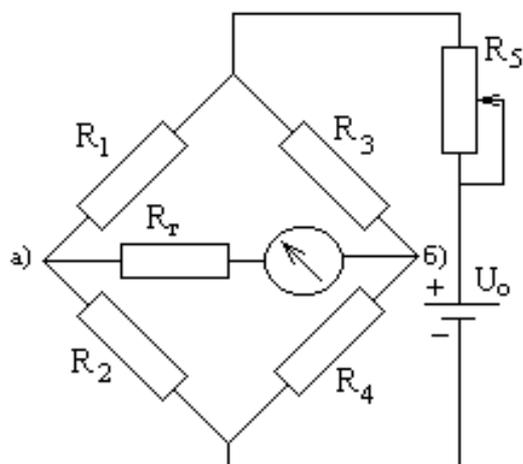


Рис. 8. Мост четырехплечий

$$R_1 R_4 = R_2 R_3$$

Если одно из сопротивлений изменилось, то балансировка нарушается и в цепи диагонали моста появляется ток. Если одно из этих сопротивлений неизвестно, то, добившись балансировки моста, можно найти его достаточно точно. Если известное сопротивление изменилось на небольшую величину ΔR_1 , то изменение тока в цепи гальванометра линейно связано с величиной ΔR_1 :

$$\Delta I \approx U \frac{\Delta R_1 R_4}{R_5 (R_1 + R_2)(R_3 + R_4) + R_1 R_2 (R_3 + R_4) + R_3 R_4 (R_1 + R_2)}$$

Важнейшей характеристикой моста является его чувствительность. Самая высокая чувствительность когда все R_i одинаковые. Погрешности мостовых схем, как правило, на порядок, а то и на два меньше, чем погрешности методов прямого преобразования за счет использования высокочувствительного индикатора баланса моста и высоковольтного источника опорного напряжения U_0 . На точность мостовых схем влияет точность меры (известные сопротивления).

Мостовую схему из четырех резисторов в 1833 году придумал Кристи (S.H. Christie). Однако называют эту конструкцию по имени сэра Чарльза Уитстона (Wheatstone), который в 1843 году первым

воспользовался ею для измерения сопротивления. Помимо использования для определения *электрических* импедансов, мостовой метод может быть также полезен при измерении других величин, таких как тепловые, гидравлические, акустические и т. д.

ЛЕКЦИЯ 11: ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ЦИФРОВЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ (ЦИП)

ЦИП классифицируются по областям и виду измерений, степени автоматизации, наличию интерфейса и микропроцессорной системы (МПС). Цифровыми называются приборы, показания которых представлены в цифровой форме. Они обладают высокой точностью, помехозащищенностью, сопрягаются с внешними системами и ЭВМ через стандартные шины. Все приборы (в том числе и ЦИП), как было показано выше, можно разделить на 2 группы: активные (измерители устройств) и пассивные (измерители сигналов).



Рис. 5. ИП «Устройства»

На входы объекта через блок сопряжения поступают испытательные сигналы $X_{N_{вх}}$, которые на выходе объекта через блок сопряжения приходят на измерительную часть $X_{N_{вых}}$. По соотношению входных и выходных сигналов можно определить параметры объекта: $Y = f(X_{N_{вх}}, X_{N_{вых}})$. Процедура облегчается, если ввести информацию о параметрах или собственно сигналы $X_{N_{вх}}$ в измерительную часть. Системой (прибором) должен управлять блок управления (БУ). ПРИМЕР: измеритель

коэффициента передачи $|K(j\omega)| = \frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{вх}}}$

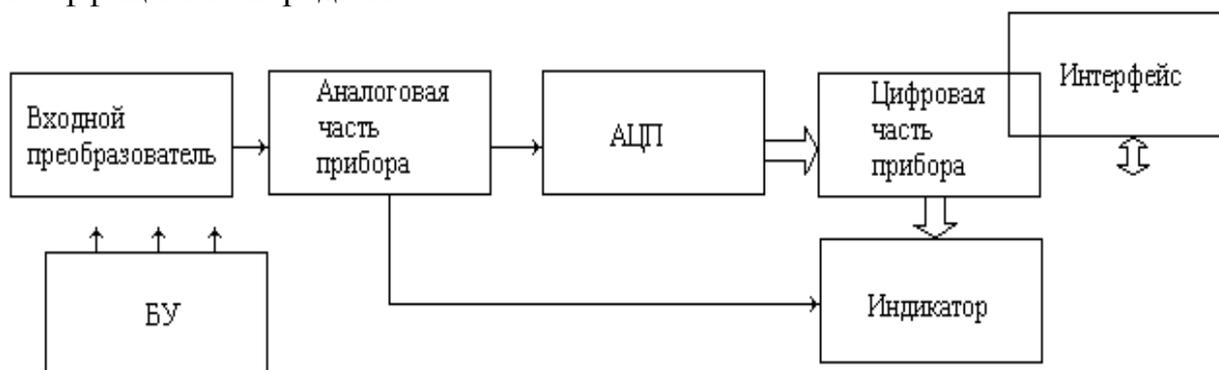


Рис. 6. ИП «Сигнала»

ИП «Сигнала» - это фактически измерительная часть ИП «Устройства». На схеме не показан активный объект измерения, есть только его сигнал, у которого надо измерить параметры. При этом ИП должен содержать совокупность модулей.

Аналоговая часть прибора — это усилители, аттенюаторы, преобразователи частоты, трансформаторы и т. д. Индикатор может быть соединен и с аналоговой частью. Есть также БУ, который всем управляет. Цифровая часть прибора содержит модуль интерфейса, позволяющий формировать результаты измерения и передавать их на внешние устройства, а также применять системы для внешнего управления прибором.

Варианты ЦИП: с жесткой логикой и программируемые (наличие МПС). Если прибор микропроцессорный, то БУ объединяется с цифровой частью и появляются дополнительные возможности.

Применение МП это революция в технологии измерений. Не только улучшаются метрологические характеристики, но изменяется идеология построения РИП и систем. Появился новый класс «интеллектуальных» приборов, которые руководят действиями оператора, указывают ему на ошибки и исправляют их. Обобщенная структурная схема РИП и МПС в режиме измерения сигнала (при измерении устройства добавляется стимулирующая часть и блок сопряжения с объектом) представлена на рис.

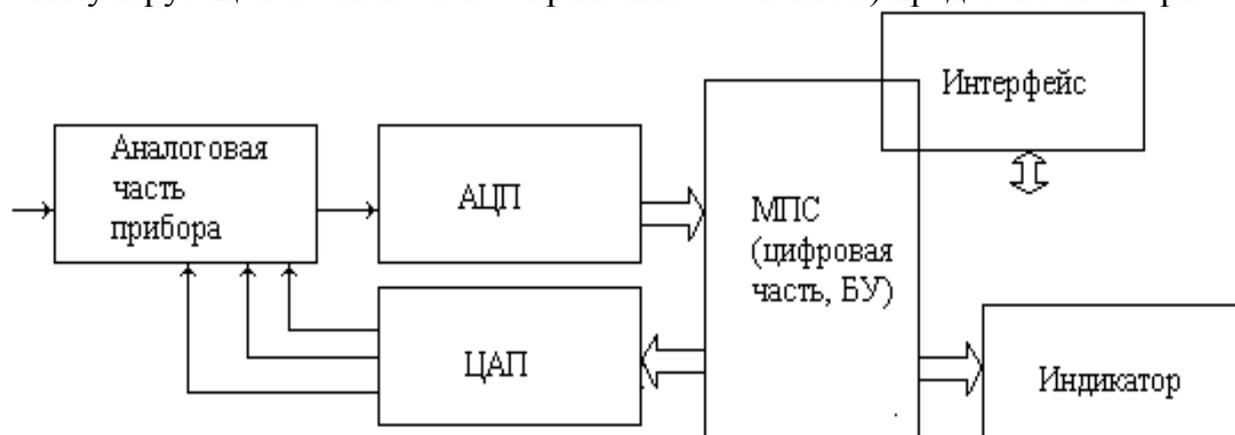


Рис. 7. Микропроцессорный РИП

Через ЦАП МПС управляет работой отдельных узлов РИП (в основном аналоговой частью), корректируя полярность, входной сигнал, разрядность и т.д.

Функции МПС в РИП. Применением МПС обеспечивается:

1. Расширение функциональных возможностей приборов

До применения МПС многофункциональный прибор – это конструктивное объединение разных функциональных частей, при котором переход от одного режима (параметра) измерения к другому достигается коммутацией узлов и сменой жестких алгоритмов обработки. Применение МПС преобразует работу с жесткой логикой в программно-управляемую работу. При этом функции наращиваются программными средствами при тех же алгоритмах снятия данных (например, измерив f , можно рассчитать T).

2. *Расширение измерительных возможностей*

Достигается за счет использования принципов косвенных и совокупных измерений, которые в приборах с жесткой логикой обычно не используются. МПС по результатам прямых измерений обрабатывает результаты и получает необходимые данные.

3. *Обработка результатов однократных измерений:*

- Масштабирование $A_{\text{показаний}} = A_{\text{измеренное}} C$; $C - \text{const}$;
- Смещение $A_{\text{п}} = A_{\text{п}} - b$ $b - \text{const}$;
- Нормирование $A_{\text{п}} = A_1 / A_2$;
- Логарифмирование $K = 20 \log(A_1 / A_2)$;
- и др.

4. *Обработка многократных измерений*

При этом возможно представление статистических характеристик: математического ожидания, среднеквадратического отклонения и др.

5. *Облегчение управления приборами.*

Чем выше уровень программного обеспечения, тем менее сложная передняя панель прибора. «Интеллектуальный» прибор укажет ошибочные действия оператора, подскажет правильный путь. В простейшем случае это автоматические процедуры выбора предела измерений (АВП), выбора полярности и времени усреднения, установки нуля, калибровки.

6. *Миниатюризация и экономичность аппаратуры*

Достигается за счет уменьшения узлов и соединения ряда функций путем обработки в МПС.

7. *Повышение надежности прибора*

Достигается за счет уменьшения аналоговой (как правило более ненадежной) части прибора.

8. *Сокращение продолжительности разработки РИП*

Достигается за счет программного расширения функций уже существующих приборов. С учетом существующих программ (библиотек) разработчику достаточно выбрать и адаптировать программу к реальной задаче.

9. *Организация измерительных систем*

Прибор с МПС обычно имеет интерфейс (например, КОП), позволяющий подключить его к стандартной интерфейсной шине. Можно объединить совокупность приборов и ЭВМ в единый комплекс или систему.

10. *Повышение точности измерений*

Достигается за счет п.п. 2, 3, 4, и 5. Обеспечивается устранение промахов, исключаются систематические погрешности или они рандомизируются, уменьшается влияние случайной погрешности и шумов.

А. Исключение системной погрешности:

- Коррекция смещения АХ прибора;
- Калибровка коэффициента передач в точке и полосе (АЧХ);

- Линеаризация характеристик детекторов;
- Компенсация влияния коэффициентов отражения и т.д.

Рассмотрим схему коррекции «О», калибровки коэффициента передачи в аналоговом тракте ЦИП и компенсации нелинейности АХ.

В процессе работы у прибора его вход периодически «заземляется» и проверяется нуль. При его отсутствии через ЦАП осуществляется установка нуля или смещение нуля запоминается в МПС, а результат перед подачей на индикатор корректируется: $y = y_n(\pm)\Delta_{"O"}$.

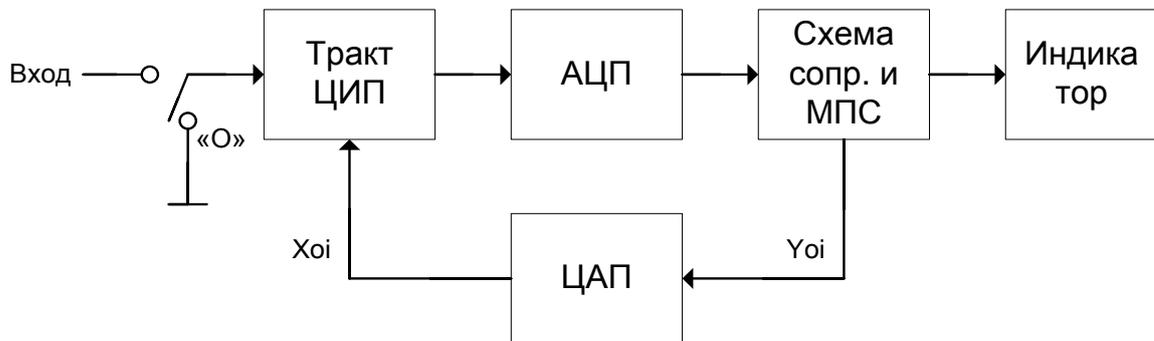


Рис. 8. Коррекция систематических погрешностей

Для коррекции коэффициента передачи в памяти МПС хранится набор значений y_{oi} , которые должны быть при x_{oi} . Периодически МПС вырабатывает значение y_{oi} , наиболее близкое к измеряемому значению. При этом на входе тракта измерения ЦАП формирует эталонный сигнал x_{oi} . В результате работы тракта и АЦП получится результат $y_{ni} \neq y_{oi}$. Вычисляется поправочный коэффициент $\alpha_i = y_{oi} / y_{in}$, который хранится в памяти МПС. При входном сигнале $x \rightarrow x_{oi}$ результат $y_{io} = y_{in} \alpha_i$.

Для коррекции АХ запоминается значения α_i для разных уровней сигналов, Для коррекции АЧХ – значение α_{fi} учитываются с учетом рабочей частоты.

В. Уменьшение влияния случайной погрешности

Накопление и обработку результатов многократных испытаний (измерений) осуществляет МПС. Могут быть разные алгоритмы с оценкой достоверности, доверительного интервала; с накоплением данных для получения результата с заданной точностью. Вариант алгоритма приведен на рис. 9.

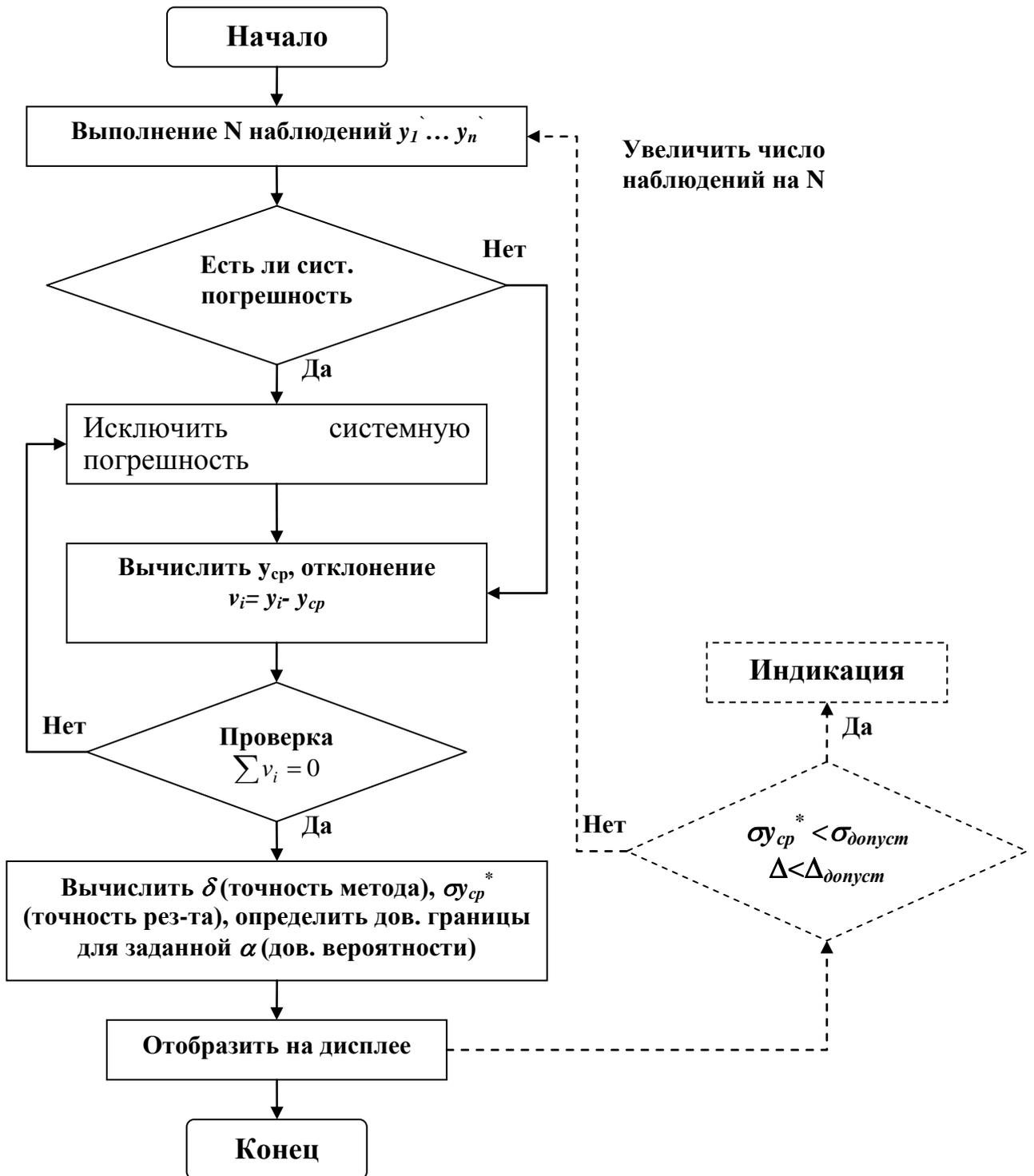


Рис. 9. Вариант алгоритма

С. Компенсация внутренних шумов

Позволяет повысить чувствительность прибора, расширить его динамический диапазон. Вариант обработки может быть следующий. До подачи сигнала измеряется средний квадрат шумового сигнала и запоминается $U_{ш\text{ ср}}^2$ при подаче сигнала считается, что шум тот же. Сумма

возводиться в квадрат и усредняется.

$$U_{ср}^2(t) + 2U_c(t)U_{ш}(t) + U_{шср}^2(t) = U_{ср}^2(t) + U_{шср}^2(t)$$

Здесь среднее значение произведения равно нулю т.к. сигнал и шум независимы (некоррелированы). Из полученной суммы вычитается запомненный шум, извлекается квадратный корень и получается значение сигнала.

Условия применения и ограничения применения МП

При выборе между жесткой логикой и МП считается, что МП лучше, если:

- Число интегральных схем для жесткой логики ≥ 30 ;
- Нужен программируемый, многофункциональный прибор;
- Предполагается наращивание функций;
- Требуется запоминать или обрабатывать данные;
- Реализуются алгоритмы косвенных или совокупных измерений;
- Велик объем измерений;
- Следует автоматизировать управление прибором;

Необходимо получать сведения о погрешностях... *Условия ограничения применения МП:*

1. Трудности выбора базового МП из-за недостаточных профессиональных знаний, из-за нехватки технических материалов по конкретным МП, слабой базы разработчика (нужны логические и сигнатурные анализаторы, программаторы)

2. Ограниченное быстродействие МП.

3. Сложности программного обеспечения – основное ограничение. Следует искать готовые пакеты программ.

4. Специфика испытаний, контроля диагностики и даже поверки средств измерения с МП. Т.к. здесь велика роль программных средств «обычная» метрология не всегда применима. Наиболее часто МП осуществляет самотестирование приборов, для разрабатываются внутренние диагностические программы. Применяют:

- Логический анализ (анализаторы логических состояний ...)
- Сигнатурный анализ (сигнатура – 4-значное 16-ричное число которое выводится на дисплей идеальная и реальная);
- Принципы самотестирования.

Принципы кодирования и аналого-цифрового преобразования

АЦП представляет аналоговый измерительный сигнал в виде кода. Кодирование производится по определенному правилу. В привычной для нас десятичной форме исчисления любое целое число может быть представлено в виде:

$$N = \sum_{i=1}^n k_i \cdot 10^{i-1} \quad ; \quad \text{где } n - \text{число разрядов, } k_i = 0, 1, 2, \dots, 9.$$

Пример: $902 = 8 \cdot 10^2 + 0 \cdot 10^1 + 2 \cdot 10^0$

$$N = \sum_{i=1}^n k_i \cdot 2^{i-1}$$

В двоичной системе ; где $k_i = 0, 1$. Тогда число
 $902 = 1 \cdot 2^9 + 1 \cdot 2^8 + 1 \cdot 2^7 + 1 \cdot 2^6 + 1 \cdot 2^5 + 1 \cdot 2^4 + 1 \cdot 2^3 + 1 \cdot 2^2 + 1 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0$
 $512 + 256 + 128 + 0 + 0 + 0 + 0 + 4 + 2 + 0$

Наиболее распространена двоично-десятичная система кодирования, когда каждый десятичный разряд представляется в двоичном коде 8-4-2-1. Тогда

$$902 = (1 + 8) \cdot 10^2 + 0 \cdot 10^1 + 2 \cdot 10^0$$

Коды 1001 0000 0010
 9 0 2

Применяются также коды, в которых каждый десятичный разряд представлен некоторой комбинацией целых положительных чисел:

$$\begin{array}{cccc} 2 & - & 4 & - & 2 & - & 1 & & 5 & - & 2 & - & 1 & - & 1 \\ a_1 & a_2 & a_3 & a_4 & & & & & a_1 & a_2 & a_3 & a_4 \end{array}$$

Любое число от 0 до 9 представляется линейной комбинацией:

$$S = k_1 a_1 + k_2 a_2 + k_3 a_3 + k_4 a_4; \text{ где } k_i = 0, 1.$$

Вид кодирования влияет на достоверность информации в условиях действия помех на преобразователь.

Коды Фибоначчи – основаны на кодовой избыточности и обладают высокой устойчивостью к сбоям. Обобщенными числами Фибоначчи или p – числами названы числа, полученные с помощью соотношения:

$$\varphi_p(n) = \varphi_p(n-1) + \varphi_p(n-p-1), \text{ где}$$

$$\underline{p = 0, 1, 2, \dots, \infty} \quad \underline{\varphi_p(0) = \varphi_p(1) = \dots = \varphi_p(p) = 1}$$

; начальные условия

Для $p=0$ $\varphi_0(n) = \varphi_0(n-1) + \varphi_0(n-1)$, т.е. каждое последующее число равно удвоенному предыдущему. Начальное условие $\varphi_0(0)=1$; $\varphi_0(1) = \varphi_0(0) + \varphi_0(0) = 2$; $\varphi_0(2) = 4$; $\varphi_0(3) = 8$; $\varphi_0(4) = 16$..., т.е. получили двоичный ряд: 1, 2, 4, 8, 16...

Для $p = \infty$ получаем единичный (унитарный) код: 1, 1, 1, ..., 1...

Для $1 \leq p < \infty$ при $n \rightarrow \infty$ имеем последовательность, в которой отношение двух следующих чисел приближается к «золотой пропорции» $(1 + \sqrt{5})/2$.

При $p=1$ очередное число $\varphi_1(n) = \varphi_1(n-1) + \varphi_1(n-2)$, т.е. равно сумме двух предыдущих: 1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21 ...

Любое натуральное число может быть представлено в виде p – кода.

В двоичном коде каждому числу соответствует только одно двоичное слово, а для кода Фибоначчи – несколько.

Рассмотрим пример представления пятиразрядных чисел для $p=1$.

Число	Веса разрядов					Число						Число					
	5	3	2	1	1		5	3	2	1	1		5	3	2	1	1
0	0	0	0	0	0	5	1	0	0	0	0	8	1	1	0	0	0
1	0	0	0	0	1	5	0	1	1	0	0	8	1	0	1	1	0
1	0	0	0	1	0	5	0	1	0	1	1	8	1	0	1	0	1
2	0	0	1	0	0	6	1	0	0	1	0	9	1	1	0	1	0
2	0	0	0	1	1	6	1	0	0	0	1	9	1	1	0	0	1
3	0	1	0	0	0	6	0	1	1	1	0	9	1	0	1	1	1
3	0	0	1	1	0	6	0	1	1	0	1	10	1	1	1	0	0
3	0	0	1	0	1	7	1	0	1	0	0	10	1	1	0	1	1
4	0	1	0	1	0	7	1	0	0	1	1	11	1	1	1	0	1
4	0	1	0	0	1	7	0	1	1	1	1	11	1	1	1	1	0
4	0	0	1	1	1							12	1	1	1	1	1

Важная особенность кода – множественность представления чисел (в примере кроме 0 и 12). Наибольший интерес имеют представления чисел по минимальной форме (наименьшее число единиц).

Избыточность придает АЦП новые качества. Представление числа в r – коде корректно, когда между соседними единицами не меньше, чем « r » нулей. К корректным относятся также комбинации, когда между соседними 1 нет нуля, но есть нуль справа. Проверка корректности кодовых комбинаций позволяет повышать помехоустойчивость, надежность и контролировать работоспособность АЦП. Когда происходит сбой, то появляются некорректные комбинации, которые анализируются и исключаются из рассмотрения. Для поразрядного кодирования могут быть дополнительные ограничения по срабатыванию ячеек сверху вниз (от старшей к младшей), т.е. каждому числу должен соответствовать один код.

Электронные средства измерений согласно ГОСТ 15094-86

Подгруппа.	Вид.	Наименование.
А—приборы для измерения силы тока	А2	Амперметры постоянного тока.
	А3	Амперметры переменного тока.
	А9	Преобразователи тока.
Б—источники питания для измерений	Б2	Источники переменного напряжения (тока).
	Б5	Источники постоянного напряжения (тока).
	Б6*	Источники питания с регулируемыми параметрами.
	Б7*	Источники постоянного, переменного тока универсальные.
В—приборы для измерения напряжения	В1*	Установки или приборы для поверки вольтметров.
	В2	Вольтметры постоянного напряжения.
	В3	Вольтметры переменного напряжения.
	В4	Вольтметры импульсного напряжения.
	В6	Вольтметры селективные.
	В7	Вольтметры универсальные.
	В8	Измерители отношения, разности,

	В9	нестабильности напряжения. Преобразователь напряжения.
Г—генераторы измерительные.	Г2* Г3 Г4 Г5 Г6 Г7 Г8* Г9	Генераторы шумовых сигналов. Генераторы сигналов НЧ. Генераторы сигналов. Генераторы импульсов. Генераторы сигналов сложной формы. Синтезаторы частоты. Генераторы качающейся частоты. Генераторы испытательных импульсов.
Д—приборы для измерения ослаблений.	Д1 Д2* Д3* Д4* Д5* Д6* Д8*	Приборы для измерения ослаблений. Аттенюаторы резисторные, емкостные. Аттенюаторы поляризованные. Аттенюаторы предельные. Аттенюаторы поглощающие. Аттенюаторы электрические управляемые. Измерители ослаблений.
Е—приборы для измерения параметров компонентов и цепей с сосредоточенными постоянными.	Е1* Е3	Установки или приборы для проверки измерителей параметров компонентов и цепей. Измерители индуктивности.
И—приборы для импульсных измерений	И1* И2* И4 И9	Установки или приборы для поверки. Измерители временных интервалов. Измерители параметров импульсов. Преобразователи импульсных сигналов.
К—установки измерительные, системы измерительные автоматизированные	К2 К3* К4* К5* К6*	Установки измерительные. Установки измерительные автоматизированные комплексные. Приборы (блоки) измерительных установок. Приборы комплексных автоматизированных измерительных установок. Системы измерительные автоматизированные.
Л—приборы для измерения параметров электровакуумных, полупроводниковых приборов и микросхем	Л2 Л3* Л4	Измерители параметров полупроводниковых приборов и интегральных микросхем. Измерители параметров электровакуумных приборов. Измерители шумовых параметров полупроводниковых приборов.
М—прибор для измерения мощности.	М1* М2 М3 М5*	Установки или приборы для поверки ваттметров. Ваттметры проходящей мощности. Ваттметры поглощаемой мощности. Преобразователи приемные (головки).

Н—меры электрических величин.	Н2	Меры (набор мер) пассивных электрических величин.
	Н3	Средства измерений для воспроизведения электрических величин элементов и трактов с распределенными параметрами.
	Н4	Калибраторы постоянного напряжения (тока).
	Н5	Калибраторы переменного напряжения (тока).
	Н6	Калибраторы фаз.
	Н7	Калибраторы мощности.
	П—приборы для измерения напряженности поля, плотности потока энергии, радиопомех и параметров антенн.	П1*
П3		Измерители напряженности электромагнитного поля.
П4		Измерители радиопомех.
П5		Приемники измерительные.
П6		Антенны измерительные.
П7		Измерители параметров антенн.
Р—приборы для измерения параметров элементов и трактов с распределенными постоянными.		Р1
	Р2	Измерители модулей коэффициентов передачи и отражения.
	Р3*	Измерители полных сопротивлений.
	Р4	Измерители комплексных коэффициентов передачи и отражения.
	Р5	Измерители параметров линий передач.
С—приборы для наблюдения, измерения и исследования формы сигналов и спектров.	С1	Осциллографы.
	С2*	Измерители коэффициента амплитудной модуляции.
	С3	Измерители модуляции.
	С4	Анализаторы спектров.
	С6	Измерители коэффициента гармоник.
	С7	Осциллографы стробоскопические
	С8	Осциллографы запоминающие.
	С9*	Осциллографы специальные.
	Т—генераторы цифровых сигналов.	Т2
Т3		Генераторы кодовых комбинаций импульсов.
У—усилители измерительные.	У2	Усилители селективные.
	У3	Усилители переменного напряжения.
	У4*	Усилители НЧ.
	У5	Усилители постоянного напряжения.
	У6	Усилители мощности.
	У7*	Усилители универсальные.
Ф—приборы для	Ф1*	Установки или приборы для поверки

измерения разности фаз и группового времени запаздывания (ГВЗ)	Ф2 Ф4 Ф5	измерителей разности фаз и ГВЗ Измерители разности фаз. Измерители группового времени запаздывания. Измерители разности фаз импульсные.
Х—приборы для наблюдения характеристик радиоустройств.	Х1 Х2* Х3* Х5 Х6	Приборы для наблюдения АЧХ. Приборы для исследования переходных характеристик. Приборы для исследования ФЧХ. Измерители характеристик шума. Приборы для исследования вероятностных характеристик случайных процессов.
Ц—анализаторы потока цифровых данных.	Ц2 Ц3 Ц4	Анализаторы логических состояний и временных диаграмм. Анализаторы сигнатур. Анализаторы кодовых последовательностей.
Ч—приборы для измерения частоты и времени.	Ч1 Ч2 Ч3 Ч5 Ч5* Ч6* Ч7 Ч9	Меры (стандарты) частоты и времени. Частотомеры резонансные. Частотомеры электронно-счетные. Переносчики частоты. Преобразователи, синхронизаторы частоты. Синтезаторы, делители и умножители частоты. Приёмники эталонных сигналов частоты и времени, компараторы частотные, фазовые. Преобразователи частоты.
Э*—измерительные устройства коаксиальных и волноводных трактов.	Э1* Э2* Э3* Э4* Э5* Э6* Э7* Э7* Э8* Э9*	Трансформаторы. Переходы, соединители. Переключатели. Модуляторы. Направленные ответвители. Вентили ферритовые. Головки детекторные. Головки смесительные. Фильтры. Нагрузки.
Я—блоки измерительных приборов.	Я1 Я2 Я3	Для измерения силы тока, напряжения, параметров компенсаторов и цепей с сосредоточенными постоянными. Для измерения параметров элементов и трактов с распределёнными постоянными; блоки приборов для измерения мощности. Для измерения частоты и времени; блоки измерителей разности фаз и группового

		времени запаздывания.
	Я4	Для наблюдения и исследования форм аналоговых сигналов и спектров.
	Я5	Для источников питания.
	Я6	Для измерения напряжённости поля, плотности потока энергии, радиопомех и параметров антенн; блоки измерительных усилителей.
	Я7	Для генераторов; мер электрических величин; генераторов цифровых сигналов; для измерения ослабления.
	Я8	Для измерителей характеристик радиоустройств; параметров электровакуумных, полупроводниковых приборов и интегральных микросхем; для импульсных измерений.
	Я9	Для анализаторов потоков цифровых данных; преобразователей измерительных; для индикации результатов измерений; коммутаций.

* Согласно ГОСТ 15094-86 с 01.01.87 года при разработке и конструировании аппаратуры не применяются.

Цифры после тире — номер разработки. По нему нельзя сказать о качестве прибора. Буквы за номером — номер модификации (А, Б, В, Г). Дробь — вариант модификации серии, разрабатываемой одновременно. Вторая буква К означает то, что прибор комбинированный. В таком приборе помимо основных функций имеются дополнительные возможности, т. е. расширение функциональных возможностей.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

Лекция 1

1. В каком веке в России было организовано первое государственное поверочное учреждение и как оно называлось?
2. Какой орган осуществляет управление метрологической службой России?
3. Что такое *метрология*?
4. Что такое *измерение*?
5. Назовите области и виды измерений, которые имеют прямое отношение к вашей специальности?
6. Приведите определение и примеры *прямых измерений*.
7. Приведите определение и примеры *косвенных измерений*.
8. Приведите определение и примеры *совместных измерений*.
9. Что такое *контроль* и что является его результатом?
10. Что такое *принцип измерения*?
11. Что такое *алгоритм измерения*?

12. Что такое *метод измерений*?
13. Что такое *методика измерений*?
14. Что охватывает понятие *средство измерений* (СИ)?
15. Что называют *датчиком*?
16. Что такое *мера физической величины*?
17. Что такое *измерительный прибор* (ИП)?
18. Что такое *измерительная установка*?
19. Что такое *метрологические характеристики* (МХ) СИ. Назовите их

Лекция 2

1. Что такое ГСИ?
2. Что такое *единство измерений*?
3. Какой закон обеспечивает единство измерений в стране?
4. Назовите уровни метрологических служб в РФ.
5. Что такое поверка средства измерений.
6. Назовите виды поверки.
7. На каких уровнях осуществляется деятельность по ОЕИ?
8. Из каких подсистем состоит ГСИ?
9. Что собой представляет правовая подсистема ГСИ.
10. Что входит в структуру нормативных документов по ОЕИ?
11. Что собой представляет техническая подсистема ГСИ?
12. Что собой представляет организационная подсистема ГСИ.
13. Назовите наиболее важные на ваш взгляд задачи ГСИ.
14. Какие подразделения входят в Государственную метрологическую службу?
15. На каких четырех основах базируется метрологическое обеспечение?
16. Какой орган власти осуществляет государственное управление деятельностью по ОЕИ в РФ?

Лекция 3

1. Какова структура метрологической службы (МС) России?
2. Назовите Государственные научные метрологические центры.
3. Каковы функции ЦСМ и С?
4. Что такое ГСВЧ ?
5. Какие вы знаете МС федеральных органов управления?
6. Какова структура МС федерального органа управления?
7. Какова структура МС юридического лица на примере промышленного предприятия?
8. Какие обязанности возлагаются на МС предприятия?
9. Какова цель проведения метрологической экспертизы?
10. Что подвергают метрологической экспертизе?
11. Что такое Метрологический контроль и надзор?
12. Какие области и виды деятельности относятся к сфере государственного контроля и надзора?
13. Что включает Государственный метрологический контроль?
14. Чем занимается Владимирский ЦСМ?

Лекция 4

1. Каким образом и для чего осуществляется утверждение типа СИ?
2. Что такое Метрологическая аттестация (МА) СИ?
3. Какие СИ проходят МА?
4. Что такое Государственные приемочные испытания СИ (ГПИ)?
5. Что такое Государственные контрольные испытания СИ (ГКИ)?
6. Какие органы имеет право поверки СИ?
7. Какое физическое лицо имеет право поверки?
8. Что такое поверительное клеймо и Свидетельство о поверке?
9. Назовите виды поверки и их особенности.
10. Какая деятельность с СИ подлежит лицензированию органами ГМС ?
11. Что такое лицензия и кому она выдается?
12. Что такое калибровка средств измерений? Когда и кем она осуществляется?
13. Что такое эталон ?
14. Что такое Поверочная схема, и какие они бывают?
15. Как осуществляется передача информации о размере единицы ФВ?
16. Какие бывают эталоны и в чем их особенности?
17. Что такое метрологическая надежность СИ, и какие понятия она включает?
18. Каков порядок проведения сертификации?
19. Назовите международные организации по метрологии.

Лекция 5

1. Что такое истинное, действительное и измеренное значение физической величины?
2. Что такое погрешность измерения?
3. Какие факторы, влияющие на результаты измерения, необходимо учитывать?
4. Как уменьшить влияние Объекта на результат измерения?
5. Как выбрать метод измерения?
6. В чем состоит влияние СИ на измеряемую величину?
7. По каким условиям можно классифицировать погрешности измерений?
8. Как отличить погрешности методические и инструментальные?
9. Как отличить погрешности статические и динамические?
10. Как отличить погрешности основную и дополнительную?
11. Какие условия считаются нормальными и рабочими?
12. Что такое класс точности прибора? Какие значения он может принимать?
13. Что такое предел основной допускаемой погрешности? Приведите формы аналитического выражения.
14. Что такое промах и что с ним делают?
15. Какие погрешности называют систематические, дрейфовые и случайные?
16. *Задача.* Установлено, что максимальная приведенная погрешность вольтметра не превышает $0,01N\%$ (N здесь и далее – номер студента по списку группы). Какое значение класса точности следует указать в ТО?

Для выбранного класса точности p определить абсолютную погрешность результата измерения в точке $x = 4N$ (В) на пределе измерения $X_K = 100$ В. Оценить относительную и приведенную погрешности результата. Выразить погрешность 2-членной формулой, в которой аддитивная и мультипликативная составляющие равны между собой в точке $x = 4N$ (В) на пределе измерения $X_K = 100$ В. Записать выражение для относительной погрешности результата измерения.

Лекция 6

1. Когда применяется нормальный закон распределения погрешностей?
2. Какова для нормального закона распределения вероятность того, что случайная составляющая погрешности измерения не выходит за пределы интервала $\pm 3\sigma$; $\pm 2,6\sigma$; $\pm 2\sigma$ и $\pm 1,6\sigma$?
3. Когда применяют закон распределения Стьюдента?
4. Как определить случайную погрешность для закона распределения Стьюдента?
5. Когда применяют равномерный закон распределения?
6. Когда применяют треугольный закон распределения (закон Симпсона)?
7. Когда применяют арксинусный закон распределения?
8. Как найти систематическую погрешность для смещенного закона распределения?
9. Что такое квантильные оценки погрешности?
10. Какая доверительная погрешность имеет однозначное соотношение с СКО вне зависимости от вида распределения?
11. Сколько нужно сделать отсчетов при отбрасывании 2-х для $P_D = 0.9$; 0.95 ; 0.99 ?
12. *Задача.* Определить максимальную погрешность, если $\sigma = 0,1N\%$ для законов распределения: равномерный, треугольный, арксинусный и нормальный.

Лекция 7

1. Как и почему при подготовке к измерениям учитывают модель объекта?
2. Как изменяется модель резистора на разных частотах?
3. Как выбирается метод измерений и СИ?
4. Какие факторы следует учитывать при выборе СИ?
5. Что такое диффузность объекта и как она влияет на выбор точности СИ?
6. Что делается для уменьшения систематических погрешностей?
7. Как обнаружить НСП?
8. Что делают для исключения НСП?
9. Что такое МВИ и что она устанавливает?
10. Что должен делать оператор при подготовке к измерениям?
11. Каковы требования к СИ для контроля условий измерений?
12. Назовите этапы и требования к обработке результатов, полученных в процессе измерений.

Лекция 8

1. Какие способы и приемы могут использоваться в процессе эксперимента

- для уменьшения систематических погрешностей?
2. Как приближенно оценивается НСП?
 3. Приведите точную методику оценки НСП.
 4. Как оценить погрешность результата прямого однократного измерения $\Delta = \Delta(P_d)$ для известных значений оценки СКО $S(A)$ и НСП?
 5. Как записывается результат прямого однократного измерения?
 6. Когда погрешность результата измерения равна пределу основной погрешности СИ $\Delta_{СИ}$, определяемой по технической документации?
 7. Когда возникает необходимость многократных измерений и что это дает?
 8. Каким образом многократные измерения позволяют отфильтровать случайную погрешность?
 9. Что такое доверительная вероятность и доверительный интервал?
 10. Каким образом можно исключить промахи из совокупности отсчетов?
 11. Как правильно выбрать коэффициент k при оценке НСП?
 12. Как найти границы случайной суммарной и систематической погрешности (НСП) многократных измерений?
 13. Приведите методику обработки результатов многократных измерений.
 14. Как правильно суммировать погрешности систематические и случайные?
 15. Как оценить погрешность косвенных измерений, если функциональная зависимость представляет собой нелинейную дифференцируемую функцию?
 16. Как оценить суммарные границы $\pm\Delta$ погрешности результата косвенного измерения вычисляя с учетом границы НСП и доверительной границы случайной погрешности?

Лекция 9

1. К какой группе по условиям эксплуатации обычно относят эталоны и меры?
2. Каким образом эталоны воспроизводят основные и производные единицы?
3. Где хранятся государственные эталоны?
4. Какова погрешность эталона единицы длины ранее и сегодня?
5. Какова погрешность эталона единицы времени сегодня?
6. Что содержит Государственный эталон времени и частоты?
7. Что собой представляет Эталон единицы силы электрического тока?
8. Что собой представляет Эталон разности электрических потенциалов (напряжения) и какова его погрешность?
9. Каковы недостатки элемента Вестона?
10. Для чего применяют зенеровские опорные элементы и какова их погрешность?
11. Какую погрешность обеспечивают эталоны на основе эффекта Джозефсона?
12. Что собой представляет Эталон электрического сопротивления?
13. Что собой представляет эталон емкости?
14. Что собой представляют эталоны индуктивности?

15. Что собой представляет эталон затухания?

Лекция 10

1. Назовите «активные» и «пассивные» объекты радиоизмерений.
2. Чем отличаются схемы измерения «активного» и «пассивного» объекта?
3. Чем отличаются схемы «активного» и «пассивного» РИП?
4. Назовите источники погрешностей.
5. Как снизить обратное влияние СИ на измеряемый объект?
6. Какие виды и особенности согласования вам известны?
7. Что такое статическая характеристика прибора?
8. Назовите виды и особенности статических характеристик РИП.
9. Как может быть записана и представлена на графике абсолютная погрешность, если она только аддитивная, только мультипликативная или является суммой?
10. Как может быть записана и представлена на графике относительная погрешность, если она только аддитивная, только мультипликативная или является их суммой?
11. Какие схемы соединения звеньев РИП (модулей) вы знаете и где в каждой из них размещена мера?
12. Как работают мостовые схемы и какие они бывают?
13. Где и почему применяют мостовые методы измерения?
14. Как выглядит формула *относительной* погрешности СИ, если значения аддитивной и суммарной составляющей абсолютной погрешности выразить в долях конечного значения диапазона измерений x_k ?
15. *Задача.* Максимальная приведенная погрешность вольтметра 0,01N%. Выберите класс точности и запишите 2-членной формулой выражение для относительной погрешности результата измерения так, чтобы аддитивная составляющая была в 2 раза больше мультипликативной в точке $X_k=100$ В. Выбрать a и b .

Лекция 11

1. Чем отличаются цифровые приборы от аналоговых, активные (измерители устройств) от пассивных (измерители сигналов)?
2. Что содержит аналоговая и цифровая части прибора?
3. Какой прибор можно назвать «интеллектуальным»?
4. Зачем нужен ЦАП в РИП?
5. Перечислите основные функции МПС в РИП.
6. Приведите примеры обработки данных в ЦИП.
7. Поясните методику коррекции «О», калибровки коэффициента передачи и компенсации нелинейности АХ.
8. Поясните методику уменьшения влияния случайной погрешности.
9. Когда при выборе между жесткой логикой и МП предпочтение отдается МПС?
10. Что ограничивает применение МПС?
11. В каких кодах АЦП представляет аналоговый измерительный сигнал?
12. Каковы преимущества Кодов Фибоначчи?

13. Представьте число $1000-7N$ в десятичной форме.
14. Представьте число $1000-7N$ в двоичной форме.
15. Представьте число $1000-7N$ в двоично-десятичной форме.
16. Представьте число $1000-7N$ в виде кода Фибоначчи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Басаков М.И. Основы стандартизации, метрологии и сертификации: 100 экзаменационных ответов. – Москва – Ростов на Дону: Март, 2003. – 256 с.
2. Винокуров В.И., Каплин С.И., Петелин И.Г. Электрорадиоизмерения. - М.: Высшая школа, 1986. - 351 с.
3. Дворяшин Б.В. Основы метрологии и радиоизмерения. - М: Радио и связь, 1993. - 320 с.
4. Зограф И.А., Новицкий П.Ф. Оценка погрешностей результатов измерений. - Л: Энергоатомиздат, 1991. - 304 с.
5. Клаассен К.Б. Основы измерений. Электронные методы и приборы в измерительной технике. – М: Пост-маркет, 2000. – 352 с.
6. Мейзда Ф. Электронные измерительные приборы и методы измерений: Пер. с англ. - М.: Мир, 1990. - 535 с.
7. ГОСТ Р 8.000-2000. Государственная система обеспечения единства измерений. Основные положения. – М: Издательство стандартов, 2000. – 5 с.

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Владимирский государственный университет
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»
(ВлГУ)

ЛЕКЦИИ
ПО ДИСЦИПЛИНЕ
«Метрология, стандартизация и сертификация»
Раздел
СТАНДАРТИЗАЦИЯ

для специальности среднего профессионального образования
технического профиля
11.02.01 Радиоаппаратостроение

Лекции разработаны в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом по специальности среднего профессионального образования 11.02.01 Радиоаппаратостроение (утверждённым приказом Министерства образования и науки РФ от 14.05.2014 №521)

Разработчик проф. каф. РТ и РС Поздняков А.Д.

ОСНОВЫ СТАНДАРТИЗАЦИИ

Из истории стандартизации

Стандартизация возникла в глубокой древности. Ее ранними проявлениями были письменность, летосчисление, система счета, денежные единицы, единицы мер весов, архитектурные стили, традиции, моральные нормы и т. д.

В Древнем Египте более 5 тысяч лет назад в строительстве использовались кирпичи постоянных размеров. Древние римляне применяли принцип единообразия при прокладке водопроводов — трубы были одного размера, причем отклонение от него каралось строго, вплоть до применения смертной казни. Уже в 16—13 гг. до нашей Эры был описан метод пропорциональных чисел, который применялся при создании водяных колес и катапулт.

Франкский король Карл Великий (768—819 гг.) утвердил основную меру длины — длину своей ступни, так называемый королевский фут.

В Англии в 1324 г. закон установил, что три круглых и сухих ячменных зерна, уложенных по длине, составляют один дюйм, фут состоит из 12 дюймов, ярд — из трех футов. Исходя из этого в 1496 г. был изготовлен основной эталон ярда. Это был латунный стержень восьмигранного сечения.

В средние века с развитием ремесел были установлены единые размеры ширины тканей, количество нитей в основе и даже единые требования к сырью, которое использовалось и ткацком производстве.

В 1846 г. в Германии была унифицирована ширина железнодорожной колеи, в 1869 г. там же был впервые издан справочник, содержащий размеры стандартных профилей катаного железа. Конец многообразию мер и весов в Европе был положен в 1875 г. в Париже, где состоялась Метрическая конвенция 17 государств, которая приняла в качестве единицы измерения длины — метр.

В 1901 г. в Англии был создан Комитет стандартов. Во время первой мировой войны и сразу после нее было основано несколько национальных организаций по стандартизации (в Голландии, Германии, США и других странах). Стимулом к этому послужило усиление милитаризации многих государств, потребовавшее взаимозаменяемости вооружений.

Бурное развитие капитализма с широким международным товарообменом и тесным сотрудничеством в области науки и техники в 20—30-х гг. XX в. привело к основанию Международной ассоциации по стандартизации (ИСА), работа которой была прервана в 1939 году в связи с началом второй мировой войны. После окончания войны в 1946 году в Лондоне была основана Международная организация по стандартизации (ИСО). И настоящее время ИСО является одной из самых крупных международных технических организаций.

В Московском государстве при Иване IV были сделаны первые шаги в области стандартизации - в 1550 г. было положено начало унификации мер в стране — созданы единые образцовые меры.

В начале XIX в. стандартизация в России получила свое развитие в связи с массовым производством стрелкового оружия. Судостроение, развитие железнодорожного транспорта, рост использования электрической энергии и общее развитие промышленности привели к появлению первых стандартов на

прокат, трубы, крепеж и другие изделия. В 1904 г. были установлены стандарты на вагоны и применяемые на железнодорожном транспорте материалы и изделия.

Первым правовым актом, положившим начало стандартизации в СССР, был декрет «О введении международной метрической системы мер и весов» (в дореволюционной РОССИИ применялись одновременно три системы мер — старая русская, дюймовая и метрическая). В 1923 г. был создан Комитет эталонов и стандартов (КЭС), позднее преобразованный в Комитет по стандартизации при Совете Труда и Обороне. В 1932 г. было утверждено и введено в действие 4114 общесоюзных стандартов.

В 1940 г. был организован Всесоюзный комитет стандартов при Совете Народных Комиссаров СССР. С этого времени общесоюзные стандарты стали называться государственными стандартами и обозначаться индексом ГОСТ с добавлением порядкового номера и года утверждения. К началу Великой Отечественной войны в СССР действовало уже более 6000 стандартов, что сыграло большую роль в подготовке и ходе самой войны. За годы войны было принято еще свыше 2000 государственных стандартов.

В 1968 г. в соответствии с Постановлением СМ СССР «Об улучшении работы по стандартизации в стране» от 11 января 1965 г. впервые в мировой практике был разработан и утвержден комплекс государственных стандартов «Государственная система стандартизации» (ГСС). Согласно ГОСТ 1.0—68 были установлены четыре категории стандартов: государственный стандарт Союза ССР (ГОСТ), республиканский стандарт (РСТ), отраслевой стандарт (ОСТ), стандарт предприятия (СТП).

В 1978 г. был образован центральный орган по стандартизации, получивший наименование Государственный комитет СССР по стандартам (Госстандарт). После распада СССР руководство стандартизацией в Российской Федерации осуществляет правопреемник Госстандарта СССР Государственный комитет Российской Федерации по стандартизации и метрологии (Госстандарт России). Деятельность по стандартизации осуществляется в стране и другими федеральными органами исполнительной власти в пределах их компетентности.

Сущность стандартизации

Окружающий нас мир стандартизирован, он состоит из 114 элементов, а все живое на Земле - из белка, который скомбинирован из 22 видов аминокислот.

В мире существует неоправданное разнообразие систем мер и весов. Передовая в техническом отношении страна США до сих пор пользуется старой, дюймовой системой мер. Потери США на международном рынке от применения этой системы составляют порядка 20 млрд. долларов в год. В СССР до введения единой системы конструкторской документации (ЕСКД) использовалось 18 систем чертежного хозяйства. Нетрудно представить себе огромные потери времени и квалифицированного труда на перевод чертежей с «языка» одной системы, используемой проектным институтом, конструкторским бюро, на «язык» другой, применяемой строительной организацией или заводом — изготовителем изделия.

О разной ширине железнодорожной колеи в России и Европе знают все, но только специалисты и предприниматели сталкиваются с большим числом

неувязок, различием российских, европейских и мировых требований к качеству продукции, к упаковке и маркировке ее, методам контроля, оформлению деловой документации многим другим моментам, сопровождающим международную торговлю, контакты с зарубежными деловыми партнерами.

Системный подход к анализу места и роли стандартизации приводит к осознанию двух органически присущих ей основополагающих признаков — способность к *упорядочению* и к *системообразованию*, обеспечивающих сокращение и предупреждение неоправданного разнообразия и совместимость предметов, явлений, процессов, находящихся в связи. Речь идет о совместимости и взаимозаменяемости изделий, о терминах, обеспечивающих взаимопонимание, о совместимости документов, вычислительной техники и т. д. Любая система не может функционировать без стыковки и сопряжения ее элементов.

Упорядочивающее и системообразующее свойства стандартизации находят свое выражение в разработке и установлении норм, правил и требований, обеспечивающих оптимальный уровень качества, безопасность и приемлемую цену продукции, процессов, услуг. Результаты стандартизации оформляются в виде *нормативных документов*, а в некоторых областях деятельности (например, в метрологии) в качестве образцов и эталонов.

Общепринятое определение стандартизации в формулировке Международной организации по стандартизации (ИСО): *«Стандартизация — деятельность, направленная на достижение оптимальной степени упорядочения в определенной области посредством установления положений для всеобщего и многократного использования в отношении реально существующих или потенциальных задач».*

В практическом приложении главную идею стандартизации — упорядочение — можно свести к разработке и внедрению в установленном порядке оптимальных общетехнических норм, конструкторских, технологических решений и организационно-методических правил с целью предупреждения неоправданного многообразия и обеспечения рациональной совместимости повторяющихся или имеющих перспективу повторения объектов народного хозяйства.

Стандартизация как наука

В качестве научной дисциплины стандартизация официально зарегистрирована в нашей стране в 1965 г., под названием «Теория стандартизации». Та или иная сфера познания окружающей действительности признается наукой, если она имеет свои **объект, предмет и метод** исследования.

Народное хозяйство является объектом исследования широкого спектра научных дисциплин, составляющих свыше 12 тысяч наименований. При этом каждая научная дисциплина исследует данный объект с какой-либо определенной стороны, изучает связи и отношения, присущие только ее взгляду на окружающую действительность, т. е. выделяет своей предмет исследования.

Объектом стандартизации является совокупность предметов и процессов, охватываемых всеми сферами народного хозяйства: материальным производством и обслуживанием, управлением и наукой, здравоохранением, просвещением и культурой.

Объектами являются продукция производства технического назначения, товары широкого потребления, технологические процессы, формы и методы организации труда и производства, достоверные справочные данные о свойствах материалов и веществ, требования к оформлению документации, правила транспортирования и хранения продукции, бытовые услуги, подлежащие или подвергшиеся стандартизации.

Многочисленные структуры народного хозяйства крайне зависимы друг от друга, тесно взаимодействуют между собой, оказывая влияние на общий уровень развития. Вместе с тем многономенклатурность предметов, явлений и процессов в современном хозяйстве при всей прогрессивности широкого разнообразия машин, товаров, технологических процессов, форм организации и управления производством являются неоправданными и излишними.

Предметом стандартизации является оптимальное разрешение в народном хозяйстве на базе критериев эффективности и качества двух специфических проблем — проблемы рациональной совместимости и проблемы неоправданного многообразия его структурных составляющих.

Решение проблемы совместимости может быть достигнуто путем выявления действующих во взаимосвязи элементов конкретной системы и последующего установления единой номенклатуры, призванной обеспечить их эффективное и взаимодействие в отраслевом и в межотраслевом аспектах.

Примерами решения проблемы совместимости являются единая терминология, система единицы физических величин и т. д.

Проблема неоправданного многообразия может быть решена путем систематизации многообразия элементов системы и последующего установления рациональной их номенклатуры. Большинство действующих в настоящее время государственных стандартов направлено на оптимальное сокращение и предупреждение нерационального многообразия объектов народного хозяйства.

На практике несовместимость элементов той или иной системы и их неоправданное разнообразие встречаются одновременно, тесно переплетаясь и образуя сложный комплекс работ, который приходится решать специалистам. Этот комплекс работ составляет собой содержание *процесса стандартизации*.

Методы стандартизации

Метод ограничения (симплификации) заключается в отборе из существующего излишнего для данной области применения множества общих по назначению объектов народного хозяйства одного или некоторого числа объектов, способных обеспечить решение того же объема задач, что и заменяемое множество. Эффективность метода проявляется в сокращении расходов финансов за счет уменьшения номенклатуры покупных изделий и материалов.

Метод типизации заключается в разработке для определенной области применения универсального решения с оптимальными параметрами и последующем создании на этой базе с необходимой доработкой документации некоторого числа разновидностей объектов. Эффективность метода носит проявляется в сокращении времени на создание новых объектов, улучшении их качества, уменьшении финансовых затрат.

Метод унификации заключается в разработке рациональной номенклатуры объектов народного хозяйства с оптимальными параметрами, способной обеспечить в определенной области применения решение всего объема задач в соответствии со своим назначением. Уровень унификации изделий можно оценить количественно. Одним из показателей уровня унификации является коэффициент применяемости. Эффективность метода проявляет себя в ускорении новых разработок, сокращении неоправданного числа объектов одного и того же или подобного назначения, их вариантов и типоразмеров, повышении серийности и качества изделий.

Различают — внутриобъектовую (для отдельного объекта) и межобъектовую (для ряда объектов) унификацию, заводскую (для данного предприятия), отраслевую (для данной отрасли народного хозяйства) и межотраслевую (для ряда отраслей) унификацию.

Метод агрегатирования сводится к разработке универсального комплекта структурных составляющих объектов (функциональных узлов, модулей, отдельных деталей), обладающих размерной и функциональной взаимозаменяемостью, для последующего создания путем их комбинирования широкого ряда конкретных объектов.

Идеальной целью такого метода является создание рационального набора стандартных узлов и деталей, из которых путем изменения их соединения как из кубиков можно было бы получить широкий диапазон изделий разнообразного назначения (радиосистем и устройств).

Метод стандартизации заключается в разработке на базе методов унификации, типизации, агрегатирования и ограничения рациональной номенклатуры объектов с оптимальными для *народного хозяйства* параметрами и последующим введением результатов в *норму*, оформляемую в виде стандарта.

Следует подчеркнуть, что разработка стандартов на готовое изделие, технологический процесс и т. п., т.е. на законченные функциональные решения - неоправданна. Экономически и технически выгодным в эпоху научно-технического прогресса стали унификация и типизация на базе *стандартизации их элементов* (функциональных узлов и деталей, параметров и размеров, норм, требований и т. д.).

Эффективным методом предупреждения неоправданного многообразия изделий является выбор *по рядам предпочтительных чисел*, рекомендуемых для применения. В стандартизации нашли применение ряды чисел, построенные по арифметической и геометрической прогрессии. Широко используется разработка параметрических рядов, которые остаются неизменными при конструктивных модификациях и технических усовершенствованиях (ряд номинальных мощностей электрических машин, ряды габаритных длин автобусов и т. д.)

Функции стандартизации

Экономическая функция выражает себя через вклад стандартизации в научно-технический прогресс. С помощью нормативных документов предупреждается неоправданное разнообразие деталей, изделий, материалов, технологических процессов, устанавливается рациональная их номенклатура, определяются оптимальные параметрические и размерные ряды, обеспечивается

высокий уровень взаимозаменяемости, устанавливаются оптимальные качественные характеристики. Все это создает предпосылки для внедрения автоматизации производственных процессов, снижения себестоимости изделий, экономии материальных ресурсов, увеличения прибыли.

Поскольку стандартизация предусматривает повышение уровня качества продукции, создаются условия для наиболее полного удовлетворения требований потребителя, снижении затрат на эксплуатацию и ремонт.

Информационная функция стандартизации проявляется себя через создание нормативных документов (стандартов, технических условий), классификаторов и каталогов продукции, эталонов мер, образцов продукции, являющихся носителями ценной технической и экономической информации для потребителя. Ссылка, например, на стандарт при сертификации продукции или услуги является удобной и экономичной формой информации о качестве товара, услуги.

Социальная функция стандартизации проявляется себя через включение в нормативные документы и достижение в производстве таких показателей качества продукции и услуг, которые содействовали бы здравоохранению, отвечали бы санитарно-гигиеническим нормам, требованиям безопасности в использовании и возможности экологичной утилизации отходов.

Коммуникативная функция выражает себя через достижение взаимопонимания в обществе путем обмена информацией. Этому служат стандартизованные термины, трактовки понятий, символы, единые правила оформления деловой, конструкторской и технологической документации и т. п. Эта функция содействует преодолению барьеров в торговле, обеспечивает сотрудничество в научной деятельности, в экономике и управлении.

Правовые основы стандартизации

Правовые основы стандартизации в России обеспечиваются Законом Российской Федерации от 10 июня 1993 г. № 5154-1 «О стандартизации».

Закон действует во взаимосвязи с рядом других законодательных актов РФ, таких как Законы «Об обеспечении единства измерения», «О сертификации продукции и услуг», «О защите прав потребителей», а также указами Президента и нормативными актами Правительства РФ во исполнение Закона РФ «О стандартизации», рядом подзаконных актов, приказами и постановлениями Госстандарта России.

Закон «О стандартизации» обязателен для всех государственных органов управления, а также предприятий и предпринимателей, общественных объединений, и определяет меры государственной защиты интересов потребителей и государства посредством разработки и применения нормативных документов по стандартизации. Закон определяет стандартизацию как *деятельность, направленную на определение норм, правил, требований характеристик, которые должны обеспечивать безопасность продукции, работ и услуг, их техническую и информационную совместимость, взаимозаменяемость, качество продукции (услуг) в соответствии с достижениями научно-технического прогресса.*

Закон «О стандартизации» регламентирует:

— организацию работ по стандартизации в РФ;

- международное сотрудничество в области стандартизации;
- применение нормативных документов по стандартизации обеспечение работ по стандартизации, издание и реализацию нормативных документов;
- порядок проведения государственного контроля и соблюдением обязательных требований Государственных стандартов;
- ответственность за нарушение положений Закона;
- финансирование работ по государственной стандартизации, государственному контролю и надзору;
- экономическое стимулирование применения государственных стандартов.

Цели стандартизации

Стандартизация как практическая деятельность направлена на определение норм, правил, требований, характеристик, которые должны обеспечивать достижение следующих целей:

- безопасность продукции, работ и услуг для окружающей среды, имущества людей, их жизни и здоровья;
- техническую и информационную совместимость, взаимозаменяемость и качество продукции (услуг) в соответствии с достижениями научно-технического прогресса;
- оборонеспособность и мобилизационную готовность страны;
- безопасность хозяйственных объектов в чрезвычайных обстоятельствах;
- единство измерений;
- экономии всех видов ресурсов.

Перечисленные цели стандартизации полностью соответствуют целям стандартизации в развитых в техническом и экономическом отношении странах мира.

Обеспечение научно-технического уровня стандартов

Научно-технический уровень стандартов характеризуется степенью соответствия установленных в них требований достижениям научно-технического прогресса.

Мероприятия по повышению научно-технического уровня стандартов являются неотъемлемой частью Государственной системы стандартизации. Систему мероприятий, базирующуюся на решении теоретических, методологических и организационных вопросов, можно выделить в следующие три группы:

Первая группа включает мероприятия по программированию государственной стандартизации важнейших объектов народного хозяйства с включением научных исследований и экспериментальных работ, проведению научной экспертизы проектов стандартов, дальнейшей их разработке и внедрению.

Вторая группа мероприятий направлена на обеспечение научно-технического уровня стандартов на всех этапах их прохождения, начиная с разработки технического задания и до утверждения и внедрения. Значительная роль в обеспечении соответствующего уровня стандартов на завершающей стадии их разработки принадлежит научно-технической, экономической, правовой и, в

определенных случаях, технологической экспертизе. Организация - разработчик несет всю полноту ответственности за научно-технический уровень разработанных стандартов, организация-эксперт отвечает за научно-технический уровень стандартов.

Третья группа мероприятий направлена на обеспечение разработчиков стандартов и экспертов необходимой информацией о действующих международных, зарубежных и национальных стандартах передовых в техническом отношении стран и данными об уровне качества продукции, выпускаемой за рубежом, на всех этапах разработки, согласования и экспертизы стандартов.

Комплексная стандартизация

Комплекс стандартов - это совокупность взаимоувязанных стандартов, объединенных общей целевой направленностью и устанавливающих требования к взаимоувязанным объектам стандартизации.

Дело в том, что при широких международных связях и серийном производстве сложных изделий их качество можно обеспечить только при едином «сквозном» (согласованном) подходе к установлению оптимальных с точки зрения конечного результата требований к сырью, материалам, полуфабрикатам, покупным изделиям, из которых создаются данные изделия.

Комплексная стандартизация сложных объектов включает оптимизацию методов разработки (проектирования, конструирования) изделия, методов подготовки и организации производства, совершенствования технологии. Необходимо увязать сроки подготовки комплекса соответствующих нормативных документов (стандартов, технических условий и т. д.) и своевременно ввести их в действие.

Решающим критерием выбора объектов комплексной стандартизации и одновременно очередности их стандартизации является экономически оптимальный уровень качества будущего изделия.

Использование межотраслевых, общих для народного хозяйства систем стандартов обеспечивает экономичность, высокое качество продукции (работ, услуг) и эффективность труда инженерного и управленческого труда. Дальнейшее развитие теоретических и методических основ комплексной стандартизации будет способствовать более широкому внедрению их в практику создания важнейших для народного хозяйства видов перспективной продукции.

Опережающая стандартизация

Суть опережающей стандартизации — в установлении новейших по отношению к уже достигнутому на практике уровню норм, требований к объектам стандартизации, которые согласно прогнозам будут оптимальными в последующее время.

Опережающая стандартизация проявится как путем разработки отдельных стандартов, так и комплексов, устанавливающих *перспективные требования* к подлежащим разработке новым системам машин, оборудования и важнейшим видам продукции (или ее новым поколениям), их комплектующим узлам, материалам, методам контроля, а также показателям, определяющим технический

уровень и качество как выпускаемой продукции, так и подлежащей разработке и освоению продукции в будущем.

Выбор объектов опережающей стандартизации осуществляется на основе целевого подхода. Опережающая стандартизация проводится одновременно с проведением научных исследований.

Научно-техническую основу опережающей стандартизации составляют:

- достижения прикладных научных исследований, открытия и изобретения, подлежащие реализации;
- методы оптимизации параметров объектов стандартизации;
- методы прогнозирования технического прогресса и роста потребностей народного хозяйства и населения страны.

Эффективность работ по стандартизации

Под эффективностью работ по стандартизации следует понимать соотношение общественного (народнохозяйственного) эффекта использования результатов работ по стандартизации в народном хозяйстве и затрат, связанных с их подготовкой и применением.

Эффективность работ по стандартизации выражается в следующих основных ее видах:

- экономическая эффективность;
- техническая и (или) информационная эффективность;
- социальная эффективность.

Под *экономической эффективностью* стандартизации понимают выраженную в денежном или натуральном показателях экономию живого и овеществленного труда в общественном производстве в результате внедрения стандарта с учетом необходимых затрат.

Техническая эффективность работ по стандартизации может выражаться в относительных показателях, например, в росте уровня безопасности, снижении материалов или энергоемкости производства, повышении ресурса, надежности изделий и т. п.

Информационная эффективность работ ПО стандартизации выражается в достижении необходимого для общества взаимопонимания, единства восприятия информации, например, стандартов.

Социальная эффективность работ по стандартизации выражается в положительном влиянии результатов внедрения стандарта (комплекса стандартов) на уровне жизни и здоровья населения, улучшении социально-психологического климата в коллективах и т. п. Социальный эффект, как правило, расчету в денежном выражении не поддается.

Лекция: СИСТЕМА СТАНДАРТИЗАЦИИ В РОССИИ

Управление стандартизацией в Российской Федерации

Управление деятельностью по стандартизации в России осуществляет *Государственный Комитет Российской Федерации по стандартизации и метрологии* (Госстандарт России) и органы стандартизации министерств, ведомств и субъектов хозяйственной деятельности.

В число важнейших функций Госстандарта России в области стандартизации входят следующие:

—осуществление роли заказчика и участие в разработке государственных стандартов, устанавливающих основополагающие, общетехнические и обязательные требования;

—рассмотрение, принятие и регистрация государственных стандартов, а также других нормативных документов межотраслевого значения;

—гармонизация отечественных стандартов с международными стандартами и организация работы по прямому использованию международных стандартов в качестве государственных стандартов РФ;

—осуществление руководства и участие в работах по совершенствованию систем стандартизации, метрологии и сертификации в стране;

—обеспечение единства и достоверности измерений в стране, укрепление и развитие государственной метрологической службы;

—проведение государственного надзора за состоянием и применением измерительной техники;

—участие в работах по международному сотрудничеству в области стандартизации;

—издание и распространение государственных стандартов и другой нормативной документации, информационное обеспечение работ по стандартизации, метрологии, сертификации.

В систему Госстандарта России входит порядка 150 организаций и предприятий, в том числе:

- научные организации, включая государственные научные центры в области метрологии;
- промышленные предприятия по производству средств измерений высших классов точности;
- более 100 территориальных органов (центров) стандартизации, метрологии, сертификации (ЦСМиС во всех промышленных регионах России);
- Академия стандартизации, метрологии, сертификации и другие учебные заведения по метрологии;
- издательский комплекс «Издательство стандартов».

К научно-исследовательским институтам Госстандарта относятся:

- НИИ стандартизации (ВНИИСтандарт) — головной институт в области Государственной системы стандартизации;
- ВНИИ сертификации продукции (ВНИИС) — головной институт в области сертификации продукции (услуг) и систем управления качеством продукции (услуг);

- ВНИИ по нормализации в машиностроении (ВНИИНМАШ) и др.

В число органов и служб министерств, ведомств и многочисленных субъектов хозяйственной деятельности входят:

—Управление технического нормирования, стандартизации и сертификации Госстроя России;

—подразделения стандартизации, сертификации, метрологии федеральных министерств и ведомств РФ;

—технические комитеты (ТК) по стандартизации, создаваемые на добровольной основе заинтересованными сторонами (предприятиями и организациями);

—подразделения стандартизации (отделы, бюро, группы), создаваемые субъектами хозяйственной деятельности (предприятиями и организациями).

Подразделения стандартизации, метрологии, сертификации федеральных министерств и других органов государственного управления организуют, координируют и участвуют в работах по стандартизации на подведомственных предприятиях и в организациях, выделяя из них *головные организации по стандартизации* по определенным направлениям деятельности.

Технические комитеты (ТК) создаются для организации и проведения работ по стандартизации определенных видов продукции, технологии или видов деятельности, а также проведения по указанным объектам работ по международной и региональной стандартизации. К работе в ТК привлекаются представители заинтересованных сторон: предприятий и организаций, разработчиков и изготовителей продукции, органов и организаций по стандартизации, метрологии, сертификации, общественных организаций потребителей, научно-технических и инженерных обществ, а также ведущие ученые и специалисты.

ТК по стандартизации создаются на базе предприятий, организаций, специализирующихся по определенным видам продукции и технологии или видам деятельности и обладающих в данной области наиболее высоким научно-техническим потенциалом, в том числе на базе организаций Госстандарта России.

На территории России в настоящее время функционируют сотни ТК по стандартизации, при этом многие из них одновременно обладают статусом межгосударственных технических комитетов (МТК) за счет включения в их состав уполномоченных представителей национальных органов по стандартизации стран — членов СНГ.

Подразделения стандартизации предприятий, организаций (научно-исследовательский отдел, конструкторско-технологический отдел, лаборатория, бюро) выполняют работы по стандартизации, а также осуществляют организационно-методическое и научно-техническое руководство работами, выполняют нормоконтроль разрабатываемой на предприятии технической документации.

Государственная система стандартизации в России

В Российской Федерации действует Государственная система стандартизации (ГСС РФ), представляющая собой комплекс взаимосвязанных

стандартов, определяющих основные стороны практической деятельности по стандартизации в масштабе страны.

Основополагающим стандартом ГСС РФ является ГОСТ Р 1.0—92. Именно в нем даются определения основных понятий в области стандартизации, излагаются цели и задачи стандартизации, приводятся категории стандартов и объекты стандартизации. ГСС РФ непрерывно совершенствуется и дополняется.

Основные принципы стандартизации

При разработке стандартов необходимо обеспечивать: соответствие требований стандартов нормам законодательства; комплексность стандартизации взаимосвязанных объектов; оптимальность требований, включаемых в стандарты.

Организация работ по стандартизации согласно ГСС РФ должна базироваться на следующих ОСНОВНЫХ принципах:

—целесообразность разработки стандарта следует оценивать с точки зрения его социальной, технической и экономической необходимости;

—стандарты следует разрабатывать такими, чтобы они не создавали препятствий международной торговле;

—в стандартах должна своевременно проводиться замена устаревших требований;

—следует избегать дублирования разработки стандартов на идентичные объекты стандартизации на различных уровнях управления;

—стандарты должны устанавливать требования к основным свойствам объекта стандартизации, которые могут быть объективно проверены;

—стандарты должны быть изложены четко и ясно для того, чтобы обеспечить однозначность понимания их требований.

Задачи стандартизации согласно ГСС РФ

ГСС РФ предусматривает решение основных задач:

- обеспечение взаимопонимания между разработчиками, изготовителями, продавцами и потребителями (заказчиками) продукции и услуг;
- установление оптимальных требований к номенклатуре и качеству продукции и услуг в интересах потребителя и государства, в том числе обеспечивающих безопасность для окружающей среды, жизни, здоровья и имущества;
- установление требований по совместимости (конструктивной, электрической, электромагнитной, информационной, программной и др.), а также взаимозаменяемости продукции;
- согласование и увязка показателей и характеристик продукции, ее элементов, комплектующих изделий, сырья и материалов;
- унификация на основе установления и применения параметрических и типоразмерных рядов, базовых конструкций, конструктивно-унифицированных блочно-модульных составных частей изделий;
- установление метрологических норм, правил, положений и требований;
- нормативно-техническое обеспечение контроля (испытаний, анализа, измерений), сертификации и оценки качества продукции;
- установление требований к технологическим процессам, в том числе для снижения материалоемкости, энергоемкости и трудоемкости, для обеспечения применения малоотходных технологий;

- создание и ведение систем классификации и кодирования технико-экономической информации;
- нормативное обеспечение межгосударственных и государственных социально-экономических и научно-технических программ (проектов) и инфраструктурных комплексов (транспорт, связь, оборона, охрана окружающей среды, контроль среды обитания, безопасность населения и т. д.);
- создание системы каталогизации для обеспечения потребителей информацией о номенклатуре и основных показателях продукции;
- содействие выполнению законодательства Российской Федерации методами и средствами стандартизации.

Категории нормативных документов стандартизации

Нормативный документ по стандартизации — это документы, устанавливающие правила, принципы, нормы, характеристики, касающиеся объектов стандартизации, различных видов деятельности или их результатов, и доступный любому у кругу пользователей.

К нормативным документам относятся стандарты, технические регламенты, общероссийские классификаторы технико-экономической информации, а также нормы, правила и рекомендации по стандартизации. Иногда к нормативным документам относятся технические условия.

Наиболее массовым нормативным документом по стандартизации является стандарт.

Стандарт — это нормативный документ, разработанный на основе согласия, характеризующегося отсутствием возражений по существенным вопросам у большинства заинтересованных сторон, принятый признанным органом (организацией, предприятием). Стандарты основываются на обобщенных результатах науки, техники и практического опыта и направлены на достижение оптимальной пользы для общества.

В зависимости от объекта стандартизации и уровня утверждения (принятия) документа *стандарты различаются по категориям*: международный, региональный, государственный стандарт РФ (ГОСТ Р), межгосударственный (ГОСТ), стандарт отрасли (ОСТ), стандарт научно-технического или инженерного общества (СТО), стандарт предприятия (СТП).

Международный стандарт — стандарт, принятый какой-либо международной (всемирной) организацией по стандартизации. Такими общепризнанными организациями являются неправительственные организации ИСО (ISO) и МЭК (IEC). Статус стандартов, принятых ИСО и МЭК, — рекомендательный, добровольный.

Региональный международный стандарт — стандарт, принятый международной межправительственной, региональной организацией по стандартизации. Такими стандартами в Европе являются стандарты CEN Европейского комитета по стандартам, ENSI Европейского института телекоммуникационных стандартов и др. Статус подобных стандартов для стран, входящих в региональные объединения (например, ЕС), — обязательный.

ГОСТ — *государственные стандарты бывшего СССР*, действующие в качестве межгосударственных стандартов для стран — бывших республик,

входивших в свое время в состав СССР. Применяются без переоформления по постановлениям национальных комитетов по стандартизации. ГОСТ по существу является международным стандартом регионального характера.

ГОСТ Р — *стандарт, принимаемый Госстандартом России*. К объектам ГОСТ Р относятся организационно-методические и общетехнические объекты, продукция, работы, и услуги, имеющие межотраслевое, общенародное хозяйственное значение.

ОСТ — *отраслевые стандарты*, устанавливаются на аналогичные с ГОСТ Р и ГОСТ объекты, однако имеющие сугубо отраслевое значение. ОСТ применяют предприятия и организации, подведомственные соответствующему федеральному органу исполнительной власти, утвердившему отраслевой стандарт, и все прочие предприятия и организации, применяющие (потребляющие) продукцию данной отрасли. Отраслевые стандарты могут устанавливать ограничения ГОСТ и ГОСТ Р в части номенклатуры, типов размеров, требований, не снижая при этом качества показателей, установленных стандартами. Такие стандарты называют разрешительными.

Фонд отраслевых стандартов составляет около 40 тыс. наименований.

СТО — *стандарты научно-технических, инженерных обществ и других общественных объединений*. Объектами СТО являются новые оригинальные виды продукции и услуг, испытаний, технологии, новые принципы организации и управления производством и т. п.

СТП — *стандарты предприятий, организаций*. Разрабатываются и принимаются самим предприятием. Объектами стандартизации на предприятии могут быть детали, узлы и агрегаты изготавливаемых (разрабатываемых) изделий, нормы и правила в области организации и управления производством, нормы для разработки продукции предприятия и методы расчета, технологические нормы и требования, типовые технологические процессы, оснастка и инструмент и могут устанавливать ограничения ГОСТ, ГОСТ Р, ОСТ без ухудшения показателей качества соответствующей продукцией или услуги.

СТП обязателен, для предприятия, принявшего этот стандарт. Но если в договоре на разработку, производство, поставку продукции или предоставление услуг имеется ссылка на стандарт предприятия, то он становится обязательным для всех субъектов хозяйственной деятельности — участников договора.

Относительно новым для российской стандартизации является введение в перечень нормативных документов технического регламента. Технический регламент содержит технические требования или непосредственно, или путем ссылки на стандарт, либо путем включения в себя содержания стандарта.

К техническим регламентам следует относить:

- законодательные акты и постановления Правительства РФ, содержащие требования, нормы и правила технического характера;
- государственные стандарты РФ в части устанавливаемых в них обязательных требований;
- нормы и правила федеральных органов исполнительной власти, в компетенцию которых в соответствии с законодательством РФ входит установление обязательных требований.

К нормативным документам относятся также *общероссийские классификаторы технико-экономической информации* (ОКТЭИ).

ОКТЭИ — это систематизированные своды объектов классификации, содержащие их условные цифровые коды и наименования, например, Общероссийские классификатор продукции (ОКП); предприятий и организаций (ОКПО); управленческой документации (ОКУД) и др.

Правила по стандартизации (ПР) — нормативный документ по стандартизации, принимаемый Госстандартом. ПР разрабатывается на конкретные производственные процессы и их элементы, связанные с решением задач организации и управления работами по стандартизации, метрологии, сертификации, аккредитации, лицензированию, государственному контролю и надзору за соблюдением обязательных требований технических регламентов, государственных и межгосударственных стандартов.

Если ПР прошли регистрацию в Министерстве юстиции России, то требования, содержащиеся в них, являются обязательными.

Другие нормативные документы:

Рекомендации (Р) — нормативный документ, содержащий добровольные для применения организационно-технические и (или) общетехнические положения, правила и методы выполнения работ.

Технические условия (ТУ) — документ, разрабатываемый предприятиями и организациями в том случае, когда стандарт создавать нецелесообразно. Объектом ТУ может быть пробная продукция или продукция разовой поставки, выпускаемая небольшой партией, а также произведения художественных промыслов и т. п.

В соответствии с Законом «О стандартизации» ТУ отнесены к техническим, а не нормативным документам. В то же время установлено, что ТУ рассматриваются как нормативные документы, если на них есть ссылка в контрактах или договорах на поставку продукции. ТУ разрабатывают в соответствии с ГОСТ 2.114—95 «Единая система конструкторской документации. Технические условия». Фонд ТУ насчитывает около 150 тыс. наименований.

Виды стандартов, применяемых в Российской Федерации

ГСС РФ устанавливает следующие виды стандартов:

- основополагающие стандарты;
- стандарты на продукцию и услуги;
- стандарты на работу (процессы);
- стандарты на методы контроля (испытаний, измерений, анализа).

Основополагающие стандарты разрабатываются в целях обеспечения взаимопонимания, единства подходов и взаимосвязи деятельности науки, техники и производства. Основополагающие стандарты устанавливают также принципы, требования, правила и нормы, которые рассматриваются в качестве общих и должны содействовать решению общих целей, как для науки, так и для производства.

Основополагающие стандарты могут устанавливать научно-техническую терминологию, широко используемую в науке, технике, производстве, например, терминологию по технической эстетике, эргономике, требования и нормы по

техническому обеспечению технологических процессов (предпочтительные числа, классы точности и т. п.).

Стандарты на продукцию (услуги) устанавливают требования либо к конкретному виду продукции (услуге), либо к группам однородной продукции (услуг). Применяются две разновидности этого вида стандартов:

—стандарты общих технических условий, которые содержат общие требования к группам однородной продукции (услуг);

—стандарты технических условий, содержащие требования к конкретной продукции (услуге).

Стандарт общих технических условий включает следующие разделы: классификацию, основные параметры, общие требования к параметрам качества; требования безопасности; требования охраны окружающей среды; правила приемки продукции; методы контроля транспортирования и хранения.

Стандарт технических условий устанавливает требования, касающиеся, поставки, эксплуатации, ремонта, утилизации. Эти требования не должны противоречить стандарту общих технических условий.

Стандарты на работы (процессы) устанавливают требования к конкретным видам работ, которые осуществляются на разных стадиях жизненного цикла продукции: разработки, производства, эксплуатации (потребления), хранения, транспортировки, ремонта, утилизации в целях их технического единства и оптимальности решений. Стандарты на работы (процессы) должны содержать требования опасности для жизни и здоровья населения и охраны окружающей природной среды при проведении технологических операций.

Стандарты на методы контроля (испытания, измерений, анализа) предназначены для обеспечения всесторонней проверки всех обязательных требований к качеству продукции (услуги). Устанавливаемые в стандартах методы контроля должны быть точными, объективными и обеспечивать воспроизводимые и сопоставимые результаты.

Состав и обязательность требований нормативных документов

Нормативные документы могут содержать *обязательные* требования, подлежащие безусловному исполнению в соответствии с законодательством РФ и *добровольные* (альтернативные) требования и положения.

В числе обязательных требований стандарты содержат:

—требования к продукции, работам и услугам по их безопасности для окружающей среды, жизни, здоровья и имущества, требования пожарной безопасности, требования техники безопасности и производственной санитарии;

—требования по технической и информационной совместимости, а также взаимозаменяемости продукции;

—основные потребительские (эксплуатационные) характеристики продукции, методы их контроля, требования к упаковке, маркировке, транспортированию, хранению, применению и утилизации продукции;

—правила и нормы, обеспечивающие техническое и информационное единство при разработке, производстве, использовании (эксплуатации) продукции, выполнении работ и оказании услуг, в том числе правила оформления

технической документации, общие правила обеспечения качества продукции, работ и услуг, сохранения и рационального использования всех видов ресурсов, термины и их определения, условные обозначения, метрологические и другие общетехнические и организационно-технические правила и нормы.

К добровольным относятся требования, характеризующие потребительные и иные свойства продукции и услуг, не оговоренные обязательными требованиями стандартов. Выполнение добровольных требований изготовитель определяют самостоятельно при заключении договора на разработку и поставку продукции.

За несоблюдение обязательных требований стандартов юридические и физические лица, органы государственного управления согласно Закону РФ «О стандартизации» несут административную, гражданско-правовую или уголовную ответственность.

Нарушение должностными лицами или гражданами, которые зарегистрированы как индивидуальные предприниматели обязательных требований государственных стандартов при реализации, эксплуатации, транспортировке и хранении продукции влечет наложение штрафа. Штраф также предусмотрен за уклонение юридических и физических лиц от предъявления продукции, а также сведений о ней и соответствующей документации органам госнадзора.

Нарушение обязательных требований государственных стандартов субъектами хозяйственной деятельности выявляется службами государственного надзора и контроля, входящими в качестве самостоятельных структур в состав Госстандарта России.

Порядок разработки и изменения государственных стандартов

Создание стандарта от планирования его разработки до издания осуществляется в определенной последовательности, которая предусматривает, как правило, следующие стадии (ГОСТ Р 1.2-92):

- 1-я стадия — составление технического задания на разработку;
- 2-я стадия — разработка проекта стандарта;
- 3-я стадия — разработка окончательной реакции проекта стандарта и представление его в Госстандарт России;
- 4-я стадия — принятие и государственная регистрация стандарта;
- 5-я стадия — издание стандарта.

Государственный стандарт в процессе его применения может подвергаться проверке, в необходимых случаях в него вносят изменения, стандарт может быть пересмотрен или даже отменен в связи с прекращением выпуска продукции.

Изменения к стандарту составляют при замене, дополнении или исключении отдельных требований стандарта. Изменения к стандарту зачастую разрабатывают с целью введения новых, более прогрессивных требований.

Пересмотр стандарта означает замену его новым стандартом. В новом стандарте при этом указывают, взамен какого стандарта он вводится, обозначение стандарта при этом сохраняется с заменой цифр года принятия (утверждения) стандарта.

Комплексные системы стандартов

Межотраслевые комплексные системы стандартов можно разделить на три группы:

- система стандартов по организации труда, производства и управления;
- система стандартов, обеспечивающих качество продукции (работ, услуг);
- системы стандартов социальной сферы.

Как правило, обозначение стандартов той или иной комплексной системы в регистрационном номере содержит цифровой шифр (цифры с точкой), который характеризует принадлежность стандарта данной системе.

В Российской Федерации функционируют следующие важнейшие межотраслевые системы стандартов:

- Государственная система стандартизации (ГСС), шифр 1;
- Единая система конструкторской документации, шифр 2;
- Единая система технологической документации, шифр 3;
- Унифицированная система документации, шифр 6;
- Система информационно-библиографической документации, шифр 7;
- Государственная система обеспечения единства, шифр 8;
- Система стандартов безопасности труда, шифр 12;
- Единая система технологической подготовки и производства (ЕСТПП), шифр 14;
- Единая система программных документов, Шифр 19;
- Система простой документации по строительству, шифр 21;
- Система сертификации ГОСТ Р, шифр 40;

Единая система классификации и кодирования технико-экономической и социальной информации представлена в виде общероссийских классификаторов продукции (насчитывается 98 наименований):

- ОКПО — Классификатор предприятий и организаций;
- ОКУД — Классификатор управленческой документации;
- ОКПДТР — Классификатор профессий рабочих, должностей служащих и тарифных разрядов;
- ОКДП — Классификатор видов экономической деятельности, продукции и услуг;
- ОКИН — Классификатор информации о населении и др.

Внедрение стандартов на предприятиях и в организациях

Внедрение стандартов — это осуществление комплекса мероприятий по обеспечению выполнения требований, установленных стандартом в соответствии с областью его применения и сферой действия.

Дата введения стандарта в действие, с которой стандарт приобретает юридическую силу, устанавливается при его утверждении. Утвержденный стандарт допускается применять до установленной даты введения его в действие.

Внедрение стандарта осуществляется на всех стадиях жизненного цикла продукции (услуги).

На стадии разработки стандарт внедряется создателями (проектировщиками, конструкторами, технологами и др.) продукции через применение его в разрабатываемой технической документации. На стадии изготовления и потребления (использования) продукции стандарт внедряется при ее модернизации или ремонте.

Внедрение стандарта осуществляется в соответствии с планом организационно-технических мероприятий, в котором указываются объем работ, источники финансирования, исполнитель и сроки выполнения.

Внедрение стандартов на предприятиях и в организациях осуществляется на основе приказа или распоряжения с приложением плана организационно-технических мероприятий.

Стандарт считается внедренным, если установленные им нормы, требования, показатели применяются в соответствии со сферой его распространения.

Контроль за соблюдением требований стандартов на стадии разработки изделий осуществляют службы стандартизации предприятий и организаций. На стадии изготовления постоянный контроль осуществляется ОТК в порядке приемно-сдаточных испытаний продукции.

Информационное обеспечение деятельности по стандартизации

В соответствии с Законом «О стандартизации» ведущую роль по информационному обеспечению деятельности по стандартизации в стране осуществляет Госстандарт России. Он организует публикацию официальной информации о государственных стандартах России, о международных и национальных нормативных документах, о нормах, правилах и рекомендациях по стандартизации.

Госстандарт России ведет Федеральный информационный фонд стандартов, общероссийских классификаторов технико-экономической и социальной информации.

В систему Госстандарта России наряду с другими научно-исследовательскими организациями входит головной институт в области информационного обеспечения работ по стандартизации — Всероссийский научно-исследовательский институт классификации и информации по стандартизации и качеству (ВНИИКИ РФ), который ведет фонд российских и международных стандартов, имеет соответствующие автоматизированные банки данных.

Кроме ВНИИКИ при Госстандарте России создан Информационный комитет по стандартизации, метрологии и сертификации (ИНФКОС), задача которого — методическое и практическое руководство работами по информационному обеспечению.

Информацию о действующих государственных стандартах, изменениях к ним предприятия и организации получают через годовые и ежемесячные информационные указатели «Государственные стандарты Российской Федерации», которые они получают по подписке.

Государственный контроль и надзор за соблюдением требований государственных стандартов

Государственный контроль и надзор за соблюдением субъектами хозяйственной деятельности обязательных требований государственных стандартов осуществляется в соответствии с Законом Российской Федерации «О стандартизации». Главными являются требования безопасности: продукции, работ и услуг для окружающей среды, жизни, здоровья и имущества людей, а также иные требования, установленными законодательством Российской Федерации.

По содержанию контроль и надзор идентичны. Различие заключается в полномочиях субъектов, их осуществляющих. В отличие от контроля надзор осуществляется в отношении объектов, не находящихся в ведомственном подчинении органам, которые его осуществляют.

Органами, осуществляющими государственный контроль и надзор за соблюдением обязательных требований государственных стандартов, являются Госстандарт России, иные специально уполномоченные государственные органы управления в пределах их компетенции (комитеты, инспекции по вопросам экологии, атомной энергетики, торговли, охраны труда и т. п.).

Госстандарт России и специализированные органы контроля вправе создавать свои территориальные органы в республиках в составе Российской Федерации, краях, областях, автономной области, автономных округах, городах.

От имени Госстандарта России непосредственное осуществление государственного контроля и надзора проводится:

—главным государственным инспектором РФ по надзору за государственными стандартами;

—главными государственными инспекторами республик в составе РФ, краев, автономных областей, округов, городов по надзору за государственными стандартами;

—государственными инспекторами по надзору за государственными стандартами.

В случае выявления нарушений обязательных требований государственных стандартов составляется акт проверки установленной формы, который является основанием для выдачи предписаний и вынесения постановлений о наложении штрафов.

Государственные инспекторы в случае невыполнения выданных ими предписаний и постановлений субъектами хозяйственной деятельности направляют необходимые материалы в арбитражный суд, органы прокуратуры или суд для принятия мер, установленных законодательством Российской Федерации.

Государственные инспекторы при осуществлении возложенных на них обязанностей должны защищать интересы потребителей, субъектов хозяйственной деятельности и государства, руководствуясь законодательством.

Международное сотрудничество России в области стандартизации

Главной целью международного сотрудничества является согласование, увязка национальных стандартов с международными, региональными и прогрессивными национальными стандартами зарубежных стран в целях повышения научно-технического уровня российских стандартов, качества отечественной продукции и ее конкурентоспособности на мировом рынке.

Международное сотрудничество осуществляется по линии международных и региональных организаций по стандартизации. Более 400 международных организаций в той или иной мере занимаются вопросами стандартизации. Наиболее представительной из них является *международная организация по стандартизации* (ИСО), которая была создана в 1940 г. по решению ООН.

В уставе ИСО записано, что «целью организации является содействие развитию стандартизации в мировом масштабе для облегчения международного товарообмена и взаимопомощи, а также для расширения сотрудничества в области интеллектуальной, научной, технической и экономической деятельности».

Органами ИСО являются: Генеральная Ассамблея, Совет, комитеты Совета, технические комитеты (ТК) и Центральный секретариат. Российскую Федерацию в ИСО представляет Госстандарт России.

Основным видом деятельности ИСО является Разработка международных стандартов, поэтому главным структурным подразделением — рабочими организации являются технические комитеты подкомитеты, рабочие группы.

Среди других международных и региональных организаций по стандартизации следует, назвав МОЗМ, МЭК, ЕОК, СЕН, СЕНЭЛЕК.

МОЗМ — Международная организация законодательной метрологии. Цель деятельности — согласование работы национальных метрологических служб, направленное на обеспечение сопоставимости, правильности и точности результатов измерений.

МЭК — Международная электротехническая комиссия. Цель деятельности — содействие международному сотрудничеству по стандартизации и смежным с ней проблемам в области электротехники и радиотехники путем разработки международных стандартов и других документов. МЭК является автономной организацией в составе ИСО.

ЕОК — Европейская организация по качеству. Цель деятельности — содействие, распространение, совершенствование с помощью всех возможных средств применения практических методов и теоретических принципов управления качеством, в целях повышения качества и надежности продукции и услуг.

СЕН — Европейский комитет по стандартизации. Цель деятельности — устранение в рамках ЕС так называемых технических барьеров, связанных с различием национальных стандартов на изделия, противоречивыми правилами по их эксплуатации, с отличающимися нормами по технике безопасности, охране здоровья и природы.

СЕНЭЛЕК — европейская организация по стандартизации, основной целью которой является разработка стандартов на электротехническую продукцию. Стандарты СЕНЭЛЕК рассматриваются как необходимое средство для создания единого европейского рынка.

Следует отметить, что *международные стандарты не являются обязательными*, каждая страна вправе применять их целиком, отдельными разделами или вообще не применять.

Сотрудничество по стандартизации в рамках СНГ

В марте 1992 г. представители СНГ подписали Соглашение о проведении единой политики в области стандартизации, метрологии и сертификации. Был создан Межгосударственный Совет стран — участниц СНГ (МГС), в котором представлены все национальные организации по стандартизации, метрологии и сертификации этих государств. МГС обладает правом принятия межгосударственных стандартов (ГОСТ).

Принимаемые Советом решения обязательны для государств, представители которых вошли в МГС. Основной рабочий орган МГС — постоянно действующий Технический секретариат с местом пребывания в Минске.

В результате деятельности МГС сохранены и используются существовавшие в СССР фонды нормативной документации и эталонная база: порядка 21 тыс. ГОСТ, 40 тыс. ОСТ, 35 ОКТЭИ, 140 метрологических эталонов единиц физических величин и т. д. За последние годы было принято свыше 2500 ГОСТ и других нормативных документов, которые предназначены в основном для установления технических требований к продукции, подлежащей обязательной сертификации. Принятые стандарты гармонизированы с международными стандартами, что способствует продвижению продукции стран СНГ на мировой рынок.

В 1995 г. Совет ИСО признал МГС стран СНГ региональной организацией по стандартизации. Деятельность МГС способствует процессу ускорения вступления государств — участников содружества в ИСО и ВТО.

Применение международных и национальных стандартов на территории Российской Федерации

Применение международных, региональных международных и национальных стандартов зарубежных стран в РФ возможно в трех вариантах:

Принятие аутентичного (равнозначного) текста международного (регионального) стандарта в качестве государственного российского стандарта без каких-либо дополнений и изменений (смена обложки). Обозначается такой стандарт так, как это принято для отечественного стандарта ГОСТ Р с указанием соответствующего международного стандарта и обозначения через тире двух последних цифр года принятия ГОСТ Р. Например, ГОСТ Р ИСО 9001 -96.

Принятие аутентичного текста международного (регионального) стандарта, но с дополнениями, отражающими специфику российских требований. При обозначении такого стандарта к обозначению отечественного стандарта добавляется номер соответствующего международного (регионального) стандарта, который указывается под обозначением ГОСТ Р в скобках. Например, ГОСТ Р 50321-92 (ИСО 7173:1989).

Возможен вариант использования (заимствования) отдельных положений международного (регионального) стандарта и включения их в российский стандарт. В подобных случаях международный (региональный) стандарт рассматривается как источник информации, используемый при разработке отечественного стандарта, в котором делается соответствующая ссылка на первоисточник.

Кроме того, до принятия в РФ международных (региональных) стандартов в качестве ГОСТ Р допускается их применение в качестве ОСТ, СТП и СТО, что существенно ускоряет решение проблемы гармонизации требований отечественных и международных стандартов.

Основные направления развития системы стандартизации

В Концепции национальной системы стандартизации отмечены следующие основные направления совершенствования стандартизации в РФ:

- выполнение условий присоединения России к ВТО;
- сближение статуса отечественных и зарубежных стандартов;
- формирование технического законодательства;
- методология и организация работ по стандартизации;
- международное сотрудничество в области стандартизации.

Главные задачи стандартизации по выполнению условий присоединения России к ВТО — это создание условий для гармонизации отечественных стандартов и других нормативных документов с Международными стандартами и обеспечение информационного взаимодействия со всеми государствами — членами ВТО.

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
**«Владимирский государственный университет
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»
(ВлГУ)**

**ЛЕКЦИИ
ПО ДИСЦИПЛИНЕ
«Метрология, стандартизация и
сертификация»
Раздел
СЕРТИФИКАЦИЯ**

для специальности среднего профессионального образования
технического профиля
11.02.01 Радиоаппаратостроение

Лекции разработаны в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом по специальности среднего профессионального образования 11.02.01 Радиоаппаратостроение (утверждённым приказом Министерства образования и науки РФ от 14.05.2014 №521)

Разработчик проф. каф. РТ и РС Поздняков А.Д.

ОСНОВЫ СЕРТИФИКАЦИИ

Важнейшие понятия сертификации

Слово «сертификация» в переводе с латинского (*sertifico*) означает — подтверждаю, удостоверяю. Его можно толковать также исходя из сочетания латинских слов *certum* — верно и *faeere* — сделано.

Сертификация — это процедура подтверждения соответствия результата производственной деятельности, товара, услуги нормативным требованиям, посредством которой третья сторона документально удостоверяет, что продукция, работа (процесс) или услуга соответствует заданным требованиям.

Под «третьей стороной» в процедуре сертификации подразумевается независимая, компетентная организация, осуществляющая оценку качества продукции. Первой стороной принято считать изготовителя, продавца продукции, второй — покупателя, потребителя.

Третья сторона (например, испытательная лаборатория) для подтверждения своей компетентности и объективности проходит процедуру *аккредитации*, т. е. официального признания ее возможностей осуществлять соответствующий вид контроля или испытаний.

Сертификация базируется на стандартах и в ее основе лежат испытания по нормам сертификации.

Система сертификации — это система, имеющая свои собственные правила, процедуры и руководства для проведения сертификации соответствия. Сертификация в рамках системы должна проводиться по единым правилам и в определенном составе участников процесса сертификации.

Системы сертификации могут создаваться на трех уровнях: национальном, региональном и международном.

Схема сертификации представляет собой систему сертификации применительно к конкретной продукции, технологическому процессу или услуге, на которые распространяются одни и те же стандарты и правила.

Сертификат соответствия — это документ, выданный согласно правилам системы сертификации и указывающий, что данная продукция, технологический процесс или услуга находятся в соответствии с определенными стандартами или другими документами, устанавливающими требования к ним.

Знак соответствия (знак сертификации) — охраняемый законом знак (сочетание букв, цифр, графических символов и т. п.), указывающий, что данная продукция, технологический процесс или услуга находятся в соответствии с конкретными стандартами или другими нормативными документами, устанавливающими требования к ним.

Декларация о соответствии — документ, в котором изготовитель (продавец, исполнитель) удостоверяют, что поставляемая (продаваемая) им продукция соответствует установленным требованиям. Подтверждение соответствия в отличие от сертификации, проводящейся исключительно третьей стороной, может осуществляться поставщиком, т. е. первой стороной.

Основные функции и эффективность сертификации

Сертификация может быть *обязательной*, осуществляемой в законодательно регулируемой области экономики, и *добровольной*, осуществляемой в нерегулируемой сфере хозяйствования. Обязательная сертификация применяется в качестве инструмента для защиты общества и граждан от товаров и услуг, способных нанести вред здоровью, имуществу и окружающей среде. Добровольная сертификация составляет неотъемлемую часть современных рыночных отношений, играя роль стимула повышения конкурентоспособности товаров и услуг.

Основной функцией сертификации является защита человека, его имущества и природной среды от отрицательных последствий современного научно-технического развития, от недобросовестных производителей и продавцов, создание условий для честной конкурентной борьбы.

Важной функцией сертификации является *защита национального рынка* от недобросовестных зарубежных конкурентов. Вместе с тем сертификация оказывает значительное влияние на *расширение международного экономического сотрудничества*.

Эффект от проведения сертификации продукции и услуг носит *социально-экономический характер*. В социальной сфере сертификация обеспечивает защиту здоровья и жизни населения, является важным элементом системы охраны окружающей среды.

Экономическим результатом сертификации, регулирования безопасности и качества товаров и услуг является более полное удовлетворение потребностей рядового покупателя, снижение издержек потребления или затрат на продукцию, увеличение сбыта и, как следствие, увеличение прибыли производителя и экономия расходов покупателя. На уровне общества в целом осуществление сертификации проявляет себя в виде роста поступлений в государственный бюджет за счет увеличения налоговой базы и поступлений таможенных сборов, а также уменьшение расходов госбюджета в связи с сокращением средств, выделяемых на здравоохранение, — выплату пособий по нетрудоспособности, затрат на содержание медицинских учреждений и др.

Нормативно-правовое обеспечение сертификации

Предшественницей современной российской сертификации была сертификация в СССР отечественной экспортируемой продукции.

В 1986 г. Госстандарт СССР ввел в действие «Временный порядок сертификации продукции машиностроения» и присоединился к ряду международных систем сертификации. Первоначально сертификация проводилась в зарубежных центрах, и ее обязательность устанавливалась законодательством тех стран, куда товары поставлялись.

В СССР действовали и другие формы оценки соответствия продукции: аттестация по категориям качества (первая и высшая, по которой продукция присваивался Знак качества); государственные испытания, которым подвергалось около 30% продукции, аттестованной по категориям качества, и др.

В 1992 г. в соответствии с Законом РФ «О защите прав потребителей» в России начались работы по сертификации продукции и услуг, возглавляемые национальным органом по сертификации — Госстандартом России. В 1993 г. был принят Закон РФ «О сертификации продукции и услуг». Сертификация в России также проводится в соответствии с федеральными законами: «О стандартизации», «Об обеспечении единства измерений», а также рядом законов, относящихся к определенным отраслям («О пожарной безопасности», «О ветеринарии» и др.).

Кроме законодательных актов деятельность по сертификации регулируется указами Президента и актами Правительства РФ (около 50 актов), а также подзаконными актами, направленными на решение отдельных социально-экономических задач (более 30 актов).

Массив нормативно-методических документов, на соответствие требованиям которых проводится сертификация и устанавливаются методы проверки соблюдения этих требований, включает более 12 тысяч наименований. Кроме того, действует целый комплекс организационно-методических документов, определяющих правила и порядок проведения работ по сертификации.

Закон РФ «О защите прав потребителей»

- регулирует отношения, возникающие между потребителями и изготовителями, исполнителями, продавцами при продаже товаров (выполнении работ, оказании услуг);
- устанавливает права потребителя на приобретение товаров (работ, услуг) надлежащего качества и безопасных для жизни и здоровья;
- гарантирует получение информации о товарах (работах, услугах) и об их изготовителях (исполнителях, продавцах);
- обеспечивает просвещение, государственную и общественную защиту их интересов, а также определяет механизмы реализации этих прав.

Законом предусматривается обязательная сертификация

—товаров (работ, услуг), на которые в законодательных актах, государственных стандартах установлены требования, направленные на обеспечение безопасности жизни, здоровья потребителей и охраны окружающей среды, а также на предотвращение причинения вреда имуществу потребителей;

—средства, обеспечивающие безопасность жизни и здоровья потребителей.

Каждая единица или партия товара, реализуемая через розничную торговую сеть, должна сопровождаться *сертификатом соответствия*, который продавец обязан предъявлять покупателю по его требованию.

Товары могут сопровождаться сертификатом, выданным национальным органом по сертификации, а также зарубежными сертификатами, признаваемыми в Российской Федерации.

Ответственность за наличие сертификата и знака соответствия несет продавец (изготовитель).

Основными государственными органами, устанавливающими требования к товарам, выполняемым работам и услугам и обеспечивающими контроль за их соблюдением, являются Госстандарт РФ, Госсанэпиднадзор, Госкомэкология РФ, Министерство природных ресурсов РФ и другие органы государственного управления.

За нарушение правил сертификации органами по сертификации установлен штраф в размере двукратной стоимости работ по сертификации. Если же товары реализуются с нарушением правил по сертификации, то штрафом облагаются изготовители (продавцы) в размере стоимости реализованных товаров. Ответственность за подобные нарушения несут также и руководители предприятий-изготовителей и органов по сертификации.

Закон РФ «О сертификации продукции и услуг» (ст. 1) определяет следующие цели сертификации:

—создание условий для деятельности организаций всех форм собственности на едином товарном рынке России для участия в международном экономическом, научно-техническом сотрудничестве и международной торговле;

—содействие потребителям в компетентном выборе товара и защита их от недобросовестности изготовителя;

—контроль безопасности продукции для жизни, здоровья и имущества людей и окружающей среды;

—подтверждение показателей качества продукции, заявленных изготовителем.

При проведении сертификации следует руководствоваться следующими принципами:

—правовая обоснованность сертификации;

—открытость системы сертификации (доступность для предприятий всех форм собственности, выполняющих ее правила);

—гармонизация правил и рекомендации по сертификации с международными нормами и правилами;

—открытость неконфиденциальной и недоступность закрытой информации по сертификации.

Система сертификации (ст. 5 Закона «О сертификации продукции и услуг») создается государственными органами управления, предприятиями, организациями и представляет собой *совокупность участников* сертификации, осуществляющих сертификацию *по правилам, установленным в этой системе* в соответствии с Законом о сертификации.

К участникам сертификации относятся государственные органы, организации, являющиеся создателями системы сертификации, а также испытательные лаборатории (центры), центральный орган системы сертификации, изготовители продукции (исполнители услуг), научно-методические центры и др. Системы сертификации и их знаки соответствия регистрируются Госстандартом России.

В настоящее время Госстандартом России, например, зарегистрировано более 15 систем обязательной сертификации, возглавляемых различными

федеральными органами исполнительной власти, такими как Департамент воздушного транспорта, Министерство транспорта России, Министерство путей сообщения и т. д.

Среди систем обязательной сертификации первой по времени ее создания и самой крупной является *Система сертификации ГОСТ Р*, разработанная Госстандартом России. В Систему сертификации ГОСТ Р входят порядка 40 систем сертификации однородной продукции и услуг, около 900 аккредитованных органов по сертификации и около 2000 испытательных лабораторий. В Системе сертификации ГОСТ Р за рубежом аккредитовано 4 органа по сертификации и несколько испытательных лабораторий.

Система сертификации ГОСТ Р выдает ежегодно около 500 тысяч сертификатов на продукцию и услуги.

Объекты обязательной и добровольной сертификации

Обязательная сертификация распространяется на продукцию и услуги, объекты сертификации, связанные с обеспечением безопасности окружающей среды, жизни, здоровья и имущества.

Продукция обязательной сертификации: товары машиностроительной, электротехнической, электронной и приборостроительной отраслей промышленности; медицинская техника; товары сельскохозяйственного производства и пищевой промышленности; товары легкой промышленности; товары сырьевых отраслей и деревообработки; средства индивидуальной защиты органов дыхания; тара; изделия пиротехники и ветеринарные биологические препараты.

Услуги обязательной сертификации: бытовые услуги, услуги пассажирского транспорта и связи; туристские и эксплуатационные услуги; услуги общественного питания и др.

Добровольная сертификация проводится в тех случаях, когда строгое соблюдение требований существующих стандартов или иной нормативной документации на продукцию, услуги или процессы государством не предусмотрено, т. е. когда стандарты не касаются требований безопасности людей и окружающей среды.

К числу объектов добровольной сертификации относится продукция социально-бытового и производственно-технического направлений, услуги материальные и нематериальные, некоторые процессы типа оценки недвижимости, автотранспорта и т. п.

Большое распространение приобрела добровольная сертификация систем качества предприятий на соответствие требованиям международных стандартов.

Участниками обязательной сертификации являются изготовители продукции или исполнители услуг, заказчики (поставщики, продавцы), а также организации, представляющие собой органы по сертификации, испытательные лаборатории (центры) и специально уполномоченные федеральные органы исполнительной власти.

Организация и проведение работ по обязательной сертификации возлагаются на специально уполномоченный федеральный орган исполнительной власти в области сертификации, а в случаях,

предусмотренных законодательными актами РФ в отношении отдельных видов продукции, могут быть возложены на другие федеральные органы исполнительной власти;

Типовая структура системы обязательной сертификации предусматривает следующий состав участников:

- федеральный орган исполнительной власти, на который законодательно возложено проведение обязательной сертификации;
- центральные органы систем сертификации однородной продукции (при необходимости);
- органы по сертификации;
- испытательные лаборатории (центры).

Формы обязательной сертификации продукции устанавливаются специально уполномоченным федеральным органом исполнительной власти в области сертификации либо другими федеральными органами исполнительной власти, уполномоченными на то в соответствии с Законом о сертификации. Закон допускает подтверждение соответствия, посредством принятия изготовителем (продавцом, исполнителем) *декларации о соответствии*.

Декларация о соответствии является документом, в котором изготовитель (продавец, исполнитель) удостоверяет, что поставляемая (продаваемая) им продукция соответствует установленным требованиям. Перечень продукции, соответствие которой может быть подтверждено декларацией о соответствии, требования к декларации о соответствии и порядок ее принятия утверждаются Правительством Российской Федерации.

Декларация о соответствии, принятая в установленном порядке, регистрируется в органе по сертификации и имеет юридическую силу наравне с сертификатом.

Полномочия и обязанности участников обязательной сертификации

Специально уполномоченный федеральный орган исполнительной власти в области сертификации и *федеральный орган исполнительной власти*, на которые возлагаются организация и проведение обязательной сертификации:

- создают системы сертификации однородной продукции и устанавливают правила процедуры и управления для проведения сертификации в рамках этих систем;
- осуществляют выбор способа подтверждения соответствия продукции требованиям нормативных документов (формы сертификации);
- определяют центральные органы систем сертификации;
- аккредитуют органы по сертификации и испытательные лаборатории (центры) и выдают им разрешения (лицензии) на право проведения определенных видов работ;
- ведут государственный реестр участников и объектов сертификации;
- устанавливают правила признания зарубежных сертификатов, знаков соответствия и результатов испытаний;
- устанавливают правила аккредитации и выдачи лицензий на проведение работ по обязательной сертификации;

—осуществляют государственный контроль и надзор, устанавливают порядок инспекционного контроля за соблюдением правил сертификации и за сертифицированной продукцией;

—рассматривают апелляции по вопросам сертификации.

В функции *Центрального органа системы сертификации*, который назначается федеральным органом исполнительной власти, входят:

— организация работы по формированию системы сертификации однородной продукции и осуществление руководства ею;

— разработка предложений по номенклатуре продукции, сертифицируемой в системе;

— участие в работах по совершенствованию фонда нормативных документов, на соответствие которым производится сертификация в системе;

—ведение учета органов по сертификации и испытательных лабораторий, входящих в систему, выданных и аннулированных сертификатов и лицензий на использование знака соответствия;

—рассмотрение апелляций по поводу действия органов по сертификации и испытательных лабораторий, участвующих в системе.

Орган по сертификации является основным рабочим органом системы сертификации. В его обязанности входит:

—проведение идентификации продукции, представленной для сертификации, в соответствии с правилами сертификации;

—сертификация продукции, выдача сертификатов и лицензий на применение знака соответствия;

—приостановление либо отмена действия выданных им сертификатов;

—предоставление заявителю по его требованию необходимой информации в пределах своей компетенции;

—осуществление в установленном порядке инспекционного контроля за сертифицированной продукцией.

Испытательные лаборатории (центры) осуществляют испытания конкретной продукции или конкретные виды испытаний и выдают протоколы испытаний для целей сертификации. Лаборатории несут ответственность за соответствие проведенных сертификационных испытаний требованиям нормативной документации, а также за достоверность и объективность результатов.

Важный участник процедуры сертификации — *эксперт—специалист*, аттестованный федеральным органом исполнительной власти на право проведения одного или нескольких видов работ по сертификации. От компетентности эксперта, его добросовестности и объективности зависят обоснованность, достоверность принятия решения о выдаче сертификата.

Изготовители продукции (поставщики, продавцы) при проведении сертификации выполняют следующие функции:

—подготавливают заявку на проведение сертификации или подтверждают соответствие поставляемой (реализуемой) ими продукции установленным требованиям;

—применяют сертификат или декларацию о соответствии и знак соответствия, руководствуясь законодательными актами РФ и правилами системы;

—обеспечивают соответствие реализуемой продукции требованиям нормативных документов, на соответствие которым она была сертифицирована;

—извещают органы по сертификации об изменениях, внесенных в техническую документацию и в технологический процесс производства сертифицированной продукции;

—обеспечивают беспрепятственное выполнение своих полномочий должностными лицами органов по сертификации продукции и лицами, осуществляющими контроль за сертифицированной продукцией;

—указывают в сопроводительной технической документации сведения о подтверждении соответствия и нормативных документах, которым она должна соответствовать;

—приостанавливают или прекращают реализацию продукции (подлежащей обязательной сертификации), если она не отвечает требованиям нормативных документов, а также в случае, если действие Сертификата приостановлено либо отменено решением органа по сертификации.

Аккредитация органов по сертификации

Аккредитация это официальное признание полномочным (авторитетным) органом компетентности той или иной организации выполнять работы в определенной (заявленной) области.

В международной практике деятельность по аккредитации проводится по принятым в мировой практике процедурам и основывается, как правило, на принципах, изложенных в международных и региональных нормативных документах

Главные цели аккредитации — обеспечение доверия к организациям путем подтверждения их компетентности; создание условий для взаимного признания результатов деятельности разных организаций в одной и той же области.

Нормативной базой аккредитации в России является комплекс государственных стандартов Системы аккредитации в Российской Федерации семейства 51000, гармонизированных с европейскими стандартами EN 45000.

В соответствии с ГОСТ Р 51000.1-95 «Система аккредитации органов по сертификации, испытательных и измерительных лабораторий», аккредитующие органы должны отвечать следующим требованиям:

—иметь соответствующий юридический статус;

—располагать финансовыми средствами для своего функционирования;

—располагать штатным персоналом, соответствующим направлению и объему работ по аккредитации;

—иметь организационную структуру, обеспечивающую независимость его персонала от воздействия сторон, имеющих заинтересованность в результатах аккредитации;

— располагать необходимыми помещениями и средствами труда.

Орган по сертификации продукции (услуг) должен соответствовать требованиям ГОСТ Р 51000.5—96:

— орган по сертификации должен иметь штатный персонал, возглавляемый квалифицированным руководителем;

— орган по сертификации должен располагать необходимыми средствами, фондом документов, необходимых для проведения сертификации;

— специалисты, осуществляющие оценку соответствия продукции или услуг, испытания или инспекционный контроль, должны иметь статус экспертов;

— орган по сертификации должен иметь полный перечень (реестр) сертифицированной продукции или услуг с указанием обладателей сертификатов или разрешений (лицензий) на применение знака соответствия;

— орган по сертификации обязан контролировать использование выданных им сертификатов соответствия, знаков соответствия и разрешений на их применение.

Испытательная лаборатория должна соответствовать требованиям ГОСТ Р 51000.3-96:

— юридический статус испытательной лаборатории должен соответствовать действующему законодательству;

— персонал испытательной лаборатории не должен подвергаться коммерческому, финансовому, административному или другому давлению, способному оказывать влияние на выводы или оценки;

— лаборатория должна быть всесторонне компетентной для проведения соответствующих испытаний;

— лаборатория должна иметь внутреннюю систему обеспечения качества, соответствующую области ее аккредитации;

— лаборатория должна применять методы и процедуры, установленные соответствующими стандартами и техническими условиями;

— испытательное оборудование, средства и методики измерений должны соответствовать требованиям стандартов ГСВ и нормативных документов на методы испытаний;

— помещения лаборатории должны быть защищены от воздействия таких факторов, как повышенная температура, пыль, влажность, пар, шум, вибрация, электромагнитные возмущения, и отвечать требованиям методик испытаний, санитарных правил и норм, требованиям безопасности труда и охраны окружающей среды;

— лаборатория должна быть обеспечена оборудованием и расходными материалами (химическим реактивами) для достоверного проведения испытаний и измерений;

— испытательная лаборатория должна соблюдать договоры и обеспечивать условия, гарантирующие конфиденциальность в соответствии с требованиями заказчиков и безопасные условия труда для своих сотрудников.

Процедура аккредитации органов по сертификации и испытательных лабораторий в Российской Федерации включает следующие шесть этапов:

1. Представление заявки и других документов на аккредитацию.
2. Экспертиза документов и назначение экспертов по аккредитации.
3. Аттестация.
4. Анализ материалов и принятие решения об аккредитации.
5. Оформление и выдача аттестата аккредитации.
6. Контроль за аккредитованным органом.

Контроль за соответствием органа по сертификации (испытательной лаборатории) условиям аккредитации предусматривает внутренние проверки, проводимые аккредитованной организацией, и инспекционный контроль, проводимый аккредитующим органом. При нарушении условий аккредитации аккредитующий орган принимает решение о приостановлении действия или досрочной отмене аттестата аккредитации.

Оформление сертификата соответствия

Система сертификации ГОСТ Р Госстандарт России	
	СЕРТИФИКАТ СООТВЕТСТВИЯ (1) № _____ (2) Срок действия с _____ по № _____
(3) Орган по сертификации	
(4) Продукция	(5) код ОК 005 (ОКП): _____
(6) Соответствует требованиям нормативных документов	(7) код ТН ВЭД СНГ: _____
(8) Изготовитель	
(9) Сертификат выдан	
(10) На основании	
(11) Дополнительная информация	
(12) Руководитель органа	
_____	_____
М. П.	_____
Эксперт	_____
_____	_____
Сертификат имеет юридическую силу на всей территории Российской Федерации	

Добровольная сертификация

К объектам добровольной сертификации относятся научно-техническая, сельскохозяйственная, промышленная продукция, продукция социально-бытового назначения, объекты строительства; работы (процессы), услуги, системы качества и производства, другие организационные и информационные системы, а также иные объекты сертификации, на которые имеются документально установленные требования и методы проверки соблюдения этих требований.

Необходимость добровольной сертификации объясняется тем, что обязательная сертификация осуществляется, как правило, параметрам (критериям) безопасности продукции, тогда как потребителя интересуют ряд других показателей качества, а также гарантии соответствия продукции данным, заявленным в рекламе или сопроводительной документации.

Для производителя добровольная сертификация его продукции, проведенная известной организацией, означает большую вероятность того, что эту продукцию купят. Добровольная сертификация повышает конкурентоспособность продукции, ускоряет процесс товарооборота и тем самым выступает как эффективный рыночный инструмент, в котором заинтересован как потребитель, так и изготовитель. В нашей стране в настоящее время действуют порядка 90 систем добровольной сертификации, распространяющихся главным образом на потребительские свойства различных видов продукции, работ и услуг. Имеются системы добровольной сертификации продукции, подтверждающие одно или несколько ее функциональных свойств, есть системы комплексные, объединяющие несколько видов продукции и услуг общего конечного применения.

Кроме продукции, работ и услуг в рамках добровольных систем проводится, как было сказано выше, также сертификация систем качества и производств на соответствие международным стандартам.

Приведем пример системы добровольной сертификации: РОСС RU.0001.04 Я 300 «Система сертификации и оценки интеллектуальной собственности» и др.

Добровольная сертификация представляет собой вид сертификации, которая не имеет жестких законодательных ограничений в правилах и процедурах проведения. Сфера распространения по объектам и требованиям шире сферы действия обязательной сертификации, но пересечения между ними не допускаются.

Добровольная сертификация продукции, подлежащей обязательной сертификации, не может заменить обязательную сертификацию этой продукции.

Добровольная сертификация в России имеет значительные перспективы.

Участники добровольной сертификации и их функции

Добровольная сертификация осуществляется органами по сертификации, входящими в систему добровольной сертификации, образованную любым юридическим лицом, разработавшим и зарегистрировавшим данную систему и ее знак соответствия в специально уполномоченном федеральном органе исполнительной власти в области сертификации. Регистрация производится в соответствии с Законом РФ «О сертификации продукции и услуг», в порядке установленном ГОСТ Р40.101-95.

Участниками добровольной сертификации могут быть любые юридические лица независимо от формы собственности, выполняющие правила соответствующей системы добровольной сертификации. Структурой системы предусматриваются руководящий орган системы добровольной

сертификации, орган по добровольной сертификации, испытательные лаборатории, эксперты и заявители.

Руководящий орган системы добровольной сертификации обеспечивает регистрацию системы добровольной сертификации на свое имя (как юридического лица) и возглавляет систему добровольной сертификации, обеспечивая ее функционирование.

В задачу руководящего органа входит проведение единой технической политики в системе, руководство органами по добровольной сертификации и координация их деятельности. Кроме того, руководящий орган ведет реестр участников и объектов добровольной сертификации в системе, рассматривает апелляции в случаях несогласия участников сертификации с принятыми в отношении их решениями.

Органы по добровольной сертификации выполняют следующие основные функции:

- сертифицируют объекты добровольной сертификации, выдают сертификаты соответствия;
- регистрируют сертификаты соответствия;
- осуществляют инспекционный контроль;
- приостанавливают или отменяют действие сертификатов.

Испытательные лаборатории в системе добровольной сертификации, выполняют следующие основные функции:

- проводят испытания и выдают протоколы испытаний;
- обеспечивают свое соответствие требованиям аккредитации;
- обеспечивают достоверность, объективность и требуемую (заданную) точность результатов испытаний, а также их воспроизводимость.

Участники системы добровольной сертификации несут следующую ответственность за свои действия:

- орган по добровольной сертификации несет ответственность за достоверность и объективность подтверждаемых им требований, правильность выдачи сертификата соответствия или подтверждения его действия;
- испытательная лаборатория несет ответственность за достоверность, объективность и воспроизводимость результатов испытаний;
- заявитель (держатель сертификата) несет ответственность за обеспечение соответствия при реализации или использовании сертифицированного объекта, а также за правильность применения знака соответствия.

Сертификаты соответствия в системах добровольной сертификации, должны содержать следующие сведения:

- наименование и регистрационный номер системы добровольной сертификации;
- наименование и адрес органа по добровольной сертификации;
- наименование и адрес заявителя;
- наименование и кодовое обозначение сертифицированного объекта, а также другие дополнительные сведения о нем;

—ссылку на соответствующий документ и пункты в нем, устанавливающие требования, на соответствие которым проведена сертификация;

—дату выдачи сертификата соответствия, подпись и должность уполномоченного лица.

Знак соответствия применяется при подтверждении требований конкретного нормативного документа (государственный стандарт, международный стандарт, технические условия и т. п.) в случаях, когда удостоверяется соответствие:

- всем требованиям нормативного документа;
- группе требований нормативного документа;
- части требований, установленных нормативным документом.

Понятие и классификация услуг (работ)

Услуга — это результат непосредственного взаимодействия исполнителя и потребителя, а также собственной деятельности по удовлетворению запросов потребителя. Услуги разделяют на материальные, нематериальные (или социально-культурные) и производственные услуги (работы).

Результатом материальной услуги является, как правило, преобразованная продукция. Нематериальная, или социально-культурная, услуга — это деятельность исполнителя услуги по удовлетворению социально-культурных нужд потребителя. Объектом такой услуги является собственно потребитель.

Производственная услуга — это услуга по удовлетворению нужд предприятий и организаций. Понятие этой услуги выражается через термин «работа». Например, научно-исследовательская, опытно-конструкторская и технологическая работы; наладочные и пусковые, эксплуатационные работы и т. п. Соответствующие процессы называют «выполнением работ», «оказанием услуг». Они стали объектами сертификации, в частности, вошли в документ «Перечень работ и услуг, подлежащих обязательной сертификации».

Номенклатура сертифицируемых услуг (работ).

Постановлением Правительства Российской Федерации от 13 августа 1997 г. в перечень работ и услуг, подлежащих обязательной сертификации, включены следующие виды услуг:

- ремонт и техническое обслуживание бытовой радиоэлектронной аппаратуры, бытовых машин и бытовых приборов;
- техническое обслуживание и ремонт автотранспортных средств;
- химическая чистка и крашение;
- транспортные услуги (услуги по перевозке пассажиров автомобильным транспортом);
- жилищно-коммунальные услуги (услуги гостиниц и прочих мест проживания);
- туристические и экскурсионные услуги;
- услуги парикмахерских;
- услуги торговли и общественного питания.

Вне сферы обязательной сертификации из-за отсутствия нормативной базы остаются такие важнейшие услуги, как услуги рынков и медицинские услуги. Число нормативных документов в настоящее время, по которым осуществляется сертификация услуг, составляет свыше 150, из них межгосударственных стандартов ГОСТ — 69, ГОСТ Р — 20, остальные нормативные документы — отраслевые стандарты, технические условия, инструкции, положения, приказы, руководства.

Состав участников сертификации услуг (работ)

В состав участников Системы сертификации услуг входят:

- руководящий орган Системы сертификации услуг;
- центральные органы Системы сертификации услуг;
- Научно-методический центр стандартизации и сертификации услуг;
- методические центры Системы;
- аккредитованные органы по сертификации и испытательные лаборатории;
- социологические центры (лаборатории, группы специалистов);
- аккредитованные органы по сертификации систем качества услуг.

Обязанности руководящего органа Системы сертификации услуг возложены на Госстандарт России, который:

- создает сеть органов по сертификации и испытательных лабораторий, аккредитуя и уполномочивая их на право проведения работ;
- проводит инспекционный контроль и управляет деятельностью органов по сертификации и испытательных лабораторий;
- определяет центральные органы систем сертификации однородных услуг и осуществляет контроль их деятельности;
- утверждает организационно-методические документы Системы, создает и утверждает системы и правила сертификации услуг;
- рассматривает апелляции по вопросам сертификации услуг;
- взаимодействует по вопросам сертификации услуг с отечественными и международными организациями.

Центральные органы по сертификации:

- формируют системы сертификации однородных услуг, координируют деятельность органов по сертификации;
- устанавливают порядок и процедуры проведения сертификации услуг;
- ведут учет органов по сертификации услуг, выданных (отмененных) сертификатов соответствия и лицензий на применение знака соответствия;
- участвуют в работах по совершенствованию нормативной документации по сертификации услуг;
- обеспечивают публикацию информации о правилах и работах Системы.

Методические центры:

- разрабатывают организационно-методические документы по сертификации услуг;
- формируют и совместно с техническими комитетами по стандартизации ведут фонд нормативных документов;

— обеспечивают документам и участникам Системы.

Методические центры в основном работают при центральных органах по сертификации услуг. Потребность в них возникла при сертификации услуг в связи со слабой нормативной базой, отсутствием стандартов на потребительские свойства и требования безопасности услуг. В качестве методических центров, как правило, утверждаются отраслевые НИИ.

Функции аккредитованных органов по сертификации и испытательных лабораторий аналогичны соответствующим структурам систем сертификации продукции.

Состав участников Системы сертификации услуг постоянно изменяется и трансформируется в соответствии с меняющимися условиями практики сертификации. В настоящее время в Системе сертификации услуг, ГОСТ Р аккредитовано более 200 органов по сертификации услуг утверждено пять центральных органов по сертификации.

Порядок проведения сертификации услуг (работ)

Сертификация услуг (работ) осуществляется в последовательности, аналогичной проведению сертификации продукции и предусматривает:

- подачу заявки на сертификацию;
- рассмотрение и принятие решения по заявке;
- оценку соответствия услуг (работ) установленным требованиям;
- принятие решения о выдаче сертификата;
- выдачу сертификата и лицензии на применение знака соответствия;
- проведение инспекционного контроля сертифицированных услуг (работ).

Учитывая специфику объектов сертификации, при проверке результатов работ и услуг кроме инструментальных и лабораторных методов широко используются социологические и экспертные методы (оценка качества через опрос клиентов; дегустация блюд; контроль знаний обучающихся и т. п.).

Лекция: СИСТЕМЫ КАЧЕСТВА

Принципы формирования систем управления качеством

Качество продукции — это совокупность свойств продукции, обуславливающих ее пригодность удовлетворять определенные потребности в соответствии с ее назначением.

Система качества — это такой способ организации дела на предприятии, который позволяет поставлять потребителю продукцию, которая отвечает его требованиям. Термин «система качества» означает совокупность организационной структуры, методик, процессов и ресурсов, необходимых для осуществления общего руководства качеством на всех этапах его формирования (ИСО 8402).

Для потребителя система качества предприятия является аргументом доверия к этому предприятию, гарантом того, что он получит ту продукцию, которая действительно ему необходима.

В настоящее время в мире используются различные системы управления качеством. Выработаны и реализуются основные принципы системного подхода к управлению качеством, которые составляют основу международных стандартов по управлению качеством ИСО серии 9000.

Перечислим эти принципы:

- ориентация на потребителя;
- роль руководства в реализации всех принципов управления качеством;
- вовлечение работников в деятельность по управлению качеством;
- процессный подход в совокупности с системным подходом к управлению рассматривается в сочетании взаимосвязанных процессов, а каждый процесс — как система, имеющая вход и выход, своих «поставщиков» и «потребителей»;
- системный подход;
- постоянное улучшение;
- принятие решений, основанное на фактах;
- взаимовыгодные отношения с поставщиками.

Стандарты ИСО на системы управления качеством

Стандарты на системы управления качеством впервые были разработаны в Великобритании в 70-х гг. XX в., а с середины 80-х гг. Международная организация по стандартизации (ИСО) начала разработку международных стандартов по этой проблематике, широко известных теперь как стандарты серии 9000. Их около 20.

Для целей создания на предприятиях эффективных систем качества были разработаны стандарты ИСО, которые выполняют роль пособий по разработке систем качества. Важнейшие 3 стандарта семейства: ИСО 9001, ИСО 9002, ИСО 9003 — носят нормативный характер и служат целям внешней оценки системы качества потребителем или третьей стороной. Именно эти 3 стандарта приняты в России в качестве национальных стандартов. Остальные стандарты ИСО семейства 9000 доведены до пользователей в виде переводов, как справочные.

Разработка Международных стандартов ИСО создала единую нормативную базу для сертификации систем качества во многих странах. По оценкам экспертов, в мире сегодня по ИСО сертифицировано свыше 200 тыс. компаний и фирм.

Общий вывод таков: эффективность работы предприятий, внедривших систему качества по ИСО 9000, в 2-3 раза выше, чем у их конкурентов, не использующих эту систему.

Организационная и нормативная база сертификации систем качества

Госстандарт принял в 1995 г. Программу работ по развитию сертификации систем качества в РФ. Была разработана и принята «Система сертификации систем качества и производств», которая получила название «Регистр систем качества» (слово «регистр» следует толковать как название особого органа, осуществляющего функции надзора).

Регистр — это система добровольной сертификации, однако она является составной частью государственной системы сертификации ГОСТ Р, которая представляет систему обязательной сертификации. Знак соответствия Регистра систем качества аналогичен знаку Системы ГОСТ Р.

Регистр организован в соответствии с действующим законодательством, правилами по сертификации и государственными нормативными документами РФ, а также европейскими и международными правилами и нормами в области сертификации систем качества.

Для обеспечения организационно-практической деятельности в рамках Регистра Госстандарт России принял 5 государственных стандартов:

ГОСТ Р40.001 — 95 «Правила по проведению сертификации систем качества в Российской Федерации»;

ГОСТ Р40.002—96 «Система сертификации ГОСТ Р. Регистр систем качества. Основные положения»;

ГОСТ Р40.003-96 «Система сертификации ГОСТ Р. Регистр систем качества. Порядок проведения сертификации систем качества»;

ГОСТ Р 40.004—96 «Система сертификации ГОСТ Р. Регистр систем качества. Порядок проведения сертификации производств»;

ГОСТ Р40.005-96 «Система сертификации ГОСТ Р. Регистр систем качества. Инспекционный контроль за сертифицированными системами качества и производства».

В качестве нормативных документов, на соответствие которым проводится сертификация, в Регистре используются государственные стандарты России, представляющие собой принятые «методом обложки» международные стандарты ИСО:

ГОСТ Р ИСО 9001 —96 «Система качества. Модель обеспечения качества при проектировании, разработке, производстве, монтаже и обслуживании»;

ГОСТ Р ИСО 9002-96 «Системы качества. Модель обеспечения качества при производстве, монтаже и обслуживании»;

ГОСТ Р ИСО 9003—96 «Системы качества. Модель обеспечения качества при контроле и испытаниях готовой продукции».

Регистр систем качества и функции его органов

Основными направлениями деятельности Регистра систем качества являются: сертификация систем качества; сертификация производств; инспекционный контроль за сертифицированными системами качества и признания сертификатов на системы производствами; международное сотрудничество в интересах взаимного качества

В функции Госстандарта России входит: принятие принципиальных решений о дальнейшем развитии Регистра; рассмотрение основных правил и принципов функционирования Регистра; контроль за его деятельностью; участие в комиссии по апелляциям (при необходимости).

Технический центр Регистра организует, проводит и контролирует сертификацию систем качества и производств; участвует в инспекционном контроле; ведет Реестр сертифицированных систем качества и производств; приостанавливает или аннулирует действие сертификатов; занимается информационным обеспечением с зарубежными организациями.

Совет по сертификации систем качества и производства имеет статус совещательного органа, который разрабатывает предложения для принятия решений, касающихся работы Регистра. Он состоит из специалистов заинтересованных организаций.

Комиссия по апелляциям создается Техническим центром из независимых экспертов и функционирует по мере возникновения необходимости.

Научно-методический комитет Регистра разрабатывает нормативные и методические документы; участвует в работе Совета по сертификации систем качества и производств, а также в работе Комиссии по апелляциям; формирует банк данных и банк нормативных документов.

Органы по сертификации систем качества и производств проводят сертификацию, оформляют ее результаты и осуществляют инспекционный контроль; ведут методическую работу.

Организации, прошедшие сертификацию, обеспечивают стабильность функционирования систем качества (производства); принимают корректирующие меры по результатам инспекционного контроля; информируют орган по сертификации о введенных изменениях в производственный процесс и т. д.

Этапы проведения работ по сертификации систем качества

Сертификация систем качества осуществляется в 3 этапа:

- предварительная оценка системы качества;
- проверка и оценка системы качества в организации;
- инспекционный контроль сертификационной системы качества.

Кроме того, существует *предсертификационный этап* — оформление предстоящих работ по сертификации и их организация. Согласно принятым в Регистре критериям качества, систему качества признают соответствующей стандарту на систему при отсутствии значительных несоответствий или при наличии 10 или менее малозначительных несоответствий. Значительным несоответствием считается, например, отсутствие одного элемента,

малозначительным — некоторые упущения при реализации отдельных требований стандарта.

Предсертификационный этап

1. Заявка на сертификацию
2. Подготовка заявителем исходных документов по образцам
3. Анализ исходных документов в органе по сертификации
4. Решение о принятии заказа на сертификацию
5. Оформление договора на предварительную оценку системы качества
6. Формирование комиссии по сертификации

Оценка системы качества

1. Анализ системы качества по исходным документам
2. Составление заключения
3. Принятие решения о продолжении работ по сертификации
4. Оформление договора на оценку системы качества на предприятии-заявителе
5. Проверка и оценка системы качества на предприятии
6. Разработка программы проверки
7. Проведение проверки
8. Составление акта проверки
9. Заключительное совещание по результатам проверки
10. Принятие решения о рекомендации системы качества к сертификации
11. Окончательное решение о сертификации в Техническом центре регистра
12. Выдача сертификата соответствия и лицензии на применение знака соответствия или отказ в этом
13. Заключение договора на проведение инспекционного контроля

Инспекционный контроль

1. Проведение ежегодного инспекционного контроля сертифицированной системы качества
2. Составление актов по результатам контроля
3. Принятие решения о подтверждении, приостановлении или аннулировании сертификата соответствия и лицензии на знак соответствия

Объекты проверки при сертификации систем качества

Объектами проверки и оценки системы качества являются деятельность по управлению и обеспечению качества и само качество продукции (услуг).

Деятельность по управлению и обеспечению качества заявителя проверяют и оценивают *поэлементно* на соответствие требованиям.

Качество продукции (услуги) оценивают сначала на основе информационных материалов о качестве, полученных от потребителей, торговых организаций, Госсанэпиднадзора и других организаций, осуществляющих контроль. Затем обеспечение качества продукции в ходе производства оценивается по всей производственной цепочке путем анализа данных о качестве, регистрируемых техническим контролем предприятия.

Участники проверки при сертификации систем качества

Участниками проверки при сертификации систем качества являются: проверяемая организация (заявитель), эксперты органа по сертификации и консультанты, объединенные в комиссию.

Заявитель должен:

- заявить цель сертификации;
- определить область сертификации;
- оформить и подать заявку на проведение сертификации;
- согласовать программу проведения проверки с органом по сертификации;
- назначить своего представителя;
- предоставлять доступ экспертам к объектам проверки;
- осуществлять корректирующие действия на основании акта и отчета о проверке.

Комиссия, осуществляющая проверку системы качества, формируется из нескольких или даже одного эксперта в зависимости от масштаба проверяемой организации. Комиссию возглавляет главный эксперт (председатель комиссии). В состав комиссии не могут быть включены представители проверяемой организации, а также представители организаций, заинтересованных в результатах сертификации.

Комиссия должна:

- осуществлять работу в рамках назначения проверки;
- проводить экспертизу объективно;
- собирать и анализировать факты, которые имеют непосредственное отношение к проверке и являются достаточными для выводов;
- излагать результаты проверки ясно, убедительно; вовремя предоставлять акты и отчеты о проверке.

Сертификация производств

Сертификация производств представляет собой действие независимой, компетентной организации (третьей стороны), доказывающее, что обеспечивается необходимая уверенность в том, что производство и его условия обеспечивают стабильность качественных характеристик производимой продукции, работ или услуг, установленных нормативными документами.

Требования к сертифицируемым производствам регламентируют ГОСТ Р ИСО 9002 и ГОСТ Р 40.004—96. При сертификации производства оценке подвергаются следующие объекты:

- продукция предприятия (оценка качества продукции в сфере реализации и потребления, анализ обнаруженных дефектов);
- технология производства (технологические процессы, транспортировка, хранение, упаковка);
- технический контроль и испытания (входной, операционный, приемочный контроль; все виды испытаний);
- техническое обслуживание и ремонт оборудования, оснастки, поверка контрольно-измерительных приборов.

Сертификация производства осуществляется в шесть этапов: представление заявки на сертификацию, предварительная оценка исходных материалов, составление программы сертификации, проверка производства, оформление сертификата соответствия и инспекционный контроль за сертифицированным производством.

Основы сертификации импортируемой продукции

В Законе «О сертификации продукции» установлены следующие правовые основы регулирования ввоза импортируемой продукции:

1. В контрактах, заключенных на поставку в Россию продукции, подлежащей обязательной сертификации, должно быть оговорено наличие сертификата и знака соответствия. Сертификаты и знаки соответствия должны быть выданы или признаны уполномоченным на то органом РФ.
2. Сертификаты или свидетельства об их признании представляются в таможенные органы для получения разрешения на ввоз продукции на территорию России. В исключительных случаях Правительство РФ вправе выдать разрешение на ввоз продукции, предназначенной для производственных нужд конкретной организации, без представления в таможенные органы сертификатов или свидетельств о признании сертификатов при условии последующей сертификации данной продукции.
3. Порядок ввоза на территорию Российской Федерации продукции, подлежащей обязательной сертификации, устанавливается федеральным органом исполнительной власти по таможенному делу и специально уполномоченным федеральным органом исполнительной власти в области сертификации.

Порядок ввоза продукции, подлежащей обязательной сертификации

Порядок ввоза в Россию безопасной и экологически чистой продукции и проведение работ по ее сертификации должен быть организован таким образом, чтобы обеспечить объективную оценку соответствия ввозимых товаров требованиям отечественных стандартов и свести до минимума время на сертификацию импортной продукции, обеспечив самокупаемость данной процедуры.

Госстандарт и Государственный таможенный комитет России (ГТК) совместно утвердили и ввели в действие «Порядок ввоза на территорию Российской Федерации товаров, подлежащих обязательной сертификации». В соответствии с ним установлен «Перечень товаров, для которых требуется подтверждение их безопасности при ввозе на территорию Российской Федерации».

В таможенный орган должен быть представлен сертификат установленной формы на русском языке, выданный по правилам системы ГОСТ Р. Этот сертификат может являться также свидетельством признания зарубежного сертификата. Правом подтверждения иностранного сертификата обладают территориальные органы Госстандарта. Импортные товары могут иметь зарубежные сертификаты, которые не требуют подтверждения, если с этими органами по сертификации, выдавшими их, заключено соглашение о взаимном признании результатов сертификации.

Сертификация товаров должна проводиться до их поставки в РФ. Если испытания проводятся в зарубежных лабораториях, то выдаваемые ими протоколы будут являться основанием для получения сертификатов при условии, что эти лаборатории аккредитованы Госстандартом и занесены в Реестр системы сертификации ГОСТ Р.

При прохождении таможенного контроля сертификат соответствия предъявляется вместе с таможенной декларацией. В грузовой таможенной декларации указывают:

- краткое наименование органа, выдавшего сертификат;
- номер сертификата и дату его выдачи;
- срок действия сертификата.

Не требуется предъявления сертификатов для товаров, предназначенных для представительств зарубежных стран международных организаций и их персонала; товаров, ввозимых физическими лицами и не предназначенных для производственной или коммерческой деятельности (если они не превышают установленные стоимостные и количественные квоты). Если физическое лицо ввозит товар в единственном экземпляре для собственного потребления, то он может быть выпущен без сертификата. При этом требуется представить в таможенную службу обязательство, составленное в произвольной форме, невыполнение которого влечет за собой применение определенных санкций.

Перечень товарной номенклатуры внешнеэкономической деятельности (ТН ВЭД), сформированной с разбивкой по кодам, был утвержден Госстандартом по согласованию с ГТК России и введен в действие Приказом ГТК от 14 августа 1996 г. № 496 «О применении перечней товаров, подлежащих обязательной сертификации при ввозе на таможенную территорию Российской Федерации».

Товар, задержанный на таможне из-за отсутствия сертификата соответствия, согласно порядку ввоза может быть представлен на сертификацию. В этом случае он может храниться под таможенным контролем на складах временного хранения не более двух месяцев.

Контроль за безопасностью ввозимых на территорию России товаров проводится центрами стандартизации, метрологии и сертификации в тесном взаимодействии с контролирующими организациями: таможенными службами, торговой инспекцией, органами МВД, санэпиднадзором, службами Госкомэкологии и др.

Экспортируемая продукция подлежит сертификации в системе ГОСТ Р.

Зарубежная сертификация

Сертификация в Германии базируется на законе об ответственности за изготовление недоброкачественной продукции, который гармонизован с законодательством стран — членов ЕС и служит законодательной базой для сертификации в рамках единого рынка.

Сертификация во Франции осуществляется Французской ассоциацией по стандартизации (AFNOR), Французским центром внешней торговли (CNCE), Центром информации о нормах и технических регламентах (CINR) и Союзом

электротехников (UTE), который разрабатывает нормативные требования для сертификации электронной и электротехнической продукции.

Сертификация в США базируется на многочисленных законах по безопасности различных видов продукции. Важнейшим из них является Закон о безопасности потребительских товаров. Обязательной сертификации подлежит продукция, на которую принят государственный стандарт, а также продукция, закупаемая государством на внутреннем и внешнем рынках. Обязательная сертификация контролируется государственными органами.

Общее руководство сертификацией в стране осуществляет Сертификационный комитет, действующий в составе NIST — Национального института стандартов и технологий, который разрабатывает обязательные стандарты.

Сертификационный комитет координирует работы по стандартизации и представляет США в ИСО, МЭК и других международных организациях.

Сертификация в Японии осуществляется в трех формах:

— обязательная сертификация на соответствие законодательным требованиям;

— добровольная сертификация на соответствие национальным стандартам, которую проводят органы, уполномоченные правительством;

— добровольная сертификация, которую проводят частные органы по сертификации.

Электротехнические товары, не маркированные знаком соответствия Т, японский покупатель воспринимает как низкокачественные со всеми вытекающими отсюда последствиями для изготовителя и продавца.

Сертификация в Китайской Народной Республике основывается на государственных законах.

Основными организациями, осуществляющими на государственном уровне управление качеством продукции, являются Государственное бюро по техническому надзору (ГБТН) и Государственное управление по инспекции импортных и экспортных товаров (ГУИИЭТ), которое осуществляет контроль экспортной и импортной продукции, включая их сертификацию.

Национальные стандарты КНР, содержащие требования безопасности, охраны здоровья, экологической защиты и защиты прав и интересов потребителей, являются обязательными. Остальные стандарты носят рекомендательный характер.

Для преодоления в международной торговле технических барьеров, возникающих из-за различий в требованиях национальной сертификации, многие страны стали формировать региональные и международные организации по сертификации. Цель таких организаций — оптимизация правил и условий внешней и внутренней торговли, разработка единых стандартов и организационно-методических документов, обеспечивающих гармонизацию процедур во всех областях деятельности по сертификации.

Европейский союз (ЕС) создан в 1993 г. в соответствии с так называемым Маастрихтским договором. Отмена технических барьеров для свободной торговли товарами — одна из целей стран ЕС. Одним из главных направлений

технической политики в ЕС является внедрение методов обеспечения качества на базе стандартов EN серии 29000 (соответствуют серии стандартов ИСО 9000). В ЕС установлен единый знак соответствия — СЕ.

На региональном европейском уровне функционируют различные организации, обеспечивающие реализацию интеграционной политики ЕС.

К ним относятся такие организации, как Европейская организация по качеству (ЕОК), Европейский комитет по стандартизации (СЕН), Европейская организация по содействию сотрудничеству испытательных лабораторий (ЕВРО-ЛАБ), Европейская организация по испытаниям и сертификации (ЕОИС), Европейский комитет по оценке и сертификации систем качества (ЕКС) и др.

К региональным организациям относится также учрежденный в 1992 г. государствами Содружества независимых государств (СНГ) — *Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации* (МГС). В 1996 г. МГС признан ИСО как региональная организация под названием «Евразийский межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации».

Сертификация на международном уровне

Значительную роль в становлении и развитии международной, региональной и национальной сертификации, имеющих целью устранение технических барьеров в торговле, играют ряд важных международных организаций.

Крупнейшей международной организацией, ставящей своей целью разработку правил и условий мировой торговли, является *Всемирная торговая организация* — ВТО.

В настоящее время членами ВТО являются более 100 государств, на долю которых приходится около 90% мирового товарооборота. В 1992 г. Российская Федерация унаследовала от СССР статус наблюдателя. Статус наблюдателя открыл перед нашей страной ряд существенных возможностей, позволив, в частности, привлекать специалистов ВТО к экспертизе российского внешнеэкономического законодательства, а также пользоваться в полном объеме имеющейся в ВТО информацией о торговой статистике, ограничительных мерах, вводимых другими странами.

Целями присоединения России к ВТО в качестве полноправного участника являются:

—устранение дискриминационных ограничений в отношении российского экспорта и улучшение доступа на мировые рынки российских товаров и услуг;

—перевод торгово-экономических отношений России с третьими странами на равноправную, долгосрочную экономико-правовую основу и, как следствие, повышение конкурентоспособности всех отраслей российской экономики;

—совершенствование внутренней законодательной базы и практики ее применения с целью дальнейшего развития экономических реформ.

Основные требования ВТО в области стандартизации сводятся к тому, чтобы технические регламенты и стандарты не создавали препятствий международной торговле.

В области информации ВТО требует, чтобы каждая сторона обеспечила создание информационно-справочной службы для ответов на запросы заинтересованных лиц других сторон, касающиеся любых технических регламентов, любых стандартов, принятых или разрабатываемых центральными или местными правительственными органами или региональными органами по стандартизации, любых систем оценки соответствия, действующих или разрабатываемых на их территориях.

Деятельность *Международной организации по стандартизации* (ИСО) в области сертификации заключается в организационно-методическом обеспечении данной процедуры. При разработке стандартов ИСО на продукцию основной акцент делается на установление единых методов испытаний, а также на определение требований к продукции в части ее безопасности для жизни, здоровья людей, охраны окружающей среды, взаимозаменяемости.

ИСО поддерживает контакты по вопросам стандартизации более чем с 400 международными организациями. В долгосрочную стратегию деятельности ИСО входят вопросы сотрудничества с организациями потребителей, установления специальных связей по техническому сотрудничеству с ВТО.

Россия является членом ИСО с правом голоса, избрания в Совет и участия в заседаниях Генеральной Ассамблеи ИСО.

Международной стандартизацией в области электротехники, электроники, радиосвязи, приборостроения занимается *Международная электротехническая комиссия* (МЭК), которая работает как филиал ИСО. В настоящее время членами МЭК являются национальные комитеты разных стран, в том числе России.

Безопасность является ведущим требованием к продукции, входящей в сферу деятельности МЭК. Стандарты МЭК носят рекомендательный характер, страны имеют полную независимость в вопросах их применения на внутреннем рынке (кроме стран, входящих в ВТО), однако они приобретают обязательный характер в случае выхода продукции на мировой рынок.

В рамках МЭК организованы две международные системы сертификации.

Первая система — Система сертификации изделий электронной техники на соответствие стандартам МЭК (СС ИЭТ МЭК), созданная в 1980 г. (резисторы, конденсаторы, транзисторы, электроннолучевые трубки и др.).

Вторая система — Система МЭК по испытаниям электрооборудования на соответствие стандартам безопасности (МЭКСЭ), в которой с 1984 г. осуществляется сертификация на соответствие стандартам МЭК по безопасности 14 видов электротехнических изделий (в том числе бытовые электроприборы, медицинская, вычислительная, информационная техника, кабели, светотехнические, электроустановочные изделия и т. д.).

Сотрудничество на международном уровне между странами в областях взаимного признания аккредитации испытательных организаций

осуществляется в рамках *Международной конференции по аккредитации испытательных лабораторий*. В ее задачи входит гармонизация в международном масштабе требований на аккредитацию лабораторий, содействие ликвидации технических барьеров в международной торговле, активное сотрудничество с органами по сертификации, действующими на международном и национальном уровне.

Важной международной организацией, деятельность которой направлена на содействие экономическим отношениям между европейскими странами, а также между ними и остальным миром, является *Европейская экономическая комиссия Организации Объединенных Наций* (ЕЭК ООН).

Деятельность комитетов и рабочих ЕЭК ООН направлена на обеспечение защиты флоры, фауны и безопасности человека, на упрощение процедур торговли, стандартизации, сертификации и контроля качества различных товаров, в том числе на введение в стандарты на продукцию требований безопасности.

Как международная организация, специализирующаяся в области здравоохранения, известна *Всемирная организация здравоохранения* (ВОЗ). Целью ВОЗ согласно Уставу является достижение всеми народами мира высокого уровня здоровья, трактуемого как полное физическое и душевное благосостояние.

ВОЗ входит в систему учреждений ООН. Деятельность ВОЗ охватывает широкий круг проблем, среди которых — создание и развитие всеобъемлющих служб здравоохранения, профилактика болезней и борьба с ними, оздоровление окружающей среды и развитие кадров здравоохранения.

В 1960 г. для координации и распространения опыта работы потребительских организаций отдельных стран, направленной на защиту потребителей от некачественной опасной продукции, была создана *Международная организация потребительских союзов* (МОПС). Ее членами являются свыше 160 потребительских ассоциаций из многих стран мира.

Международной организацией, занимающейся сертификацией спортивного «охотничьего оружия» является *Постоянная международная комиссия по испытаниям ручного огнестрельного оружия* (ПМК).

В России принят Закон РФ «Об оружии», который устанавливает обязательную сертификацию в Системе ГОСТ Р всех разновидностей ручного огнестрельного как отечественного, так и импортного оружия.

Россия официально присоединилась к ПМК Брюссельской конвенции в 1994 г. Государственная испытательная станция РФ имеет право ставить клейма на отечественном оружии, признаваемые всеми странами — членами ПМК.