

Министерство образования Российской Федерации

Владивостокский государственный университет
экономики и сервиса

Д.Л. ГОРОШКО

**МЕТРОЛОГИЯ, СТАНДАРТИЗАЦИЯ,
СЕРТИФИКАЦИЯ**

Учебное пособие

Владивосток
Издательство ВГУЭС
2003

ББК 30.842

Г 70

Рецензенты: Ю.А. Левашов, доцент каф.
электроники ВГУЭС;
Г.А. Гудаков, канд. техн. наук,
доцент каф. электроники ВГУЭС.

Горошко Д.Л.
Г 70 МЕТРОЛОГИЯ, СТАНДАРТИЗАЦИЯ,
СЕРТИФИКАЦИЯ: Учеб. пособие. – Владивосток: Изд-во
ВГУЭС, 2003. – 148 с.

Пособие охватывает темы, содержащиеся в требованиях образовательного стандарта высшего профессионального образования по направлению подготовки дипломированного специалиста 654700 «Информационные системы» и 654600 «Информатика и вычислительная техника».

Предназначено студентам специальностей 220100 «вычислительные машины, комплексы, системы и сети» и 071900 «Информационные системы и технологии».

ББК 30.842

© Издательство Владивостокского
государственного университета
экономики и сервиса, 2003

ВВЕДЕНИЕ

Основная задача метрологии как деятельности заключается в обеспечении единства измерений. Метрология, как научное направление, охватывает широкий диапазон вопросов начиная от теоретических проблем и заканчивая конкретными практическими задачами. На базе теоретических предпосылок метрологии математически строго обоснованы и юридически закреплены практические рекомендации, касающиеся всех аспектов измерения.

Однако в современном, динамично развивающемся обществе, стандартизация, метрология и сертификация в том виде, как это присутствовало в плановой экономике, не только не подходили для новых условий работы, но и фактически делали невозможным интеграцию России в цивилизованное мировое сообщество. Если за рубежом еще в 80-ых годах ведущие компании поняли, что успех бизнеса прежде всего определяется качеством продукции и услуг, то в нашей стране экономическая и политическая ситуация заставила прийти к такому выводу совсем недавно. Сегодня и производитель товара или поставщик услуги, и их торговый представитель, желающие победить в конкурентной борьбе и поднять репутацию торговой марки, заинтересованы в выполнении не только обязательных, но и рекомендательных требований стандартов, преднамеренно повышая для себя планку качества. Таким образом стандарт становится дополнительным стимулом повышения конкурентоспособности товара или услуги, что в конечном итоге положительно отразится на их потребительских свойствах.

Итак, переход страны к рыночной экономике с присущей ей конкуренцией и борьбой за доверие потребителя заставляет специалистов шире использовать методы и правила стандартизации, метрологии и сертификации. В данном курсе лекций объединение базовых понятий из теоретической метрологии, основ радиоизмерений и законодательной метрологии преследует цель сформировать у студентов знания, умения и навыки в перечисленных областях деятельности для обеспечения эффективности профессиональной подготовки.

Тема 1. МЕТРОЛОГИЯ КАК ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

История возникновения и развития метрологии является самостоятельной дисциплиной, и пытаться осветить ее в рамках одной лекции практически невозможно, т.к. вся история развития человека на земле сопровождалась ростом производства и торговли, которые даже при меновом характере отношений требуют измерения количества продукта, его объема и других характеристик.

Электроизмерительные приборы появились сравнительно недавно. В 40-х годах XVIII в. основоположник русской науки Михаил Васильевич Ломоносов и его коллега академик Г.В. Рихман совместно проводили работу по изучению атмосферного электричества. Приступая к систематическим исследованиям, Г.В. Рихман сразу же обратил внимание на необходимость измерений, и в самом начале экспериментальных исследований ему удалось сконструировать первый в мире электроизмерительный прибор – «указатель электрической силы». Впервые этот прибор был представлен общему собранию Петербургской академии наук 29 марта 1745 г. Он представлял собой льняную нить, укрепленную на металлической стойке. Если стойку соединить с наэлектризованным телом, то вследствие одноименной электризации стойки и нити, последняя будет отталкиваться от стойки. По величине угла отклонения нити можно судить об «электрической силе», являющейся во времена Ломоносова характеристикой электрических явлений.

Развитие электротехники сопровождалось разработкой новых методов измерений, созданием измерительных приборов. Большой вклад в развитие электрических измерений в России внесли Михаил Осипович Доливо-Добровольский (электромагнитный вольтметр и амперметр), Александр Григорьевич Столетов (закон изменения магнитной проницаемости в зависимости от напряженности поля), Борис Семенович Якоби (приборы для измерения электрического сопротивления).

В 1880 г. имели распространение 15 единиц электрического сопротивления, 8 единиц электродвижущей силы, 5 единиц электрического тока. Ввиду такого разнообразия всякое сравнение результатов измерений и расчетов различных исследователей было практически невозможным.

Систему электрических единиц установил Первый конгресс по электричеству, состоявшийся в Париже в 1881 г. Россию на этом конгрессе представлял А.Г. Столетов. Для практических целей конгрессом была принята абсолютная система, единицы которой получаются из соответствующих единиц системы СГС.

В 1883 г. Д.И. Менделеев основал в Петербурге Главную палату мер и весов, став ее первым директором. Уделяя исключительно большое внимание измерениям, Д.И. Менделеев говорил, что наука начинается там, где начинают измерять.

Итак, метрология – это наука об измерениях, методах и средствах обеспечения единства измерений и способах достижения требуемой точности, а также область знаний и вид деятельности, связанные с измерениями.

Первые меры длины были связаны с человеком – локоть (38–46 см), вершок (4.45 см), пядь (4 вершка) и т.д. Мэру вещества определяли по весу и только позднее, выяснив, что масса и вес различаются в разных районах земного шара, стали различать массу, как меру инертности, а вес как силу притяжения.

В разных странах эти величины были совершенно разными, что при развитии торговли, науки, расширении контактов стало значительной преградой. Эти причины послужили основанием для перехода от стихийно возникших величин к единой системе мер. Их создание в 1791 г. началось с определения длины меридиана Земли, проходящего через Париж. В результате была принята единица длины – метр, как $1 \cdot 10^7$ часть четверти длины земного меридиана. За единицу массы была принята масса $0,001 \text{ м}^3$ чистой воды при температуре $+4^{\circ}\text{C}$, т.е. при температуре ее наибольшей плотности. За установлением основных единиц длины и массы была принята десятичная система образования кратных и дольных единиц.

Дальнейшее развитие измерительной техники позволяло более точно измерить длину парижского меридиана и таким образом уточнить длину метра. Поскольку этот процесс мог продолжаться до бесконечности, в 1872 г. международной комиссией по прототипам метрической системы мер было принято решение о переходе от единиц длины и массы, основанных на естественных эталонах, к единицам, основанным на условных материальных эталонах (прототипах).

В 1875 г. была проведена дипломатическая конференция 17 государств, которые подписали метрическую конвенцию. В соответствии с конвенцией:

- устанавливались международные прототипы метра и килограмма;
- создавалось международное бюро мер и весов;
- утверждался международный комитет мер и весов;
- устанавливался созыв один раз в шесть лет Генеральных конференций по мерам и весам.

В это же время были изготовлены образцы метра и килограмма из сплава платины и иридия. Прототип метра представлял собой платино-иридиевую штриховую меру общей длиной 102 см, на расстояниях 1 см от концов которой были нанесены штрихи, определяющие единицу длины – метр.

В 1889 г. в Париже на Генеральной конференции по мерам и весам утверждены прототипы из числа вновь изготовленных образцов. Прототипы метра и килограмма были переданы на хранение Международному

бюро мер и весов. Далее Генеральная конференция по жребию распределила остальные образцы между государствами, вошедшими в метрическую конвенцию. Россия получила два метра (№ 11 и № 28) и два килограмма (№ 12 и № 26). Метр № 28 и килограмм № 12 были утверждены в качестве государственных эталонов России.

Числовые значения измеряемых величин зависят от того, какие используются единицы измерений. Если допустить произвол в выборе единиц, то результаты измерений окажутся несопоставимы между собой, т.е. нарушится *единство измерений*. Чтобы этого не произошло, единицы измерений устанавливаются по определенным правилам и закрепляются законодательным путем. Наличие законодательной метрологии отличает эту науку от других естественных наук (математики, физики, химии и др.), и также оно направлено на борьбу с произволом в выборе таких решений, которые не диктуются объективными закономерностями, а принимаются по соглашению. Совокупность единиц измерений основных и производных величин называется *системой единиц*. Не во всех областях измерений системы единиц сформировались окончательно и закреплены соответствующими законодательными актами. Наилучшим образом в этом отношении обстоят дела в области измерения физических величин. В физике общие правила конструирования системы единиц были сформулированы Гауссом в 1832 г. Они сводятся к следующему:

- выбираются основные физические величины;
- устанавливаются единицы основных физических величин. Для этого какому-либо размеру каждой основной физической величины приписывается числовое значение, равное 1. Выбор этого размера является произвольным и определяется исключительно соображениями удобства его использования в обиходе. Такие единицы основных физических величин называют просто *основными единицами*.

- устанавливаются единицы производных физических величин, также называемые просто *производными единицами*.

Работы по созданию единой системы единиц были начаты в 1948 г. на IX Генеральной конференции по мерам и весам. На ней было предложено в качестве основных единиц рекомендовать: метр, килограмм, секунду и одну из электрических величин. После проведения официального опроса мнений научных, технических и педагогических кругов всех стран X Генеральная конференция (1954 г.) приняла в качестве основных единиц новой системы следующие: длина – метр, масса – килограмм, время – секунда, сила тока – ампер, температура термодинамическая – градус Кельвина, сила света – кандела.

В 1960 г. на XI Генеральной конференции по мерам и весам окончательно утвердила новую систему, назвав ее «Международной системой единиц» (System International – SI). Принятие Международной сис-

темы единиц послужило стимулом для перехода на метрическую систему мер стран, сохранявших национальные единицы.

После принятия основных единиц система СИ, стала интенсивно развиваться. Были разработаны и приняты производные единицы пространства и времени, механических величин, тепловых и акустических и т.д.

Метрологическая терминология развивается значительно труднее, чем терминология других областей знаний, что обусловлено ее положением на стыке различных специальных дисциплин. Первый этап работ по созданию терминологии завершился выходом Государственного стандарта ГОСТ 16263–70 «Государственная система единства измерений. Метрология. Термины и определения». Приведем основные из них:

– *Физической величиной* называется одно из свойств физического объекта (физической системы, явления или процесса), общее в качественном отношении для многих физических объектов (масса, длина, электрическое напряжение, температура и т. д.), но в количественном отношении индивидуальное для каждого из них.

– *Размером физической величины* (размером величины) называется количественная определенность физической величины, присущая конкретному материальному объекту, системе, явлению или процессу.

– *Значением физической величины* (значением величины) называется выражение размера физической величины в виде некоторого числа принятых для нее единиц измерения.

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

– *Средство измерений* – технические средства, используемые при измерениях и имеющие нормированные метрологические свойства;

– *Мера* – средство измерения в виде тела или устройства, предназначенного для воспроизведения величины одного или нескольких размеров, значения которых известны с необходимой для измерения точностью;

– *Точность измерения* – степень приближения результатов измерений к истинному значению измеряемой величины;

– *Проверка* – совокупность действий, производимых с целью оценки погрешностей средств измерений и установление их пригодности к измерению.

1.1. Эталоны. Передача информации о размерах единиц

Исходная информация о размерах единиц содержится в ГОСТ 8.417–81. Как и любая другая информация, она может переда-

ваться письменно или устно, с помощью технических средств (например радио, телетайп) или без них. Опосредованно она содержится в конструкторской документации, поступающей на заводы – изготовители средств измерений. При выпуске средств измерений в обращение информация о размере соответствующей единицы СИ оказывается заложенной либо в номинальное значение меры, либо в значение отметок на шкале отсчетного устройства, либо в градуировочные таблицы, графики и т.п. В таком виде эта информация хранится на всем протяжении эксплуатации средства измерения. Ее правильность и точность устанавливаются на государственных испытаниях головных образцов средств измерений, предназначенных для серийного производства, или при метрологической аттестации таких средств измерений. Сохранность этой информации контролируется при первичной и последующих поверках средств измерений.

К метрологическим видам работ относится непосредственная передача информации о размере единиц от эталонов средствам измерений. Осуществляется она путем сравнения показаний с заведомо более точно известным значением соответствующей физической величины.

Иногда в результате непосредственной передачи информации о размере единиц мерам и отметкам шкал отсчетных устройств средств измерений приписываются значения, выраженные в этих единицах. Такая процедура называется *градуировкой*. В некоторых случаях составляются градуировочные графики или таблицы. Если высокоточным мерам или отметкам шкал отсчетных устройств прецизионных средств измерений уже приписаны определенные значения (например при выпуске), то в ходе их аттестации определяются поправки, которые при измерениях должны вноситься в показания. Без таких поправок результаты измерений будут неправильными.

Использовать для градуировки, аттестации и поверки средств измерений непосредственно государственные первичные эталоны нельзя. Эти эталоны являются национальным достоянием, ценностями особой государственной значимости. Их хранят в метрологических институтах страны в специальных, так называемых, эталонных помещениях, где поддерживается строгий режим по влажности, температуре, вибрациям и другим влияющим величинам. Для обеспечения обслуживания государственных эталонов из числа ведущих специалистов-метрологов назначают хранителей эталонов. Достаточно редко используются государственные эталоны для воспроизведения единиц и передачи информации об их размерах. А для передачи информации обширному парку средств измерений прибегают к многоступенчатой процедуре, схема которой показана на рис. 1.1.

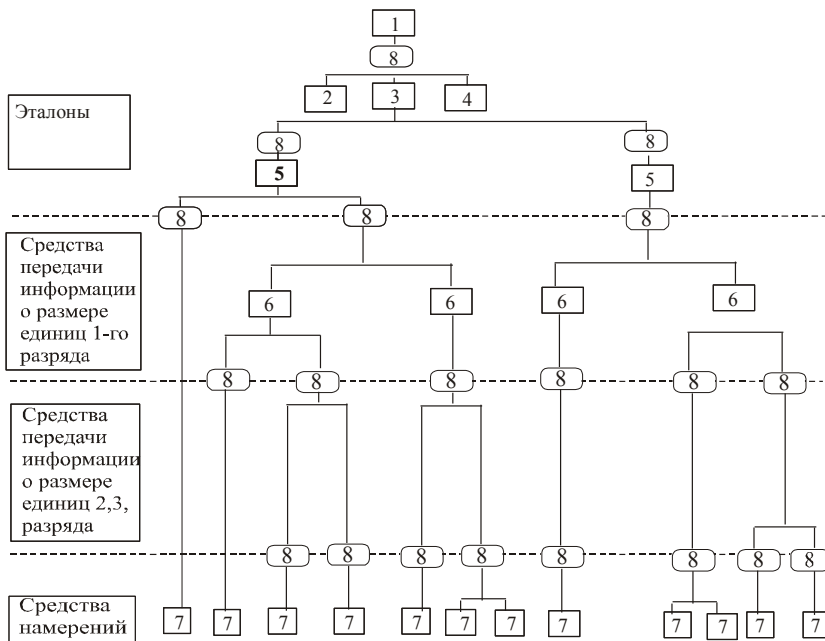


Рис. 1.1. Передача информации о размере единицы: 1 – государственный первичный или специальный эталон; 2 – эталон-свидетель; 3 – эталон-копия; 4 – эталон сравнения; 5 – рабочие эталоны; 6 – средства передачи информации о размере единицы; 7 – средства измерений; 8 – методы передачи информации о размере единицы.

По размеру единицы, воспроизводимой государственным эталоном, устанавливаются значения физических величин, воспроизводимые вторичными эталонами. Среди вторичных эталонов различают эталоны-свидетели, предназначенные для проверки сохранности государственного эталона и замены его в случае порчи или утраты; эталоны сравнения, применяемые для сличения эталонов, которые по тем или иным причинам не могут быть непосредственно сличимы друг с другом; эталоны-копии, используемые для передачи информации о размере единицы рабочим эталонам (рабочим называют эталон, от которого непосредственно получают информацию о размере единицы нижестоящие по схеме технические средства). Заключенные в прямоугольные рамки наименования эталонов с указанием стандартного отклонения результата воспроизведения ими единицы физической величины размещаются в верхней части схемы, в так называемом поле эталонов.

Средства, предназначенные для дальнейшей передачи информации о размере единицы, расположены на рис. 1.1 под полем эталонов. Их

принято называть образцовыми средствами измерений. Такое название нельзя назвать удачным, т.к., во-первых, процедура передачи информации о размере единицы не соответствует определению измерения, а, во-вторых, применение для практических измерений средств передачи информации о размере единицы и эталонов запрещено. По точности эти средства измерений подразделяются на несколько разрядов. Средства высшей точности относят к первому разряду, меньшей – ко второму и т.д. Характеристики точности (например стандартное отклонение передаваемого размера), обусловленные свойствами средства передачи информации о нем, указываются в прямоугольной рамке под наименованием самого средства.

Средства измерений располагаются в нижнем ряду рис. 1.1 (слева – направо) в порядке понижения их точности. Для передачи информации о размере единицы средства измерений использовать нельзя.

Следует подчеркнуть условность различия между средствами измерений и средствами передачи информации о размере единицы. Лишь в немногих случаях последние заранее проектируются и выпускаются как таковые. Чаще в качестве их аттестуются обычные средства измерений, отличающиеся высокой стабильностью и воспроизводимостью показаний, тщательно изученными и по возможности улучшенными метрологическими характеристиками.

В качестве методов передачи информации о размере единиц (их названия заключаются в овальные рамки на схеме, показанной на рис. 1.1) используются методы непосредственного сличения (т.е. сличение меры с мерой или показаний двух приборов без применения специальных технических средств), сличения с помощью компаратора и т.п. Результат сличения является случайной величиной. Для того чтобы после определения рассеянием результата сличения можно было пренебречь его стандартное отклонение должно быть как минимум в три раза меньше стандартного отклонения, характеризующего точность средства, находящегося в нижнем поле, рис. 1.1. Запас по точности эталона 10...30 раз позволяет иметь две ступени передачи, запас 30...100 – три и т.д. При определении числа ступеней, необходимого количества рабочих эталонов и других средств передачи информации о размере единиц учитываются номенклатура, численность и размещение средств измерений в стране, производительность эталонов и средств передачи информации о размере единиц, организационные, производственные, экономические возможности и т.д., так что на практике указанные соотношения не играют определяющей роли.

Схемы, регламентирующие передачу информации о размере единицы всему парку средств измерений в стране, называются государственными; охватывающие только средства измерений, находящиеся в обращении в отдельном министерстве или ведомстве, – ведомственными.

ми; распространяющиеся на средства измерений, закрепленные за конкретным метрологическим органом, – локальными. Ведомственная схема, как правило, возглавляется рабочим эталоном, а локальная – средством передачи информации о размере единицы, называемым исходным. И та и другая входят составной частью в государственную схему, возглавляемую государственным эталоном.

Единство измерений обеспечивается благодаря следующим обстоятельствам. С одной стороны, значение измеренной величины находится в определенном интервале, устанавливается с необходимой достоверностью. С другой стороны, поправка Θ к показанию X средства измерений уточняет результат измерения Q , приводя его к такому значению, которое в тех же условиях было бы получено более точным средством измерений. Придавая результатам измерений, показаниям и поправкам индексы, соответствующие разрядам в цепи передачи информации о размере единицы, при четырехступенчатой передаче, например, получим:

$$\begin{aligned} Q &= X + \Theta = X + (Q_{III} - X) = Q_{III} \\ Q_{III} &= X_{III} + \Theta_{III} = X_{III} + (Q_{II} - X_{III}) = Q_{II} \\ Q_{II} &= X_{II} + \Theta_{II} = X_{II} + (Q_I - X_{II}) = Q_I \\ Q_I &= X_I + \Theta_I = X_I + (Q_0 - X_I) = Q_0, \end{aligned}$$

где Q_0 – случайное значение результата измерения, которое было бы получено при сравнении неизвестного размера с размером единицы, воспроизводимым эталоном. Воспроизводимый размер не вполне точно соответствует определению единицы, что учитывается поправкой Q_0 , устанавливаемой при метрологической аттестации эталона:

$$Q_0 = X_0 + \Theta_0 = X_0 + (Q_0 - X_0) = Q_0,$$

где Q_0 – случайное значение результата измерения, которое было бы получено при сравнении неизвестного размера с размером единицы, соответствующим определению. Таким образом, если при передачи информации о размере единицы правильно определены и учтены все поправки, то любое измерение действительно сводится к сравнению неизвестного размера с единицей, установленной стандартом, т.е. к выражению значений измеряемой физической величины в узаконенных единицах. Эталоны недоступны специалистам на производстве, а средства измерений, какой бы фактической точностью они не обладали, не могут быть аттестованы по более высокому классу точности, чем средства, с помощью которых они аттестуются. Между тем на каждой ступени передачи информации о размере единицы точность теряется в 3...5 раз (иногда в 1.25...10 раз). Таким образом, при многоступенчатой передаче эталонная точность не доходит до потребителя. Поэтому для высокоточных средств измерений число ступеней может быть сокращено

вплоть до передачи им информации о размере единиц непосредственно от рабочих эталонов.

В целом система, основанная только на централизованном воспроизведении единиц и передаче информации об их размере средствами измерений, громоздка, неудобна и малоэффективна. Ее содержание и совершенствование представляет сложную организационно-техническую проблему. В будущем следует ожидать повышения роли децентрализованного воспроизведения единиц.

Контрольные вопросы

1. Назовите приблизительное время появления электроизмерительных приборов.

2. Как звучит наиболее общее определение метрологии?

3. Чем была вызвана необходимость перехода от единиц длины и массы, основанных на естественных эталонах, к прототипам?

4. Что такое система единиц? Сформулируйте общее правило конструирования системы единиц.

5. Поясните сущность различия между размером и значением физической величины.

6. Почему для передачи информации о размере физической величины используется многоступенчатая схема?

7. Какой метод передачи информации о размере единиц используется в такой схеме?

8. В чем заключается различие между средствами измерений и средствами передачи информации о размере единицы?

9. Для чего служат эталоны-свидетели, эталоны сравнения и эталоны-копии?

10. Опишите сходства и отличия образцовых средств измерения и эталонов?

Какие недостатки и достоинства присущи централизованной системе воспроизведения единиц физических величин?

Тема 2. ИСХОДНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ И АКСИОМЫ МЕТРОЛОГИИ

2.1. Измеряемые величины

Предметом познания являются объекты, свойства и явления окружающего мира. Таким объектом является, например, окружающее нас пространство, а его свойством – протяженность. Последняя может характеризоваться различными способами. Общепринятой характеристикой (мерой) пространственной протяженности служит *длина*. Однако протяженность реального физического пространства является сложным свойством, которое не может характеризоваться только длиной. Для полного описания пространства рассматривается его протяженность по нескольким направлениям (координатам) или используются еще такие меры, как угол, площадь, объем. Таким образом, пространство является многомерным.

Любые события в реальном мире происходят не мгновенно, т.е. имеют некоторую длительность. Это свойство окружающего нас мира качественно отличается от пространственной протяженности. Его также можно характеризовать по-разному, но общепринятой мерой здесь является время.

Свойство тел сохранять состояние покоя или равномерного прямолинейного движения при отсутствии внешних воздействий называется инертностью. Мерой инертности является масса.

Свойство тел, состоящее в том, что они нагреты до некоторого состояния, качественно отличается от предыдущего. Оно могло бы характеризоваться средней скоростью теплового движения молекул, но пространство получила мера нагретости тел, называемая термодинамической температурой.

Общепринятые или установленные законодательным путем характеристики (меры) различных свойств, общих в качественном отношении для многих физических объектов, но в количественном отношении индивидуальных для каждого из них, называются физическими величинами. Кроме длины, времени, температуры, массы, к физическим величинам относят плоский и телесный угол, силу, давление, скорость, ускорение, электрическое напряжение, силу электрического тока и т.д. Все они определяют некоторые общие в качественном отношении физические свойства, количественные характеристики которых могут быть совершенно разными. Получение сведений об этих количественных характеристиках как раз и является задачей измерений.

Объектами измерений являются не только физические величины. Например, в экономике существует понятие стоимости – свойства, общего для всех видов товарной продукции, но в количественном отно-

шении индивидуального для каждого из них. Другой пример – цена. В эпоху зарождения товарного обмена она имела натуральное выражение и определялась эквивалентным количеством продуктов питания, поголовьем скота и т.д. С появлением всеобщего эквивалента – денег – и переходом к товарно-денежным отношениям цена стала выражаться в денежных знаках. И стоимость, и цена являются мерами товарной продукции. Они относятся не к физическим, а к экономическим величинам или, как их называют, экономическим показателям.

В сфере промышленного производства большое внимание уделяется качеству продукции. Оно определяется как совокупность ее свойств, обуславливающих удовлетворение определенных потребностей в соответствии с назначением продукции. Мерами этих свойств служат показатели качества. В *квалиметрии* – разделе метрологии, посвященном измерению качества, различают следующие виды показателей качества продукции:

- Показатели назначения характеризуют свойства продукции, определяющие основные ее функции, для выполнения которых она предназначена.
- Показатели надежности характеризуют свойства безотказности, долговечности, ремонтпригодности и сохраняемости.
- Показатели стандартизации и унификации характеризуют насыщенность продукции стандартными, унифицированными и оригинальными составными частями.
- Обобщенным показателем эффективности использования продукции является интегральный показатель качества, который определяется как соотношение суммарного полезного коэффициента от эксплуатации или потребления продукции и суммарных затрат на ее создание и использование.

Переход к количественным методам исследования на основе измерительной информации в биологии, психологии, спорте, медицине стал отличительной чертой нашего времени. В абстрактной математике получили распространение меры неопределенности, значимости и др.

Между измеряемыми величинами существуют связи и зависимости, выражаемые математическими соотношениями. В подобных зависимостях одни величины выступают как основные, другие – как производные от них. Вся механику, например, можно изложить, используя лишь три основных величины; всю теплотехнику – четыре и т.д. Выбор их в известном смысле является произвольным, однако наиболее рационально основными физическими величинами выбирать такие, которые характеризуют фундаментальные свойства материального мира. В качестве таковых в настоящее время установлены длина, масса, время, сила электрического тока, термодинамическая температура, количество вещества и сила света. С помощью этих и двух дополнительных величин – плоского и телесного углов – введенных исключительно для удобства,

образуется все многообразие производных физических величин и обеспечивается описание любых свойств физических объектов и явлений.

2.2. Качественная характеристика измеряемых величин

Формализованным отражением качественного различия измеряемых величин является их размерность. Размерность обозначается символом dim , происходящим от слова *dimension*, которое в зависимости от контекста может переводиться как размер, так и размерность.

Размерность основных физических величин обозначается соответствующими заглавными буквами. Например, размерность длины, массы и времени оформляется следующим образом:

$$dim l = L ; dim m = M ; dim t = T .$$

При определении размерности производных величин руководствуются следующими правилами:

1. Размерность левой и правой частей уравнения не может не совпадать, т.к. сравниваться между собой могут только одинаковые свойства.

2. Алгебра размерностей мультипликативна, т.е. состоит из одного действия – умножения.

3. Размерность произведения нескольких величин равна произведению их размерностей. Если зависимость между значениями величин Q , A , B , C имеет вид

$$Q = A \cdot B \cdot C ,$$

то

$$dim Q = dim A \cdot dim B \cdot dim C .$$

4. Размерность частного при делении одной величины на другую равна отношению их размерностей, т.е., если

$$Q = \frac{A}{B} ,$$

то

$$dim Q = \frac{dim A}{dim B} .$$

5. Размерность любой величины, возведенной в некоторую степень, равна ее размерности в той же степени. Так, если

$$Q = A^n ,$$

то

$$dim Q = dim^n A .$$

Таким образом, всегда можно выразить размерность производной физической величины через размерности основных физических величин с помощью степенного одночлена:

$$\dim Q = L^a \cdot M^b \cdot T^c \cdot \dots$$

где L, M, T, \dots – размерности соответствующих основных физических величин;

a, b, c, \dots – показатели размерности.

Каждый из показателей размерности может быть положительным или отрицательным. Целым или дробным числом, нулем. Если все показатели размерности равны нулю, то такая величина называется безразмерной.

Итак, размерность является качественной характеристикой измеряемой величины. Она отображает ее связь с основными величинами и зависит от их выбора. Как указывал М. Планк, вопрос об «истинной» размерности любой величины «имеет не больше смысла, чем вопрос об «истинном названии какого-либо предмета». По этой причине в гуманитарных науках, искусстве, квалиметрии, где номенклатура основных величин не определена, теория размерностей не находит эффективного применения. В физике, напротив, методами теории размерности нередко удается получить важные самостоятельные результаты. Формальное применение алгебры размерностей иногда позволяет определить неизвестную зависимость между физическими величинами.

Пример. В результате измерений установлено, что при движении по окружности сила F , прижимающая тело к опоре, в какой-то степени зависит от скорости V , массы m и радиуса окружности r :

$$F = V^a \cdot m^b \cdot r^c .$$

Каков вид этой зависимости?

Решение: На основании алгебры размерностей

$$\dim F = \dim^a V \cdot \dim^b m \cdot \dim^c r ,$$

но

$$\dim F = L \cdot M \cdot T^{-2} ; \dim m = M ; \dim V = L \cdot T^{-1} ; \dim r = L .$$

Отсюда

$$L \cdot M \cdot T^{-2} = (L \cdot T^{-1})^a \cdot M^b \cdot L^c = L^{a+c} \cdot M^b \cdot T^{-a} ,$$

$$a + c = 1 ; b = 1 ; -a = -2 ,$$

$$a = 2 ; b = 1 ; c = -1 .$$

Таким образом,

$$F = V^2 \cdot \frac{m}{r} .$$

Теория размерностей повсеместно применяется для определения проверки правильности сложных формул. Если размерности левой и правой частей не совпадают, то в выводе формулы, к какой бы области знаний она ни относилась, следует искать ошибку.

2.3. Количественная характеристика измеряемых величин

Количественной характеристикой измеряемой величины служит ее размер. Получение информации о размере физической или нефизической величины является содержанием любого измерения. Простейший способ получения такой информации, позволяющий составить некоторое представление о размере измеряемой величины, состоит в сравнении его с другим по принципу «что больше» или «что хуже (лучше)». Более подробная информация о том, на сколько больше (меньше) или во сколько раз лучше (хуже), иногда даже не требуется. При этом число сравниваемых между собой размеров может быть очень большим. Расположенные в порядке возрастания или убывания размеры измеряемых величин образуют шкалу порядка. Например, на соревнованиях мастерство исполнителей определяется их местом, занятым в итоговой таблице. Последняя, таким образом, является шкалой порядка, отражающая тот факт, что мастерство одних выше мастерства других. При этом не известно, в какой степени (на сколько или во сколько раз). Расстановка размеров в порядке их возрастания или убывания с целью получения измерительной информации по шкале порядка называется ранжированием.

Для измерения по шкале порядка несколько точек на ней можно закрепить в качестве опорных (*реперных*).

Знания, например, измеряют по реперной шкале порядка, имеющей следующий вид: неудовлетворительно, удовлетворительно, хорошо, отлично. Точкам реперной шкалы могут быть поставлены в соответствие цифры, называемые баллами. Например, интенсивность землетрясений измеряется по 12-и балльной международной шкале MSK-64, сила ветра – по шкале Бофорта.

Недостатком реперных шкал является неопределенность интервалов между реперными точками. Поэтому баллы нельзя складывать, перемножать, делить и т.д. Более совершенными в этом отношении являются шкалы, составленные из строго определенных интервалов – *шкалы интервалов*. По шкале интервалов можно уже судить не только о том, что один размер больше другого, но и о том, на сколько, т.е. на шкале интервалов определены такие математические действия, как сложение и вычитание.

Однако по шкале интервалов нельзя сказать, во сколько раз один размер больше другого. Это объясняется тем, что на шкале интервалов известен масштаб, а начало отсчета может быть произвольным.

Если в качестве одной из двух реперных точек выбрать такую, в которой размер не принимается равным нулю (что приводит к появлению отрицательных значений), а равен нулю на самом деле, то по такой шкале уже можно отсчитывать абсолютное значение размера и определить не только, на сколько один размер отличается от другого, но и во сколько раз. Эта шкала называется *шкалой отношений*. Примером может служить температурная шкала Кельвина. В ней за начало отсчета принят абсолютный ноль, при котором прекращается тепловое движение молекул. Более низкой температуры быть не может. Второй реперной точкой служит температура замерзания воды. По шкале Цельсия интервал между этими точками равен $273,16^{\circ}\text{C}$. Поэтому на шкале Кельвина его делят на равные части, составляющие $1/273,16$ интервала. Каждая такая часть называется *кельвином* и равна градусу Цельсия, что значительно облегчает переход от одной к другой шкале.

В зависимости от того, на какие интервалы разбита шкала, один и тот же размер представляется по-разному. Например, 0,001 км; 1 м; 100 см – три варианта представления одного и того же размера. Их называют *значениями* измеряемой величины. Таким образом, значение измеряемой величины – это выражение ее размера в определенных единицах измерения. Другими словами, значение измеряемой величины Q определяется ее числовым значением q и некоторым размером $[Q]$, принятым за *единицу измерения*:

$$Q = q[Q].$$

Увеличение или уменьшение $[Q]$ влечет за собой обратно пропорциональное изменение q .

2.4. Единицы измерений

Числовое значение измеряемой величины зависит от того, какие используются единицы измерений. Поэтому роль последних очень велика. Если допустить произвол в выборе единиц, то результаты измерений окажутся несопоставимы между собой, т.е. нарушится единство измерений. Чтобы этого не произошло, единицы измерений устанавливаются по определенным правилам и закрепляются законодательным путем.

Как уже говорилось, в физике общие правила конструирования систем единиц были сформулированы Гауссом в 1832 г. Тогда же им была разработана система единиц, названная абсолютной, с основными единицами – миллиметр, миллиграмм, секунда. В дальнейшем стали

появляться все новые и новые системы единиц, пока их обилие не стало тормозом научно-технического прогресса. Принятая XI Генеральной конференцией по мерам и весам в 1960 г. Международная система единиц с изменениями и дополнениями стала обязательной в СССР и Европе с 1 января 1980 г.

Основными единицами СИ являются:

– метр (международное обозначение *m*, русское – м) – единица длины, равная пути, пройденному светом за $1/299792458$ долю секунды;

– килограмм (международное обозначение *kg*, русское – кг) – единица массы, равная массе международного прототипа килограмма;

– секунда (международное обозначение *s*, русское – с) – единица времени, равная 9192631770 периодам излучения, соответствующего переходу между двумя сверхтонкими уровнями основного состояния атома цезия-133;

– ампер (международное обозначение *A*, русское – А) – единица силы электрического тока. Ампер равен силе неизменяющегося тока, который, проходя по двум параллельным прямолинейным проводникам бесконечной длины и ничтожно малого сечения, расположенных в вакууме на расстоянии 1 м друг от друга, вызвал бы на каждом участке проводника длиной 1 м силу взаимодействия, равную 2×10^{-7} Н;

– кельвин (международное обозначение *K*, русское – К) – единица термодинамической температуры, равная $1/273,16$ части термодинамической температуры тройной точки воды;

– кандела (международное обозначение *cd*, русское – кд) – единица силы света. Кандела равна силе света в заданном направлении источника, испускающего монохроматическое излучение частотой 540×10^{12} Гц, энергетическая сила света которого в этом направлении составляет $1/683$ Вт/ср;

– моль (международное обозначение *mol*, русское – моль) – единица количества вещества. Моль равен количеству вещества, содержащему столько же структурных элементов (атомов, молекул), сколько атомов содержится в $0,012$ кг углерода-12 (число Авогадро = $6,022 \times 10^{23}$).

Надо заметить, что при таком определении метра длина не может считаться основной единицей, поскольку выражается через другие единицы. Возможно, что в ближайшее время это определение будет пересмотрено.

Предусмотрены также две дополнительные единицы:

– радиан (международное обозначение *rad*, русское – рад) – единица плоского угла, равная внутреннему углу между двумя радиусами окружности, длина дуги между которыми равна радиусу;

–стерадиан (международное обозначение *sr*, русское – ср) – единица телесного угла. Стерадиан равен телесному углу с вершиной в центре сферы, вырезающему на поверхности этой сферы площадь, равную площади квадрата со стороной, равной радиусу сферы.

Десятичные кратные и дольные единицы образуются с помощью множителей и приставок:

Множитель	Приставка
10^{18}	[Э]кса
10^{15}	[П]ета
10^{12}	[Т]ера
10^{-12}	[П]ико
10^{-15}	[Ф]емто
10^{-18}	[А]тто

К наименованию допускается добавлять только одну приставку, например пикофарада, а не микропикофарада. Кратные и дольные единицы выбирают обычно таким образом, чтобы числовое значение находилось в диапазоне от 0,1 до 1000 (например, для длины $l=7,5 \times 10^{-5} \text{ м} = 75 \text{ мкм} = 0,075 \text{ мм} = 75000 \text{ нм}$ следует выбрать 75 мкм). От этого правила отступают при составлении таблиц числовых значений одной и той же величины или при сопоставлении этих значений в тексте, а также в тех областях, где традиционно применяется конкретная единица (в машиностроении на чертежах размер всегда указывается в миллиметрах).

2.5. Воспроизведение основных единиц физических величин

Основные единицы в настоящее время воспроизводятся только централизованно. Эталоны основных единиц воспроизводят их на основании определений. Каждый эталон состоит из воспроизводящей части и приспособлений, обеспечивающих съем и передачу информации о размере единицы. Во всех без исключения случаях результат воспроизведения является случайной величиной.

Основных единиц в Международной системе семь: секунда, метр, килограмм, кельвин, кандела, ампер и моль. Соответственно должно быть и семь государственных первичных эталонов основных единиц. Однако в эталоне моля нет необходимости. В $0,012 \text{ кг}$ изотопа углерода-12 содержится $6,022 \times 10^{23}$ атомов. Это число называется числом Авогадро. Если число структурных элементов, составляющих вещество, известно, то деление его на число Авогадро дает количество вещества в молях. Можно при необходимости воспроизвести 1 моль любого вещества как $6,022 \times 10^{23}$ его структурных элементов. Масса одного моля водорода например, составляет 2 г, кислорода – 32 г., воды – 18 г и т.д.

Государственный первичный эталон единиц времени и частоты и шкалы времени воспроизводит основную единицу СИ – секунду в соответствии с ее определением. Работает воспроизводящая часть эталона следующим образом. Атомы цезия-133 испускаются нагретым источником. Пучок этих атомов попадает в неоднородное магнитное поле. Угол отклонения атомов в таком поле определяется их магнитным моментом. Поэтому неоднородное магнитное поле позволяет выделить из пучка атомы, находящиеся на определенном энергетическом уровне. Эти атомы направляются в объемный резонатор, пролетая через который взаимодействуют с переменным электромагнитным полем сверхвысокой частоты. Частота электромагнитных колебаний в резонаторе может регулироваться в небольших пределах. При совпадении ее с частотой, соответствующей энергии квантовых переходов, происходит поглощение энергии СВЧ поля, и атомы цезия-133 переходят в основное состояние. Отклоняющей магнитной системой они направляются на детектор. Ток детектора при настройке резонатора на частоту квантовых переходов оказывается максимальным. Этой частоте приписывают значение 9192631770 Гц , а промежуток времени, равный 9192631770 периодам СВЧ колебаний, принимается равным 1 с .

Выбор числа 9192631770 объясняется следующим образом. До 1960 г. секунда определялась как $1/86400$ часть солнечных суток (среднего значения суток в течение года). Стандартное отклонение этой величины составляет 10^{-7} с . С 1960 по 1967 гг. за секунду принималась $1/31556925.9747$ часть тропического года – промежутка времени между двумя последовательными прохождением Солнцем точки весеннего равноденствия. Продолжительность тропического года не постоянна, поэтому для расчетов был выбран конкретный 1900 г. Период обращения Земли вокруг Солнца более стабилен, чем Земли вокруг оси. Поэтому стандартное отклонение секунды по новому определению уменьшилось до 10^{-10} с . Стремление к еще большему повышению точности воспроизведения секунды побудило участников XIII Генеральной конференции по мерам и весам принять в 1967 г. современное ее определение, стандартное отклонение которого составляет 10^{-13} с . Размер секунды при этом решено было не менять, чем и объясняется цифра 9192631770 , связывающая события элементарного и планетарного масштабов.

Долговременная стабильность цезиевого репера частоты невелика. Поэтому для хранения единиц времени и частоты в состав государственного первичного эталона входит водородный мазер. Принцип его действия основан на том, что процессы передачи и поглощения энергии атомами вещества являются константой при одинаковых условиях. Конструкция лазера на атомарном водороде состоит из стеклянной трубки, в которой под действием электрического разряда происходит диссоциа-

ция молекул водорода. Пучок атомов водорода через коллиматор попадает в неоднородное магнитное поле шестиполюсного осевого магнита, где претерпевает пространственную сортировку. В результате этой сортировки на вход накопительной ячейки, расположенной в объемном резонаторе, попадают лишь атомы водорода, находящиеся на верхнем энергетическом уровне. Находящийся внутри многослойного экрана высокочастотный резонатор настроен на частоту используемого квантового перехода. Взаимодействие возбужденных атомов с высокочастотным полем резонатора (в течение примерно 1с) приводит к их переходу на нижний энергетический уровень с одновременным излучением квантов энергии на частоте $1420405751,8$ Гц. Это вызывает самовозбуждение генератора, частота которого отличается высокой стабильностью. Ее значение периодически поверяется по цезиевому реперу.

Наряду с водородным мазером для хранения шкал времени в состав государственного первичного эталона единиц времени и частоты и шкалы времени входит группа квантово-механических часов. Это непрерывно действующий сложный технический комплекс, главное внимание которого уделено поддержанию длительного режима работы с высокой стабильностью показаний. Диапазон временных интервалов, воспроизводимых эталоном, составляет $10^9 \dots 10^8$ с.

Принятое на XVII Генеральной конференции по мерам и весам в 1983 г. новое определение метра позволило выразить эту единицу СИ через единицу времени – секунду. Однако секунда воспроизводится в сверхвысокочастотном диапазоне радиоволн, а метр по определению должен воспроизводиться в оптическом. Оптические частоты на 3-4 порядка выше СВЧ. Потребовалось, образно говоря, из одного диапазона в другой перекинуть мост для передачи эталонной точности. Входящий в состав государственного первичного эталона единиц времени и частоты и шкалы времени радиооптический частотный мост (РОЧМ) решает эту задачу в несколько этапов, на каждом из которых используется принцип повышения частоты, общий для всех синтезаторов частот. Этот принцип заключается в смещении на нелинейном элементе высокочастотных гармоник опорных сигналов. На последнем этапе с помощью интерференционного компаратора на основании измерения порядка интерференции N аттестуются концевые и штриховые меры длины согласно соотношению:

$$L = N\lambda .$$

Таким образом, воспроизведение единиц времени, частоты и длины осуществляется единым техническим комплексом – государственным первичным эталоном единиц времени, частоты и длины. Единица длины – метр воспроизводится со стандартным отклонением $S = 5 \times 10^{-10}$ м.

В перспективе планируется еще повысить точность воспроизведения метра не менее чем на порядок.

Единица массы – килограмм – воспроизводится до сих пор гирей из платиноиридиевого сплава (90% Pt и 10% Ir), изготовленной в 1883 г. английской фирмой Джонсон, Маттей и К^о и полученной по жребью Россией в 1889 г. согласно метрической конвенции. Гиря имеет форму цилиндра с высотой и диаметром основания, равным 39 мм. Она хранится на кварцевой подставке под двумя стеклянными колпаками в стальном шкафу особого сейфа, находящегося в термостатированном помещении НПО «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева». В состав государственного первичного эталона единицы массы, кроме гири, входят эталонные весы, на которых один раз в 10 лет с помощью манипуляторов дистанционно сличаются с эталонной гирей эталоны – копии. Несмотря на все предосторожности, как показывают результаты международных сличений, за 90 лет масса эталонной гири, воспроизводящей килограмм со стандартным отклонением $(1...2) \times 10^{-8}$ кг, увеличилась на 0,02 мг. Объясняется это адсорбцией молекул из окружающей среды, оседанием пыли на поверхности гири и образованием тонкой коррозионной пленки. В перспективе предполагается перейти к воспроизведению единицы массы через счетное число атомов какого-нибудь химического элемента, скорее всего кремния-28. Для этого, однако, необходимо повысить точность определения числа Авогадро, на что сейчас направлены усилия многих метрологических лабораторий в мире.

Воспроизведение единицы термодинамической температуры – кельвина – как $1/273,16$ части термодинамической температуры тройной точки воды не представляет особого труда. Температуру тройной точки воды удастся поддерживать со стандартным отклонением 0,2 мК, чем и определяется стандартное отклонение воспроизведения кельвина, составляющее примерно 10^{-3} К. Трудности возникают тогда, когда появляется необходимость измерить температуру, отличающуюся от 273,16 К. Свойство нагретости тел можно представить в виде отдельных частей только мысленно. На практике для определения количественной характеристики этого свойства используют тепловое расширение этих тел (например столба ртути или спирта), изменение электрического сопротивления и т.д. Термометрические свойства различных веществ сложным образом и недостаточно точно отражают изменение в широком диапазоне их термодинамической температуры. Поэтому на температурной шкале устанавливается несколько реперных точек, температура в которых определяется газовым термометром, использующим соотношение между объемом, давлением и температурой идеального газа. Это наиболее точные, но очень трудоемкие измерения, выполняемые лишь в немногих ведущих метрологических лабораториях мира. Основная сложность их состоит в учете несоответствия реального газа идеальному. В

промежутках между реперными точками температура измеряется с помощью термометрических веществ, градуированных по этим точкам.

С 1968 г. по решению XIII Генеральной конференции по мерам и весам Международная практическая температурная шкала включала 12 реперных точек, значение температуры в которых приведено в таблице:

Реперная точка	Температура, К
Тройная точка водорода	13,81
Точка кипения водорода при давлении 33330,6 Па	17,042
Точка кипения водорода при нормальном давлении	20,28
Точка кипения неона	27,102
Тройная точка кислорода	54,361
Точка кипения кислорода	90,188
Тройная точка океанской воды	273,16
Точка кипения океанской воды	373,16
Точка затвердевания олова	505,118
Точка затвердевания цинка	692,73
Точка затвердевания серебра	1235,08
Точка затвердевания золота	1337,58

В диапазоне $1,5...4,2$ К воспроизведение температуры обеспечивается государственным специальным эталоном единицы температуры на основании шкалы гелия.

В диапазоне $4,2...13,81$ К температура воспроизводится государственным специальным эталоном единицы температуры на основе германиевого термометра сопротивления.

В диапазоне $13,81...273,16$ К государственным первичным эталоном единицы температуры воспроизводится шесть реперных точек, а значение температуры в интервалах между ними определяется эталонным платиновым термометром сопротивления.

В диапазоне $273,16...1337,58$ К государственным первичным эталоном единицы температуры воспроизводятся тройная точка воды, а также точки затвердевания олова, цинка, серебра и золота. В промежутках между ними температура устанавливается эталонным платиновым термометром сопротивления.

В диапазоне $1337,58...2800\text{ K}$ этим же эталоном значение температуры определяется по яркости накала рабочего тела температурной лампы, которая градуируется последовательным удвоением яркости черного тела при температуре затвердевания золота.

В диапазоне $10000...150000\text{ K}$ используется государственный специальный эталон единицы температуры, предназначенный для обеспечения единства измерений температуры плазменных источников излучения.

Единица силы света – кандела – по последнему определению, данному XVI Генеральной конференцией по мерам и весам в 1979 г., воспроизводится государственным первичным эталоном, основу которого составляет модель черного тела при температуре 2700 K . Излучение черного тела при такой температуре мало отличается по спектральному составу от излучения ламп накаливания, широко используемых в качестве источников света. Спектральную составляющую излучения черного тела на длине волны $555,016\text{ нм}$ выделяют светофильтром, а энергию ее контролируют радиометром. Стандартное отклонение при воспроизведении канделы составляет 10^{-3} кд.

Единица силы тока – ампер – по определению воспроизводится не может, т.к. в нем фигурируют проводники «бесконечной длины и ничтожно малой площади поперечного сечения». Однако в некоторых частных случаях (например в случае двух соленоидов) можно рассчитать силу взаимодействия электрических токов, протекающих по проводникам конечных размеров с достаточной точностью.

В государственном первичном эталоне единицы силы электрического тока – ампера – используется взаимодействие электрических токов в последовательно соединенных коаксиальных соленоидах (катушках) с однослойной обмоткой. Наружный соленоид неподвижен, а внутренний, подвешенный к одному из плеч коромысла весов, при включении электрического тока втягивается внутрь неподвижного с силой

$$F = kI^2,$$

где расчетный коэффициент k зависит от геометрических соотношений в электродинамической системе. На равноплечих весах эта сила уравновешивается массой гирь. Согласно расчетам, при массе уравновешивающих гирь около 8 г сила электрического тока составляет 1 ампер. Стандартное отклонение при воспроизведении государственным первичным эталоном не превышает $4 \times 10^{-6}\text{ A}$.

Эталонная база насчитывает в настоящее время 145 государственных эталонов, причем их число продолжает увеличиваться. Эту тенденцию нельзя назвать положительной, поскольку независимое воспроизведение основных единиц, невысокая точность и несогласованность воспроизведения на их основе производных единиц в разных условиях и диапазонах их значений не способствуют обеспечению единства измерений. Поэтому главной задачей современной метрологии является создание полной системы взаимосвязанных естественных эталонов на ос-

нове использования фундаментальных физических констант и высоко-стабильных квантовых явлений.

2.6. Квантовая метрология

В начале 20 века немецкий физик М. Планк показал, что основные единицы для нашей Вселенной, однозначно предопределенные наиболее общими законами физики, могут быть составлены из фундаментальных физических констант: скорости света c , постоянной Планка h и гравитационной постоянной γ . Значения этих констант, фигурирующие в виде коэффициентов в уравнениях основных физических теорий – классической и квантовой электродинамике и общей теории относительности – являются максимально стабильными и не зависящими от внешних условий.

Однако планковские единицы длины $l \approx 10^{-33}$ см, времени $t \approx 10^{-43}$ с, массы $m \approx 10^{-55}$ г лежат очень далеко от используемых на практике диапазонов. Кроме того, значение гравитационной постоянной до сих пор известно с недостаточной точностью. Но самым главным недостатком планковских единиц является то, что мы не располагаем реальными физическими процессами, в которых бы они воспроизводились. В частности, науке пока неизвестны объекты, которые бы имели в точности планковскую массу или длились бы планковское время. Именно поэтому планковские единицы, несмотря на их универсальность в метрологии, пока не используются.

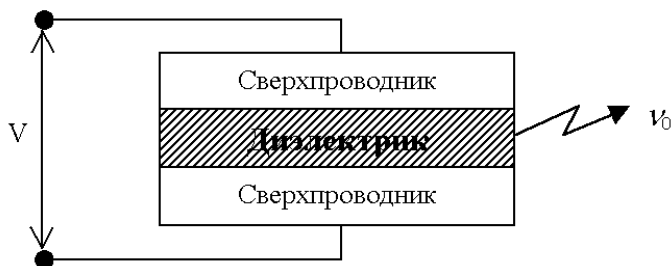


Рис. 2.1. Схематическое изображение джозефсоновского перехода

Реальная возможность создания универсальной системы естественных мер появилась после открытия так называемых *макроскопических квантовых эффектов*: сверхпроводимости, сверхтекучести и квантового эффекта Холла. В этих эффектах в результате когерентного (упорядоченного) поведения огромного числа микрочастиц происходит квантование строго определенными порциями той или иной макроскопической величины.

Рассмотрим, в качестве примера *эффект Джозефсона*, который возникает при контакте двух сверхпроводников, разделенных тонким слоем диэлектрика (рис. 2.1). Куперовские пары (пары электронов, обеспечивающих сверхпроводимость) могут просачиваться (туннелировать) через диэлектрик из одного сверхпроводника в другой. При этом, если фазы волновых функций пар в двух сверхпроводниках окажутся различными, то через переход Джозефсона будет протекать ток в отсутствие разности потенциалов. Такое явление получило название стационарного эффекта Джозефсона.

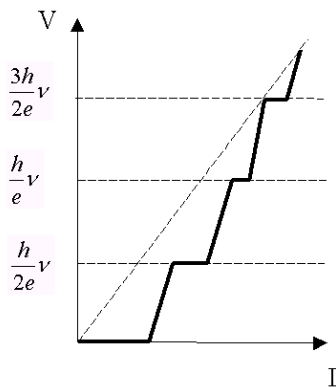


Рис. 2.2. Вольт-амперная характеристика джозефсоновского перехода

Если приложить к двум сторонам джозефсоновского перехода напряжение U , то при туннелировании куперовской пары из одного сверхпроводника в другой избыток ее энергии $2eU$ излучится в виде кванта света – фотона. Частота ν_0 этого кванта определяется законом сохранения энергии:

$$h\nu_0 = 2eU .$$

Это явление получило название нестационарного эффекта Джозефсона.

Если, наоборот, облучать джозефсоновский переход излучением с частотой ν , то при совпадении этой частоты с характерной для данного напряжения U частотой ν_0 возникает резонансное взаимодействие. Такой же резонанс наступает при $\nu = \nu_0/n$, где n – любое целое число, в результате чего на вольт-амперной характеристике появляются особенности в виде ступенек (рис. 2.2) при напряжениях

$$U = n \frac{h}{2e} \nu .$$

В результате использования эффекта Джозефсона основаны эталоны единицы напряжения – вольта – во всех промышленно развитых странах с начала 1980-х гг. В состав эталона обычно входит дискретный переход, возбуждаемый СВЧ излучением на частоте $8...10 ГГц$. Значение квантованного напряжения составляет при этом $4...10 мВ$. Столь низкое значение воспроизводимого напряжения вынуждает включать в состав эталона масштабные преобразователи напряжения различной конструкции и нормальные элементы, приводящие к потере точности. В связи с этим в последнее время были созданы интегральные схемы, включающие в себя порядка 1000 переходов и позволяющие воспроизводить напряжение непосредственно в 1 В и выше.

Контрольные вопросы

1. Что такое физическая величина?
2. Поясните сущность различия между размером и значением физической величины.
3. Что такое квалиметрия?
4. Что включает в себя система физических величин?
5. Какие типы измерительных шкал Вы знаете?
6. Что относится к основным единицам СИ?
7. Опишите работу Государственного первичного эталона единицы времени и частоты и шкалы времени.
8. Как воспроизводится единица термодинамической температуры?
9. Что такое «квантовая метрология»?

Тема 3. ВИДЫ И МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЙ

3.1. Измерение физической величины

Измерением физической величины (измерением величины, измерением) называют совокупность операций по применению технического средства, хранящего единицу физической величины, обеспечивающего нахождение соотношения (в явном или неявном виде) измеряемой величины с ее единицей, а также получение значения этой величины.

Примеры.

1. В простейшем случае, прикладывая линейку к какой-либо детали, по сути, сравнивают ее размер с единицей, хранимой линейкой и, произведя отсчет, получают значение величины (длины, высоты, толщины и других параметров детали).

2. С помощью измерительного прибора сравнивают размер величины, преобразованной в перемещение указателя, с единицей, хранимой шкалой этого прибора, и производят отсчет.

Примечание:

Определение понятия «измерение» удовлетворяет общему уравнению измерений, что имеет существенное значение в деле упорядочения системы понятий в метрологии. В нем учтена техническая сторона (совокупность операций), раскрыта метрологическая суть измерений (сравнение с единицей) и показан гносеологический аспект (получение значения величины).

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

3.2. Способы измерений

По способу получения числового значения измеряемой величины все измерения делят на прямые, косвенные, совокупные и совместные.

Прямым называют измерение, при котором искомое значение величины находят непосредственно из опытных данных. Прямое измерение можно условно выразить формулой

$$Y = X ,$$

где X – значение, непосредственно получаемое из опыта, а Y – искомое значение измеряемой величины. К этому виду измерений относятся измерения различных физических величин при помощи приборов, градуированных в установленных единицах. Например, сила тока – амперметром, температура – термометром и т.д.

Косвенным называют измерение, результат которого определяют на основании прямых измерений величин, связанных с измеряемой величиной известной зависимостью. При косвенных измерениях числовое значение измеряемой величины находят путем вычисления по формуле

$$Y = f(X_1, X_2, \dots, X_n),$$

где X_n – значение, непосредственно получаемое из опыта, а Y – искомое значение измеряемой величины. Например, измерение удельного электрического сопротивления проводника по его сопротивлению, длине и площади поперечного сечения.

Совокупными называют проводимые одновременно измерения нескольких одноименных величин, при которых значения искомых величин находят решением системы уравнений, получаемых при прямых измерениях (например, измерение массы отдельных гирь набора по известной массе одной из них и по результатам прямых сравнений масс различных сочетаний гирь).

Совместными называют производимые одновременно измерения двух или нескольких неоднородных величин для нахождения функциональной зависимости между ними, т.е. решение системы уравнений вида:

$$\left. \begin{aligned} F_1(Y_1, Y_2, Y_3, \dots, X_1, X_2, X_3, \dots) &= 0 \\ F_2(Y_1, Y_2, Y_3, \dots, X_1, X_2, X_3, \dots) &= 0 \\ F_3(Y_1, Y_2, Y_3, \dots, X_1, X_2, X_3, \dots) &= 0 \\ \dots & \end{aligned} \right\},$$

где X_k – значение, непосредственно получаемое из опыта, а Y_k – искомые значения измеряемых величин. В качестве примера можно привести определение коэффициентов в формуле, связывающей сопротивление резистора с его температурой:

$$R_t = R_{20} \cdot (1 + \alpha(t - 20) + \beta(t - 20)^2),$$

где R_t – сопротивление резистора при температуре $t^\circ\text{C}$; R_{20} – сопротивление резистора при температуре 20°C ; α , β и R_{20} – искомые величины. Измеряя R_t при трех разных температурах, составляя систему уравнений и решая ее, находим неизвестные параметры.

3.3. Методы измерений

Под **методом измерения** понимают прием или совокупность приемов сравнения измеряемой величины с ее единицей в соответствии с реализованным принципом измерений. Под принципом измерений понимают физическое явление, или эффект, положенное в основу измерений.

Прямые измерения, являясь самостоятельными и наиболее распространенными, в то же время служат основой для более сложных видов измерений (косвенных, совокупных и совместных). В связи с этим методы прямых измерений являются общими для всех видов измерений и в дальнейшем будут называться просто методами измерений.

С учетом того, что метод измерений представляет собой совокупность приемов использования принципов и средств измерений, различают два метода измерений: **метод непосредственной оценки** и **метод сравнений с мерой** (мера – средство измерений, предназначенное для воспроизведения физической величины заданного размера).

Классификационным признаком в таком разделении методов измерений является наличие или отсутствие меры при измерениях.

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

Метод сравнения с мерой (метод сравнения) – метод измерений, в котором измеряемую величину сравнивают с величиной, воспроизводимой мерой.

Примеры.

1. Измерение массы на рычажных весах с уравниванием гири (мерами массы с известным значением).

2. Измерение напряжения постоянного тока на компенсаторе сравнением с известной ЭДС нормального элемента.

В зависимости от наличия или отсутствия при сравнении разности между измеряемой величиной и величиной, воспроизводимой мерой, методы сравнения подразделяют на нулевой и дифференциальный.

Нулевой метод – это метод сравнения с мерой, в котором результирующий эффект воздействия величин на прибор сравнения доводят до нуля.

Дифференциальный метод – это метод сравнения с мерой, в котором на измерительный прибор воздействует разность между измеряемой величиной и известной воспроизводимой величиной.

Как в нулевом, так и в дифференциальном методе могут быть выделены методы противопоставления, замещения и совпадения.

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

Метод замещения – метод сравнения с мерой, в котором измеряемую величину замещают известной величиной, воспроизводимой мерой.

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

Для пояснения сущности приведенных определений обратимся к примерам реализации методов измерений.

Метод непосредственной оценки с отсчетом показаний по шкале прибора характеризуется тем, что лицу, осуществляющему измерение, не требуется каких-либо вычислений, кроме умножения показаний прибора на некоторую постоянную, соответствующую данному прибору. Примером данного метода измерений может служить взвешивание груза X на пружинных весах (рис. 3.1, а). Масса груза здесь определяется на основе измерительного преобразования по значению δ деформации пружины.

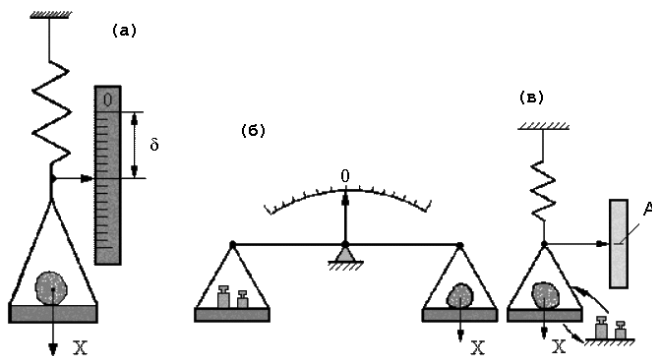


Рис. 3.1. Примеры методов измерений: непосредственной оценки (а), противопоставления (б), полного замещения (в).

Процесс измерения по методу непосредственной оценки характеризуется быстротой, что делает его часто незаменимым для практического использования. Однако точность измерения обычно оказывается невысокой из-за воздействия влияющих величин и необходимости градуировки шкал приборов.

Для точности измерения по методу непосредственной оценки при выполнении некоторых измерений, в частности линейных, применяют метод отсчета по шкале и нониусу или верньеру (вспомогательной шкале). Этот метод характеризуется использованием совпадения отметок шкал (основной и вспомогательной).

Нулевой метод измерения характеризуется равенством воздействий, оказываемых измеряемой величиной и мерой, на прибор, используемый для сравнения. В соответствии с классификацией различают нулевые методы противопоставления, замещения и совпадения. Первые два метода иногда называют соответственно методами полного противопоставления и полного замещения.

Примером нулевого метода противопоставления может служить взвешивание груза X на равноплечих весах (рис. 3.1, б), когда масса груза определяется массой гирь, уравновешивающих воздействие груза на рычаг весов. Состояние равновесия определяется по положению указателя нуль-индикатора, который в этом случае должен находиться на нулевой отметке. Весы при таком измерении выполняют функцию компаратора. Данный метод используется для измерения самых разнообразных физических величин и, как правило, обеспечивает большую точность измерения, чем метод непосредственной оценки, за счет уменьшения влияния на результат измерения погрешностей средства измерений, которое в данном случае осуществляет только сравнение воздействий, создаваемых измеряемой величиной и мерой.

Недостатком данного метода является необходимость иметь большое число мер различных значений для составления сочетаний, воспроизводящих величины, равные измеряемому, т. е. необходимость воспроизводить любое значение известной физической величины без существенного понижения точности. Как правило, это связано с существенными трудностями. Разновидностью рассмотренного метода является компенсационный метод измерений, применяемый в тех случаях, когда важно измерить физическую величину, не нарушая процесса, в котором она наблюдается. При подключении измерительного устройства, реализующего компенсационный метод, к объекту измерения на этом устройстве возникает действие, направленное навстречу действию, создаваемому изучаемым явлением. При этом создаваемое в измерительном устройстве явление изменяется до тех пор, пока не будет достигнута полная компенсация действия изучаемого явления на измерительное устройство. По размеру физической величины, создающей компенсирующее явление, судят о размере измеряемой физической величины. При условии полной компенсации изучаемое явление протекает в объекте так же, как оно протекает в случае, когда к объекту не подключено измерительное устройство.

Нулевой метод замещения состоит в том, что измеряемая физическая величина и мера последовательно воздействуют на измерительный прибор. При этом значение меры подбирают такое, чтобы воздействие этой меры на измерительный прибор было равно воздействию измеряемой физической величины. На рис. 3.1 (в) показан пример реализации метода полного замещения для случая измерения массы груза. Здесь на пружинные весы устанавливают груз X и делают отметку A на шкале как результат его взвешивания. При этом показания пружинных весов принципиально можно и не считывать. Затем снимают груз и на чашку устанавливают такой набор гирь, который обеспечивает такую же деформацию пружины, как и груз X , о чем судят по установке стрелки против отметки A .

Нулевой метод замещения применяется в тех случаях, когда производятся точные измерения параметров, так как он позволяет практически исключить влияние изменений характеристик используемого средства измерений (в рассмотренном случае – изменение характеристик пружины) на результат измерения.

Нулевой метод совпадения состоит в совпадении сигналов двух периодических процессов, характеристика одного из которых измеряется, а другого – используется в качестве меры.

Дифференциальный метод измерений характеризуется тем, что с помощью измерительного прибора методом непосредственной оценки измеряется разность между измеряемой величиной и величиной, воспроизводимой мерой. Этот метод позволяет получить высокоточные результаты даже при использовании относительно грубых средств для измерения указанной разности. Реализация дифференциального метода возможна только при условии наличия высокоточной меры, близкой по значению к измеряемой величине.

Различают дифференциальные методы противопоставления, замещения и совпадения.

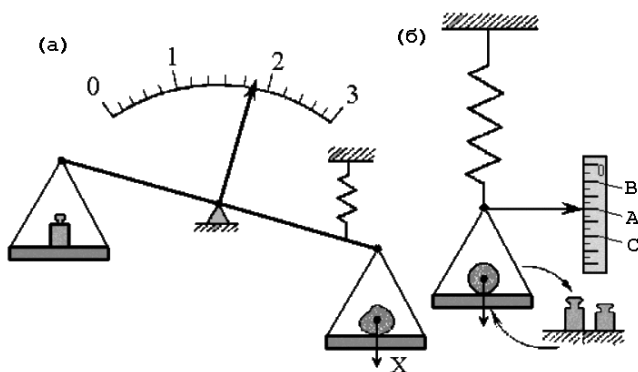


Рис. 3.2. Примеры методов измерений: неполного противопоставления (а), дифференциальный метод замещения (б).

Первые два из них иногда называют методами неполного противопоставления и неполного замещения.

Примером метода неполного противопоставления может служить взвешивание на равноплечих весах, показанных на рис. 3.2 (а). Здесь действие груза X уравнивается действием гири, служащей мерой, и силой упругой деформации пружины. В данном случае по величине деформации пружины, значение которой может быть отсчитано по шкале, измеряется разность воздействий груза и гири на пружину. Так оп-

ределяют разность их масс. Массу же груза определяют после взвешивания как сумму массы гири и показаний, считанных по шкале.

Сущность дифференциального метода замещения можно уяснить, рассмотрев пример (рис. 3.2, б) взвешивания груза X на пружинных весах, когда из имеющегося набора гирь не удастся составить сочетание, позволяющее добиться такого показания весов, при котором стрелка становится на отметку A , соответствующую показанию весов при установке на них измеряемого груза X . Предположим, что при установке на весы подобранного набора гирь стрелка весов устанавливается на отметке шкалы B . Когда к подобранному набору добавляются гири с наименьшей массой, стрелка устанавливается на отметке шкалы C . В данном случае замещение получается неполным. Для определения массы груза прибегают к интерполяции, с помощью которой по известному значению массы наименьшей гири и числу делений шкалы между отметками B и C рассчитывают значение массы груза и массы подобранного набора гирь, а затем определяют массу груза.

Сущность дифференциального метода совпадения состоит в том, что совпадение сигналов двух периодических процессов является неполным. При этом измеряется характеристика периодического процесса, представляющего собой результат взаимодействия названных выше двух периодических процессов. Результат измерения определяется так же, как во всех дифференциальных методах.

Контрольные вопросы

1. Как классифицируются способы получения числового значения измеряемой величины?
2. Что такое метод измерения?
3. Что служит классификационным признаком в разделении методов измерений на метод непосредственной оценки и метод сравнений с мерой?
4. В чем состоят различия между методами противопоставление, замещения и совпадения?

Тема 4. СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ, КЛАССИФИКАЦИЯ И МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

4.1. Средства измерения

Поскольку на практике необходимо измерять свойства общие в качественном отношении многим объектам или явлениям, эти свойства без участия органов чувств человека должны быть каким-то образом обнаружены, в чем-то должны проявиться. Технические устройства, предназначенные для обнаружения (индикации) физических свойств называют индикаторами. Например, стрелка магнитного компаса – индикатор направления силовых линий магнитного поля; осветительная электрическая лампочка – индикатор наличия электрического напряжения в сети; лакмусовая бумага – индикатор активности ионов водорода в растворах.

С помощью индикаторов устанавливается наличие измеряемой физической величины и регистрируется изменение ее значения. В этом отношении индикаторы играют роль человеческих чувств, а также значительно расширяют их возможности. Человек слышит в диапазоне $16...20000$ Гц, в то время как техническими средствами обнаруживаются звуковые колебания от инфранизких (доли герца) до ультравысоких частот. Видят люди в узком оптическом диапазоне электромагнитных волн, а инструментально регистрируются электромагнитные колебания от сверхнизкочастотных радиоволн до жесткого гамма-излучения с частотой порядка 10^{22} Гц. В то же время еще не создано устройств, которые могли бы соперничать с обонянием человека или животных.

Так как индикаторы должны обнаруживать проявления внешнего мира, важнейшей их технической характеристикой является порог обнаружения (чувствительности). Чем меньше порог – тем более слабые проявления свойства регистрируются индикатором. Современные индикаторы имеют очень низкий порог обнаружения, лежащий на уровне фоновых помех и собственных шумов аппаратуры. Последние имеют тепловую природу, поэтому для снижения порога чувствительные элементы и электронные узлы особо чувствительных индикаторов охлаждаются до температуры, близкой к абсолютному нулю.

Индикаторы являются средствами измерения по шкале порядка. Для измерения по шкале отношений необходимо сравнивать неизвестный размер с известным и выразить первый через второй в кратном или дольном отношении. Если физическая величина известного размера есть в наличии, то она непосредственно используется в сравнении. Так измеряют длину – линейкой, плоский угол – транспортиром, электрическое сопротивление – с помощью магазина сопротивлений. Если же нет физической величины известного размера, то сравнивается реакция

прибора на воздействие измеряемой величины. Так измеряют: силу электрического тока – амперметром, давление – манометром, термодинамическую температуру – термометром. При этом предполагается, что соотношение между откликами такое же, как и между сравниваемыми размерами. Для облегчения сравнения отклик на известное воздействие фиксируют на шкале прибора еще на стадии его изготовления, после чего разбивают шкалу на деления в кратном и дольном отношении. Эта процедура называется градуировкой шкалы.

Все технические средства, используемые при измерениях и имеющие нормированные метрологические свойства, называются **средствами измерений**. К ним относятся все вещественные меры, измерительные преобразователи, измерительные приборы и установки.

Вещественные меры предназначены для воспроизведения физической величины заданного размера, который характеризуется так называемым номинальным значением. При условии, что указывается точность, с которой воспроизводится номинальное значение физической величины, гиря является мерой массы, конденсатор – мерой емкости и т.д. Различают однозначные и многозначные меры, а также наборы мер. Гиря и конденсатор – однозначные меры, линейка и переменный конденсатор – многозначные. Измерения методом сравнения с мерой выполняются с помощью **компаратора**. Им могут служить равноплечные весы, измерительный мост.

Измерительные преобразователи – это средства измерений, преобразующие измерительную информацию в форму, удобную для дальнейшего преобразования, хранения, обработки, но, как правило, недоступную для непосредственного восприятия наблюдателем. К измерительным преобразователям относятся термопары, измерительные усилители, преобразователи давления. По месту, занимаемому в измерительной цепи, они делятся на первичные, промежуточные и т.д.

Измерительный прибор представляет собой совокупность преобразовательных элементов, образующих измерительную цепь, и отсчетного устройства. В отличие от вещественной меры измерительный прибор не воспроизводит известное значение физической величины.

Измерительные установки состоят из функционально объединенных средств измерений и вспомогательных устройств, собранных в одном месте. В измерительных системах эти средства и устройства территориально разобщены и соединены каналами связи. И в установках, и в системах измерительная информация может быть представлена в форме, удобной как для непосредственного восприятия, так и для автоматической обработки, передачи и использования в автоматизированных системах управления.

Качество измерений зависит от многих факторов, однако в некоторых случаях требуется заранее знать, какое влияние на результаты из-

мерений и их точность оказывают средства измерений. К таким случаям относятся:

- Априорная оценка точности измерений. При ее выполнении наряду с другими факторами должна учитываться точность средств измерений;

- Выбор средств измерений, применение которых в известных условиях обеспечит требуемую точность измерений. Эта задача является обратной к предыдущей;

- Сравнение различных средств измерений по их метрологическим свойствам как на этапе проектирования, так и в процессе эксплуатации.

Характеристики средств измерений, оказывающих влияние на результаты измерений и их точность, называются **метрологическими характеристиками средств измерений**. Их можно разбить на группы:

- Характеристики, предназначенные для определения показаний средств измерений. К ним относятся: функция преобразования измерительного преобразователя; значения однозначной или многозначной меры; вид выходного кода, разрядность кода средств измерения, предназначенных для выдачи результатов в цифровом коде.

- Характеристики качества показаний – точности и правильности. Точность показания определяется его средним квадратическим отклонением. Правильность обеспечивается внесением поправки, устанавливаемой при метрологической аттестации средства измерений.

- Характеристики чувствительности средства измерений к влияющим величинам. К ним относятся функции влияния и учет изменений метрологических характеристик средств измерений, вызванных изменениями влияющих величин.

- Динамические характеристики средств измерений, учитывающие их инерционные свойства.

- Характеристики взаимодействия с устройствами на выходе и на входе средств измерений.

- Неинформативные параметры выходного сигнала, обеспечивающие нормальную работу устройства, подключенного к средству измерений. Например, выходным сигналом преобразователя напряжения в среднюю частоту следования импульсов является последовательность импульсов. Для определения значения измеряемого напряжения к выходу преобразователя подключается частотомер. Он будет нормально работать только в том случае, если амплитуда и форма импульсов преобразователя, хотя они не несут информацию о значении измеряемого напряжения, будут удовлетворять определенным условиям.

Метрологические характеристики являются показателем качества и технического уровня всех без исключения средств измерений.

Учет всех метрологических характеристик средств измерений – сложная и трудоемкая процедура, оправданная только при измерениях

очень высокой точности, характерных только для метрологической практики. В обиходе и на производстве такая точность, как правило, не нужна. Средства измерений, используемые в повседневной практике, принято делить по точности на классы. **Классом точности** называется обобщенная характеристика всех средств измерений данного типа, обеспечивающая правильность их показаний и устанавливающая оценку снизу точности показаний. У плоскопараллельных концевых мер длины, например, такими характеристиками являются: пределы допустимых отклонений от номинальной длины и плоскопараллельности; пределы допустимого изменения длины в течение года.

Обозначения классов точности наносятся на циферблаты, корпуса средств измерений, приводятся в нормативных актах. Обозначения могут быть в виде заглавных букв латинского алфавита, римских цифр. Их значение расшифровывается в нормативно-технической документации. Если же класс точности обозначается арабскими цифрами с добавлением какого-либо условного знака, то эти цифры непосредственно устанавливают оценку снизу точности показаний средств измерений.

Для средств измерений с равномерной, практически равномерной или степенной шкалой, нулевое значение выходного (входного) сигнала у которых находится на краю или вне диапазона измерений, обозначение класса точности арабской цифрой из ряда (1, 1.5, 1.6, 2, 2.5, 3, 4, 5, 6) $\times 10^n$, где $n = 1, 0, -1, -2$ и т.д., говорит, что значение измеряемой величины не отличается от того, что показывает указатель отсчетного устройства, более чем на соответствующее число процентов от верхнего предела измерений. Заключение цифры в окружность означает, что проценты исчисляются непосредственно от того значения, которое показывает указатель.

4.2. Метрологическая надежность средств измерений

В процессе эксплуатации средства измерений может возникнуть поломка или неисправность, называемая отказом. Внезапные отказы вследствие их случайности прогнозировать нельзя. Для большого числа промышленно выпускаемых электрических и радиотехнических элементов средств измерений (транзисторов, резисторов, конденсаторов и т.д.) имеются специальные таблицы, в которых указывается интенсивность их отказов – количество отказов в единицу времени. Если таких данных нет, то их можно получить экспериментальным путем в результате испытания элементов на надежность. Для этого N однотипным элементам задаются одинаковые режимы работы и фиксируется число отказов M за время T . Тогда интенсивность отказа элемента вычисляется по формуле

$$\lambda = \frac{M}{N \cdot T}.$$

Зная интенсивность отказов каждого элемента, можно определить интенсивность отказов средства измерений, состоящего из этих элементов:

$$\lambda_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n \lambda_i m_i ,$$

где n – количество типов элементов, входящих в состав средства измерений; m_i – количество элементов i -го типа.

Когда речь идет о внезапных отказах, вероятность безотказной работы определяется как

$$P(t) = e^{-\lambda_{\Sigma} t}$$

и наработка на отказ (среднее время безотказной работы)

$$T_{cp} = \frac{1}{\lambda_{\Sigma}} .$$

По характеру своего проявления внезапные отказы являются явными. Они сравнительно легко обнаруживаются и после выяснения их причин – устраняются. Сложнее дело обстоит с диагностикой так называемых постепенных отказов, которые заключаются в том, что с течением времени метрологические характеристики перестают соответствовать установленным для них нормам, и средство измерений вследствие этого становится непригодным. Такие отказы являются скрытыми и могут быть обнаружены только при очередной проверке средства измерений, поэтому межповерочные интервалы устанавливают исходя из метрологической надежности средств измерений.

Метрологическая надежность – это свойство средств измерений сохранять установленные значения метрологических характеристик в течение определенного времени при нормальных режимах и рабочих условиях эксплуатации. Метрологическим отказом называют выход метрологической характеристики средства измерений за пределы нормы. Метрологические отказы являются следствием старения и износа элементов и узлов средств измерений, так что их интенсивность со временем возрастает.

На практике межповерочные интервалы устанавливают исходя из следующей формулы:

$$T = \frac{\ln(1 - P_{м.отк})}{\ln P_{м}(t)} t ,$$

где $P_{м}(t)$ – вероятность безотказной в метрологическом смысле работы, а $P_{м.отк}$ – вероятность метрологического отказа за время между поверками, выбираемая из следующих установок:

Для средств измерений, используемых при	Значение вероятности метрологического отказа
технических измерениях	0,2...0,1
передаче информации о размере единиц	0,15...0,05
особо важных, ответственных измерениях	0,05...0,01

4.3. Режимы работы средств измерений

4.3.1. Установившийся режим

Указатель отчетного устройства любых измерительных приборов (амперметров, вольтметров, частотомеров как электронных, так и аналоговых) останавливается около одной из отметок шкалы спустя некоторое время после начала измерения физической величины постоянного размера. У показывающих измерительных приборов это время называется *временем установления показания*, а режим работы средства измерений после установления показания – *установившийся режим*.

У измерительных преобразователей реакция на входное воздействие называется *откликом*, или *выходным сигналом*. Это может быть отклонение стрелки, изменение длины столба термометрической жидкости и т.п. Время установления выходного сигнала называется *временем реакции* средства измерений. Зависимость между входным воздействием и откликом на него измерительного преобразователя, а также измерительного прибора с неименованной шкалой или шкалой, градуированной в единицах, отличных от единиц входной величины, называется *функцией преобразования*. В установившемся режиме функция преобразования представляет собой линейное или нелинейное алгебраическое уравнение статике.

4.3.2. Переходный режим

При времени, меньшем времени установления показаний, режим работы средств измерений называется *переходным*. В этом режиме сказываются инерционные свойства средства измерений: оно не успевает должным образом отреагировать на изменение входного воздействия, в результате чего выходной сигнал оказывается искаженным по сравнению с входным. В переходном режиме отклик средства измерений не соответствует значению измеряемой величины, установленному при градуировке шкалы. Такой режим описывается нелинейным или линейным дифференциальным уравнением динамики:

$$a_n \frac{d^n X}{dt^n} + a_{n-1} \frac{d^{n-1} X}{dt^{n-1}} + \dots + a_1 \frac{d X}{dt} + a_0 X = Q(t),$$

где $Q(t)$ – известное входное воздействие, называемое также входным сигналом, вызывающим на себя отклик средства измерений;

$X(t)$ – выходной сигнал.

4.3.3. Стационарный режим

До сих пор предполагалось, что переходной режим работы средства измерений с течением времени переходит в установившийся. Однако так бывает далеко не всегда. Например, при непрерывно изменяющемся входном воздействии инерционность средства измерений может привести к тому, что оно все время будет работать в неустановившемся режиме, характеризующимся искажением входного воздействия. В качестве примера рассмотрим работу пикового детектора – измерительного преобразователя, находящего широкое применение в вольтметрах переменного напряжения.

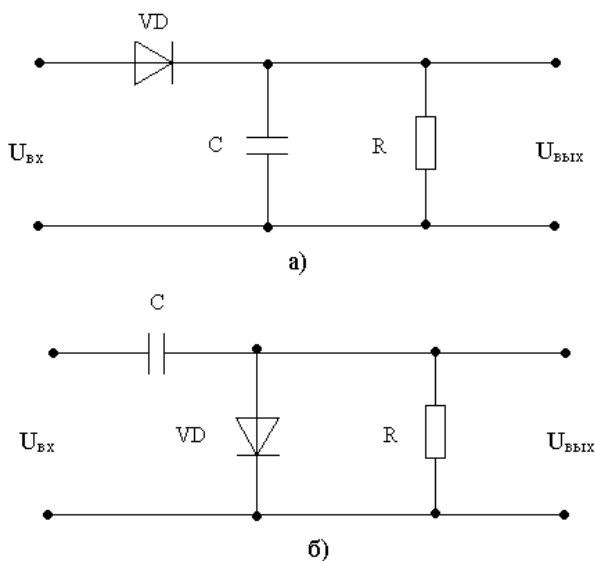


Рис. 4.1. Пиковый детектор с открытым (а) и закрытым входом (б)

Два варианта схемы работы пикового детектора: с открытым и закрытым входом приведены на рис. 4.1. При подаче на вход синусоидального напряжения во время положительных полупериодов происходит заряд конденсатора через сопротивление диода и внутреннее сопротивление источника. Во время отрицательных полупериодов конденсатор разряжается в пиковом детекторе с открытым входом через сопротивление нагрузки R , а в пиковом детекторе с закрытым входом – через сопротивление нагрузки R и внутреннее сопротивление источника. По-

стоянная времени разряда много больше постоянной времени заряда. Поэтому через несколько периодов к обкладкам конденсатора оказывается приложенным слабо пульсирующее напряжение, постоянная составляющая которого U_0 немного меньше амплитуды входного сигнала. Отклик пикового детектора на входное напряжение синусоидальной формы показан на рис. 4.2. У пикового детектора с открытым входом напряжение является откликом на напряжение на конденсаторе, а у пикового детектора с закрытым входом постоянная составляющая напряжения на конденсаторе может рассматриваться как источник постоянного напряжения, включенный последовательно с U_{ex} . Поэтому у пикового детектора с закрытым входом

$$U_{вых} = U_m \sin \omega t - U_0.$$

Как бы долго не продолжалась работа пикового детектора в рассматриваемом режиме, напряжение на его выходе ни при каких условиях не будет стремиться к постоянному установившемуся значению. Вместе с тем основные характеристики выходного процесса остаются постоянными. Режим работы средств измерений, при которых параметры выходного процесса не зависят от времени, называется *стационарным*.

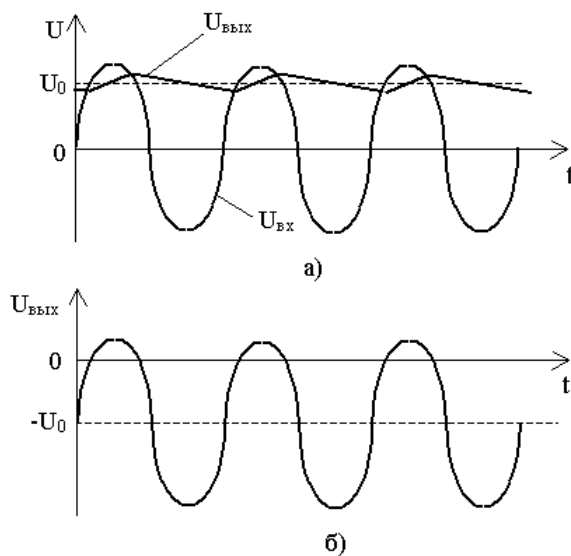


Рис. 4.2. Отклик пикового детектора с открытым (а) и закрытым входом (б) на синусоидальное напряжение.

4.3.4. Нестационарный режим

Режим работы средств измерений, при котором хотя бы один из параметров выходного процесса меняется со временем, называется *нестационарным*. Так, в приведенном выше примере выход на стационарный режим работы пикового детектора осуществлялся в течение некоторого времени, пока конденсатор заряжался до некоторого установившегося среднего значения на его обкладках. Все это время пиковый детектор работал в нестационарном режиме. Нестационарный режим не всегда переходит в стационарный. Если параметры входного воздействия меняются во времени, средство измерений может постоянно работать в нестационарном режиме.

4.4. Статические и динамические измерения

Рассмотренные режимы работы средств измерений приведены на рис. 4.3. Измерения постоянных величин в установившемся режиме, а также измерения в стационарном режиме изменяющихся во времени процессов относят к *статическим*. Измерения постоянных величин в переходном режиме, меняющихся во времени величин в стационарном режиме, а также любые измерения в нестационарном режиме как самих величин, так и параметров протекающих во времени процессов относят к динамическим.

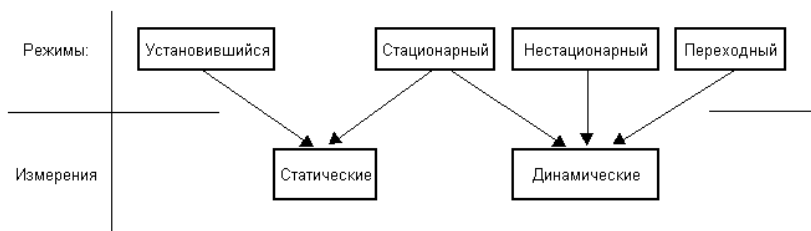


Рис. 4.3. Связь между характером измерений и режимами работы средств измерений

При статических измерениях имеется возможность воспользоваться градуировкой шкалы отсчетного устройства по известным входным воздействиям. Связь между входным воздействием и откликом на него устанавливается функцией преобразования средств измерений.

При динамических измерениях существенную роль играют инерционные свойства средств измерений. Они учитываются его динамическими характеристиками, которые могут быть полными и частными.

Полные динамические характеристики исчерпывающим образом описывают инерционные свойства средств измерений. К ним относятся: уравнения динамики, передаточная функция, комплексный коэффициент преобразования (совокупность амплитудно-частотной и фазо-частотной характеристик), переходная характеристика, импульсная характеристика.

Частные динамические характеристики отражают лишь некоторые инерционные свойства средств измерений. Это отдельные параметры полных динамических характеристик или некоторые величины, определяющие динамику протекающих процессов: время установления показаний, ширина пропускания частот и т.д.

На динамические характеристики средств измерений устанавливаются нормы. Соответствие этим нормам проверяется при поверке средств измерений. С этой целью в качестве входных воздействий используются так называемые испытательные сигналы. Наиболее распространенные из них – это единичная ступень, единичный импульс, монохроматическое колебание, показанные на рис. 4.4.

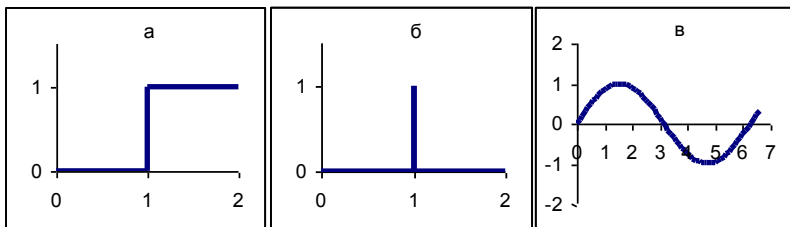


Рис. 4.4. Испытательные сигналы:

а – единичная ступень; б – единичный импульс; в – монохроматическое колебание

Переходная характеристика экспериментально определяется как отклик средства измерений на входное воздействие в виде единичной ступени.

Импульсная характеристика экспериментально определяется как отклик средства измерений на входное воздействие в виде единичного импульса.

При экспериментальном определении динамических характеристик приходится считать, что реальные сигналы отличаются от теоретических моделей. Возможно, более точное воспроизведение испытательных сигналов составляет главную проблему метрологического обеспечения динамических измерений.

Контрольные вопросы

1. Что такое порог обнаружения (чувствительности)?
2. Дайте определение средству измерений.
3. Что такое меры? В чем отличие между многозначными и однозначными мерами?
4. Перечислите группы метрологических характеристик средств измерений.
5. Что такое класс точности средства измерений?
6. Как можно рассчитать интенсивность отказа дискретного элемента?
7. Что такое метрологическая надежность?
8. Как классифицируются режимы работы средств измерений?
9. Как связаны характер измерения и режим работы средства измерения?
10. Чем отличаются частные и полные динамические характеристики средств измерений?
11. Какие испытательные сигналы чаще всего используют на практике?

Тема 5. ПОГРЕШНОСТИ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

Погрешность средств измерений – разность между показанием средства измерения и истинным (действительным) значением измеряемой физической величины.

Примечание. Для меры показанием является ее номинальное значение.

Номинальным значением средства измерения является значение физической величины, определенное в соответствии с паспортом средства измерения.

Поскольку истинное значение физической величины неизвестно, то на практике пользуются ее действительным значением.

Для сравнительной оценки средств измерений используется понятие «**точность**» **средства измерений** – это характеристика качества средства измерений, отражающая близость его погрешности к нулю.

5.1. Классификация погрешностей средств измерений

1. По форме числового выражения.

1.1. **Абсолютная погрешность** – погрешность средства измерений, выраженная в единицах измеряемой физической величины:

$$D = X_{И} - X_{Д},$$

где $X_{И}$ – измеренная величина.

$X_{Д}$ – действительная величина. Измерение действительного значения производится с помощью образцового прибора или воспроизводится мерой.

1.2. **Относительная погрешность** – погрешность средства измерений, выраженная отношением абсолютной погрешности средства измерений к результату измерений как к действительному значению измеренной физической величины. Относительную погрешность выражают в процентах:

$$D = \frac{X_{И} - X_{Д}}{X_{Д}} \cdot 100\%,$$

где $X_{И}$ – измеренная величина.

$X_{Д}$ – действительная величина.

1.3. **Приведенная погрешность** – относительная погрешность, выраженная отношением абсолютной погрешности средства измерений к условно принятому значению величины (**нормирующему значению**), постоянному во всем диапазоне измерений или в части диапазона. Приведенную погрешность также выражают в процентах.

$$g = \frac{D}{X_{N}},$$

где X_{N} – нормирующее значение измеряемой величины.

2. По закономерности проявления.

2.1. **Систематическая погрешность** – составляющая погрешности средства измерений, принимаемая за постоянную или закономерно изменяющуюся.

2.2. **Случайная погрешность** – составляющая погрешности средства измерений, изменяющаяся случайным образом.

2.3. **Грубая погрешность** – погрешность измерения, существенно превышающая ожидаемую при данных условиях погрешность.

3. По условиям применений.

3.1. **Основная погрешность** – погрешность средства измерений, применяемого в нормальных условиях.

Нормальными условиями применения средств измерений называют условия, при которых влияющие величины имеют номинальные значения или находятся в пределах нормальной области значений. Нормальные условия применения указываются в стандартах или технических условиях применения на средствах измерений. При использовании средств измерений в нормальных условиях считают, что влияющие на них величины практически никак не изменяют их характеристики. Так, для многих типов средств измерений нормальными условиями являются – температура – $(293 \pm 5)K$, относительная влажность – $(65 \pm 15)\%$, напряжение в сети питания – $220 B \pm 10 \%$.

3.2. **Дополнительная погрешность** – составляющая погрешности средства измерений, возникающая дополнительно к основной погрешности вследствие отклонения какой-либо из влияющих величин от нормального ее значения или вследствие ее выхода за пределы нормальной области значений. Дополнительная погрешность может быть вызвана изменением сразу нескольких влияющих величин. Дополнительная погрешность – это часть погрешности, которая добавляется (алгебраическое сложение) к основной в случаях, когда измерительное устройство применяется в рабочих условиях.

Рабочие условия обычно таковы, что изменения значений влияющих величин для них существенно больше, чем для нормальных условий, т.е. область рабочих условий включает в себя область нормальных условий.

В некоторых случаях основная погрешность измерительных устройств определяется также для рабочей области изменения значений влияющих величин. В этих случаях понятие дополнительной погрешности теряет смысл.

4. По условиям и режиму измерений.

4.1. **Статическая погрешность средства измерений, статическая погрешность** – погрешность средства измерений, применяемого при измерении физической величины, принимаемой за неизменную.

4.2. **Динамическая погрешность средства измерений** – погрешность средства измерений, возникающая при измерении изменяющейся (в процессе измерений) физической величины.

5. По форме значения измеряемой величины.

5.1. **Аддитивная погрешность средства измерений (погрешность нуля)** – погрешность, остающаяся постоянной при любых значениях измеряемой величины. Аддитивная погрешность возникает в случае смещения реальной функции преобразования относительно номинальной на одну и ту же величину.

Если аддитивная погрешность является систематической, то она может быть устранена. Для этого в измерительных устройствах имеется специальный настроечный узел (корректор) нулевого значения выходного сигнала.

Если аддитивная погрешность является случайной, то ее нельзя исключить, реальная функция смещается по отношению к номинальной во времени произвольным образом. При этом для реальной функции преобразования можно определить некоторую полосу, ширина которой остается постоянной при всех значениях измеряемой величины. Возникновение случайной аддитивной погрешности обычно вызвано трением в опорах, контактным сопротивлением, дрейфом нуля, шумом и фоном измерительного устройства.

5.2. **Мультипликативная погрешность (погрешность чувствительности)** – погрешность линейно возрастающей или убывающей измеряемой величины. Графически появление мультипликативной погрешности интерпретируется поворотом реальной функции преобразования относительно номинальной. Если мультипликативная погрешность является случайной, то реальная функция преобразования представляется полосой.

Причиной возникновения мультипликативной погрешности обычно является изменение коэффициентов преобразования отдельных элементов и узлов измерительных устройств.

5.3. **Погрешность линейности** – систематическая погрешность, при которой отличие реальной и линейной номинальной функций преобразования вызвано нелинейными эффектами.

Причинами данной погрешности могут быть конструкция (схема) измерительного устройства и нелинейные искажения функции преобразования, связанные с несовершенством технологии производства.

5.4. **Погрешность гистерезиса (погрешность обратного хода)** – систематическая погрешность, выражающаяся в несовпадении реальной функции преобразования измерительного устройства при увеличении (**прямой ход**) и уменьшении (**обратный ход**) измеряемой величины.

Погрешность гистерезиса является наиболее существенной и трудноустраняемой, причинами ее возникновения могут быть: люфт и сухое

трение в механических передающих элементах, гистерезисный эффект в ферромагнитных материалах, явление поляризации в электрических, пьезоэлектрических и электрохимических элементах, явление упругого последействия в упругих чувствительных материалах и др.

5.2. Основы теории измерений. Основной постулат метрологии

Любое измерение по шкале отношений предполагает сравнение известного размера с известным и выражение первого через второе в кратном или дольном отношении.

Главной особенностью измерительной процедуры является то, что при ее повторении отсчет каждый раз получается разным. На основании громадного опыта практических измерений, накопленного к настоящему времени, может быть сформулировано следующее утверждение, называемое *основным постулатом метрологии*: **отсчет является случайным числом**. На этом постулате, который легко поддается проверке и остается справедливым в любых областях и видах измерений, основана вся метрология.

Для изучения свойств случайных событий в больших объемах используют аппарат теории вероятностей и математической статистики. При этом рассматривается появление случайных погрешностей как случайных событий при многократно повторяемых наблюдениях.

Для дальнейшего рассмотрения теории случайных погрешностей кратко приведем основные термины и понятия теории вероятностей и математической статистики.

В теории вероятностей *случайным* называется такое событие, которое может произойти или не произойти при осуществлении определенного комплекса условий. Для измерений это понятие можно трансформировать так, что при повторных наблюдениях в одинаковых условиях каждая из множества возможных незначительных причин случайных изменений результата может или появиться, или нет.

Если обозначить истинное значение измеряемой величины через a , то можно написать следующее равенство:

$$\delta_i = x_i - a,$$

где i – номер наблюдения, x_i – результат наблюдения; δ_i – случайная погрешность.

Вероятность наступления события A есть отношение числа появлений события A (m) к общему числу событий (n):

$$P(A) = \frac{m}{n}.$$

Вероятность является численной оценкой объективной возможности появления события. Вероятность достоверного события = 1, а вероятность невозможного события = 0.

Определение вероятности подсчетом оказывается крайне затруднительным в определенных случаях. Обычно применяется статистический метод определения вероятности события, который опирается на то, что в результате длительных наблюдений явлений массового характера, было установлено, что то или иное событие сохраняет устойчивую частоту появления по отношению к общему числу всех рассматриваемых событий. Я. Бернулли доказал, что при неограниченном увеличении числа однородных независимых опытов можно утверждать, что частота появлений событий будет сколь угодно мало отличаться от их вероятности.

5.2.1. Законы распределения случайных величин

Дискретной случайной величиной называют такую величину, возможные значения которой представляют собой конечную или бесконечную последовательность чисел. Чтобы охарактеризовать дискретную случайную величину, необходимо знать возможные ее значения и вероятность каждого из этих значений. В качестве примера рассмотрим ситуации, возникающие при бросании двух игральных костей. Сумма очков может принимать значения от 2 до 12. Вероятность разных значений суммы будет разная. Сумма 2 выпадет только при одной комбинации, 3 – при двух и т.д. Все возможные комбинации и соответствующие вероятности появления каждой из них сведем в таблицу:

Сумма очков	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Число возможных комбинаций	1	2	3	4	5	6	5	4	3	2	1
Вероятность появления данной комбинации	$\frac{1}{36}$	$\frac{2}{36}$	$\frac{3}{36}$	$\frac{4}{36}$	$\frac{5}{36}$	$\frac{6}{36}$	$\frac{5}{36}$	$\frac{4}{36}$	$\frac{3}{36}$	$\frac{2}{36}$	$\frac{1}{36}$

Расположив возможные значения случайной величины по возрастанию на горизонтальной оси, а по вертикальной отложив вероятность их появления, получим график распределения случайной величины.

Если рассеяние результата измерений одной и той же физической величины постоянного размера является следствием множества причин, вклад каждой из которых незначителен по сравнению с суммарным действием всех остальных, то результат измерения при этом подчиняется

так называемому нормальному закону, кривые плотности распределения вероятности которого описываются уравнением:

$$p(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-a)^2}{2\sigma^2}},$$

где $p(x)$ – плотность вероятности;

x – значение случайной величины;

$a=M(x)$ – математическое ожидание случайной величины x ;

σ – среднее квадратичное отклонение случайной величины x .

Математическое ожидание случайной величины – это сумма произведений всех возможных значений случайной величины на вероятность этих значений:

$$M(x) = \sum x_i p_i.$$

Для непрерывных случайных величин надо переходить к интегрированию:

$$M(x) = \int xp(x) dx.$$

Математическое ожидание при нормальном распределении соответствует истинному значению измеряемой величины.

Дисперсия $D(x)$ – мера рассеяния случайной величины. Для дискретной:

$$D(x) = \sum (x_i - a)^2 p_i = \sum \delta^2 p_i = \sigma^2.$$

Для непрерывной:

$$D(x) = \int (x - a)^2 p(x) dx = \int \delta^2 p(x) dx.$$

Среднее квадратичное отклонение:

$$\sigma = \sqrt{D(x)}.$$

Среднее квадратичное отклонение удобнее дисперсии в том смысле, что ее размерность совпадает с размерностью самой случайной величины. Среднее квадратичное отклонение часто называют среднее квадратичной погрешностью.

Среднее квадратичное отклонение соответствует характерной точке кривой нормального распределения. Абсциссам $\pm\sigma$ соответствуют точки перегиба кривой. Вероятность того, что случайные погрешности измерения не выйдут за пределы $\pm\sigma$, составляет 0,6826.

Среднее арифметическое определяется по формуле:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N},$$

где \bar{x} – среднее значение,

x_i – результат i -го наблюдения,
 N – число наблюдений.

5.2.2. Доверительный интервал и доверительная вероятность

Рассматривая характеристики нормального распределения, мы уже отмечали, что вероятность появления погрешности, не выходящей за пределы $\pm\sigma$ составляет 0,6826. В этом случае $\pm\sigma$ рассматривается как граница интервала, в пределах которой с указанной вероятностью лежит отклонение дельта. При нормальном распределении вероятность попадания случайной величины в интервал от $-E$ до $+E$ выражается формулой:

$$P(-E < \delta < +E) = P(|E| < \delta) = \Phi(E),$$

где

$$\Phi(t) = \frac{\alpha}{2\pi} \int_0^t e^{-\frac{\delta^2}{2}} d\delta \text{ при } t > 0$$

$\Phi(t)$ называется интегралом Лапласа или доверительной вероятностью, соответствующей доверительному интервалу $\pm E$, а величину $1 - \Phi(t)$ – уровнем значимости. Обычно доверительную вероятность выбирают исходя из конкретных условий. Например, для изготовления какой-либо детали можно считать удовлетворительным значение 0,995 для вероятности того, что отклонение размера не выйдет за пределы заданного интервала. В технике вероятность выражают в процентах – 99,5%. Соответственно, уровень значимости или вероятность того, что детали не будут удовлетворять данному требованию, 0,5%. Это означает, что в среднем будет отбракована 1 деталь из 200. Такая вероятность соответствует доверительному интервалу $\pm 2,81$.

Часто пользуются «правилом трех сигм», т.е. доверительным интервалом $\pm 3\sigma$, для которого доверительная вероятность составляет 99,73%. На этом основании можно сформулировать следующее правило: если при многократном измерении одной и той же физической величины постоянного размера сомнительное значение результата измерения отличается от среднего значения больше чем на 3σ , то с вероятностью 0,997 оно является ошибочным и его следует отбросить. Это правило называется «правилом трех сигм».

Пример: одной из причин рассеяния результатов радиотехнических измерений служит «шум» первых каскадов усиления в измерительных преобразователях. Напряжение «шума» является случайной величиной, подчиняющейся нормальному закону распределения вероятности с нулевым средним значением и дисперсией, равной мощности «шума», выделяемой на сопротивлении 1 Ом.

Определить, не содержится ли ошибок в следующих экспериментальных данных, полученных при измерении мгновенного значения шумового напряжения (в мВ) при отсутствии полезного сигнала: -4,2; 0,3; 5,7; -1,6; -7,2; 3,9; 2,2; -0,1; 1,4, если мощность «шума», выделяемая на нагрузке 1 Ом, равна 4мкВт.

Решение. Среднее квадратическое отклонение мгновенного значения шумового напряжения составляет 2 мВ. По «правилу трех сигм» нужно признать, что в пятом случае допущена какая-то ошибка.

Можно, конечно, принимать решения и с меньшей вероятностью. В рассмотренном примере с вероятностью, например, 0,99, допущена ошибка и в третьем случае. На практике, однако, преимущественное распространение получило «правило трех сигм». Условием его применимости служит уверенность в том, что результат измерения подчиняется нормальному закону распределения вероятности.

5.2.3. Случайная погрешность среднего значения

Чтобы избежать недостоверности случайной погрешности единичного замера, можно усреднить несколько измерений. Полученное таким образом среднее значение представляет собой все же случайную величину, так как n измеренных значений представляют лишь выборку из генеральной совокупности. Это среднее значение в свою очередь имеет нормальное распределение и то же самое математическое ожидание M , но среднеквадратичное отклонение у него меньше, чем при единичном измерении.

Между среднеквадратичным отклонением среднего значения $\sigma_{x_{cp}}$ и среднеквадратичным отклонением единичного измерения имеется следующее соотношение:

$$\sigma_{x_{cp}} = \frac{1}{\sqrt{n}} \sigma .$$

Усреднение позволяет уменьшить доверительную границу погрешности при заданной доверительной вероятности пропорционально $1/\sqrt{n}$.

Последнее соотношение устанавливает связь между теоретическими значениями $\sigma_{x_{cp}}$ и σ , в большинстве случаев не имеющимися в наличии. Ведь среднеквадратичное отклонение σ могло бы быть вычислено по очень большому, теоретически бесконечно большому числу измеренных значений. Если число измерений невелико, то для σ вычисляют оценку S по тем же самым n измеренным значениям, по которым определяется среднее значение x_{cp} . Но в этом случае $\sigma_{x_{cp}}$ и доверительная граница уже не могут быть определены из соотношения для $\sigma_{x_{cp}}$. Опре-

деление этих величин осуществляется на основе t -распределении Стьюдента. То есть при небольшом объеме экспериментальных данных среднее арифметическое значение результата измерения, подчиняющееся нормальному закону распределения вероятности, само подчиняется закону распределения вероятности Стьюдента (псевдоним В.С. Госсета) с тем же средним значением. При увеличении n распределения вероятности Стьюдента быстро приближается к нормальному, становясь почти неотличимым от него уже при $n > 40 \dots 50$.

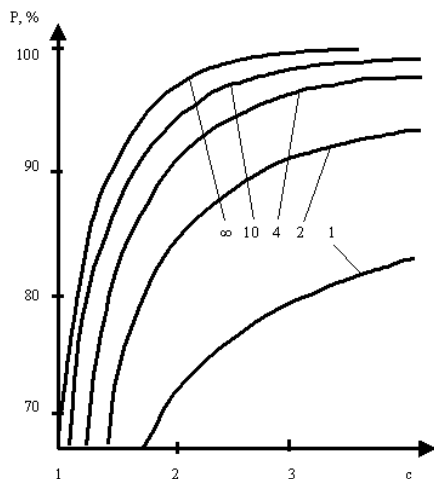


Рис. 5.1. t -распределение Стьюдента: вероятность события для различного числа степеней свободы

В соответствии с вышеизложенным порядок действий при обработке небольшого объема экспериментальных данных следующий:

1. Выбирают доверительную вероятность P (например, 95,99% и т.п.).
2. Рассчитывают среднее значение по формуле

$$x_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}.$$

3. Определяют $\sigma_{x_{cp}}$:

$$\sigma_{x_{cp}} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - x_{cp})^2}$$

где n – объем выборки;
 $n-1 = n_f$ – число степеней свободы.

4. По рис. 5.1 определяют коэффициент Стьюдента: $c = f(P, n_f)$.

5. Определяют доверительные границы погрешности среднего значения x_{cp} :

$$\varepsilon = \pm \frac{c}{\sqrt{n}} \sigma_{x_{cp}} .$$

При совсем незначительном количестве экспериментальных данных ($n < 10 \dots 15$) и принятой гипотезе о том, что результат измерения подчиняется нормальному закону распределения вероятности, выявление ошибок по «правилу трех сигм» не производится. Как видно из рис. 5.1, доверительный интервал при фиксированной доверительной вероятности с уменьшением объема экспериментальных данных расширяется; точность измерений, следовательно, снижается, приближаясь к точности однократного измерения.

Контрольные вопросы

1. Что такое погрешность средства измерений?
2. Как классифицируются погрешности средств измерений?
3. Перечислите погрешности средств измерений по форме числового выражения.
4. В чем заключается суть погрешности гистерезиса?
5. Чем статическая погрешность отличается от динамической?
6. Назовите основной постулат метрологии.
7. Что такое случайное событие?
8. Как рассчитывается среднеквадратичное отклонение?
9. Что такое доверительный интервал и доверительная вероятность?
10. Сформулируйте «правило трех сигм».
11. Опишите порядок действий при обработке небольшого объема экспериментальных данных с использованием t – распределения Стьюдента.

Тема 6. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ НЕЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ. ПЕРВИЧНЫЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ (ДАТЧИКИ). ПРОЕКТИРОВАНИЕ. КЛАССИФИКАЦИЯ И УНИФИКАЦИЯ. ПРИМЕРЫ КОНСТРУКЦИЙ

Для контроля различных технологических процессов в любом виде производства, науке, технике широкое применение находят измерения неэлектрических параметров электрическими методами. Количество таких измерительных приборов гораздо больше, чем электроизмерительных приборов.

Развитие науки во многом определяется развитием измерительной базы, уровнем приборостроения.

6.1. Первичные измерительные преобразователи

Измерительные преобразователи – это средства измерений, преобразующие измерительную информацию в форму, удобную для дальнейшего преобразования, хранения, обработки, но, как правило, недоступную для непосредственного восприятия наблюдателем. К измерительным преобразователям относятся термопары, измерительные усилители, преобразователи давления. По месту, занимаемому в измерительной цепи, они делятся на первичные, промежуточные и т.д.

Измерительный прибор представляет собой совокупность преобразовательных элементов, образующих измерительную цепь, и отсчетного устройства. В отличие от вещественной меры измерительный прибор не воспроизводит известное значение физической величины.

Большое внимание уделяется первичному измерительному преобразователю. Обычно он рассматривается как единый элемент измерительной цепи, однако при проектировании возникает необходимость разложения первичного преобразователя на более простые звенья.

Конструктивно первичный измерительный преобразователь можно представить как обособленную от остальных измерительных цепей прибора совокупность чувствительного элемента и некоторых сопутствующих ему вспомогательных устройств, размещаемых в исследуемой среде.

Чувствительный элемент – это звено первичного измерительного преобразователя, находящееся под непосредственным воздействием среды, в которой проходит измерение.

Вспомогательные устройства, сопутствующие чувствительному элементу, необходимы для согласования со специфическими условиями

окружающей среды. Для краткости они называются защитной арматурой и служат для:

- предохранения чувствительного элемента от разрушения;
- устранения дополнительных погрешностей (неинформативных параметров);
- защиты от перегрузок (ограничивает влияние чрезмерных значений измеряемой величины);
- обеспечения заданных условий подвода измеряемой величины (вторжение измерительного преобразователя нарушает исходную картину распределения измеряемой величины).

6.2. Требования к первичным измерительным преобразователям

Общие требования к первичным измерительным преобразователям обусловлены:

- характером измеряемой величины;
- методикой измерений;
- условиями решаемой задачи (необходимостью измерять несколько параметров одновременно, скоростью преобразования);
- влиянием исследуемой среды (давление, температура, химическая агрессия).

Выделяют три группы основных требований: метрологические, эксплуатационные и конструктивные.

Метрологические требования:

- чувствительность и точность;
- быстроедействие, пространственное разрешение, соответствие масштабу исследуемого процесса;
- минимальное возмущение полей измеряемых величин;
- малая чувствительность к неинформативным воздействиям.

Эксплуатационные требования:

- надежность и срок службы;
- устойчивость к перегрузкам, температуре, химическим, биологическим, механическим воздействиям;
- удобство обслуживания и метрологической аттестации.

Конструктивные требования:

- унифицированность и взаимозаменяемость;
- малая масса и габаритные размеры;
- технологичность и экономичность изготовления.

Зачастую требования, предъявляемые к конкретной конструкции первичного измерительного преобразователя, просто противоречивы. Поэтому разработка их непроста. Особую сложность представляет расчет первичного измерительного преобразователя для работы в высоко-

частотной области изменчивости измеряемых величин, что обусловлено созданием первичного измерительного преобразователя с малой постоянной времени и имеющего малый объем осреднения.

6.3. Методы расчета первичных измерительных преобразователей

Из существующих методик математического описания первичного измерительного преобразователя наиболее приемлема методика аппаратных функций. Специфика их состоит в том, что они осуществляют трансформацию функции четырех переменных (три координаты + время) в функцию одной переменной.

Оказывается полезным применение понятия момента аппаратной функции, в частности момента второго порядка. В приближении одномерного статического поля среднеквадратическая полуширина аппаратной функции определяется выражением:

$$\sigma_H^2 = \int_{-\infty}^{+\infty} (r - r_0)^2 H_1(r) dr,$$

где $H_1(r)$ – одномерная аппаратная функция прибора,
 r_0 – смещение центра тяжести аппаратной функции.

Для первичного измерительного преобразователя в форме параллелепипеда, цилиндра или шара смещение равно нулю. По величине среднеквадратическая полуширина аппаратной функции составляет: $\sigma_H = 0.288A$ для параллелепипеда или вертикально расположенного цилиндра высотой A ; $\sigma_H = 0.250A$ для горизонтально расположенного цилиндра диаметром A ; $\sigma_H = 0.244A$ для шара диаметром A ;

Полоса пропускания прибора по уровню 0.707 определяется выражением:

$$\alpha_H = \frac{0.707}{\sqrt{\sigma_H^2 + (V_0\tau)^2}},$$

где V_0 – скорость перемещения прибора в измеряемой среде;
 τ – постоянная времени инерционной части прибора.

Минимальный масштаб регистрируемых прибором неоднородностей определяется следующим образом:

$$l_{min} = \frac{2\pi}{\alpha_H} 8.1 \sqrt{\sigma_H^2 + (V_0\tau)^2}.$$

Крайняя сложность теоретического анализа первичных измерительных преобразователей заставляет обратиться к наиболее простой ее

постановке с тем, чтобы выяснить основные черты явления. Именно поэтому все полученные к настоящему моменту расчетные соотношения выведены на основе некоторых принципиальных и частных допущений, упрощения физической картины рассматриваемых процессов и идеализированного представления о структуре и свойствах материала. Несомненна полезность теоретических расчетов такого рода для полученных качественных оценок характеристик проектируемых первичных измерительных преобразователей. В связи с этим при проектировании и изготовлении первичных измерительных преобразователей возникают дополнительные задачи: создание испытательного и метрологического оборудования, часто по сложности не уступающего разрабатываемым измерительным системам; создание аппаратуры контроля стабильности градуировочных характеристик, а также имитаторов измеряемых параметров, с помощью которых можно осуществить контроль всего измерительного тракта, включая первичные измерительные преобразователи.

При проектировании первичного измерительного преобразователя, как и при других разработках, ведутся работы по их унификации. Условно их можно разделить на два уровня:

- унификация отдельных узлов, деталей (ограничение типоразмеров электрических разъемов);
- унификация выходных сигналов (для унификации устройств вторичного преобразования).

Наиболее высокой степенью унификации для первичных измерительных преобразователей следует считать создание совокупности первичных измерительных преобразователей какого-либо параметра, структурные и конструктивные элементы которого являются производными от одной конструкции, взятой за базу. Параметрический ряд можно построить на основе формирования общих требований к первичным измерительным преобразователям и особенностей измерения исследуемого параметра, данные об изменчивости которого определяют полный рабочий диапазон, перекрываемый всеми первичными измерительными преобразователями ряда.

Существует несколько подходов к классификации первичных измерительных преобразователей.

6.4. Классификация первичных измерительных преобразователей

Для первичных измерительных преобразователей существует однозначное соответствие между входной и выходной величинами, поэтому классификацию целесообразно производить или по видам входных величин или по выходным величинам, присущим принципу действия преобразователя. Для лучшего изучения первичных измерительных преоб-

разователей классификация по принципу действия и виду выходной информации независимо от назначения наиболее эффективна, поскольку способствует выявлению их основных особенностей и специфических проблем, характерных для большинства первичных измерительных преобразователей. Кроме того, по принципу действия их можно разделить на следующие группы: резистивные, электромагнитные, тепловые, электрохимические, ионизационные и т.д.

6.4.1. Реостатные первичные измерительные преобразователи

В простейшем виде реостатные первичные измерительные преобразователи представляют собой реостат, щетка (движок) которого перемещается под действием измеряемой неэлектрической величины. Первичный измерительный преобразователь состоит из обмотки на каркасе, форма которого зависит от характера перемещения – линейного или углового.

Для изготовления каркаса применяются диэлектрики и металлы, покрытые лаком. Проволока для обмотки выполняется из сплава с малым температурным коэффициентом сопротивления. Щетка изготавливается из проволоки или плоских пружинящих полосок, для которых используются как чистые металлы, так и сплавы.

Недостаток таких чувствительных элементов – большая погрешность вследствие наличия трущихся элементов. Как указывалось, при проектировании первичных измерительных преобразователей все эти отрицательные моменты учитываются и по возможности устраняются. Для примера рассмотрим реальную конструкцию измерителя направления (компаса) течений на рис. 6.1.

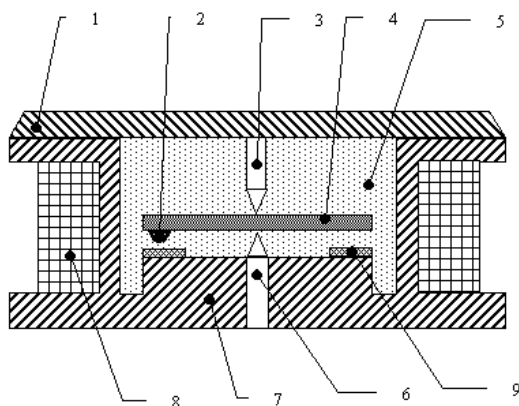


Рис. 6.1. Конструкция стрелочного потенциметрического резистивного первичного измерительного преобразователя с дискретным съемом информации

В корпусе 7, заполненном демпфирующей жидкостью 5 и закрытом крышкой 1, размещается магнитная стрелка 4, подвешенная на опоре 6 и поддерживаемая винтом 3. В момент регистрации показаний в обмотку соленоида 8 подается ток, магнитное поле которого взаимодействует со стрелкой и разворачивает ее в вертикальной плоскости. Установленный на стрелке контакт 2 переключает круговой проволочный потенциометр 9 с контактным полем в точке, соответствующей положению магнитной стрелки. Этот преобразователь позволяет измерять угол направления течения с погрешностью не более 5^0 при разрешающей способности 2^0 . Время установления показаний составляет 10 с. Конструкция преобразователя устраняет основной недостаток, присущий данному типу преобразователей, – наличие погрешности за счет трения.

6.4.2. Тензочувствительные измерительные преобразователи (тензорезисторы)

Их работа основана на зависимости электрического сопротивления проводника или полупроводника от создаваемого в нем механического напряжения. Они подразделяются на металлические и полупроводниковые. Из металлических наиболее распространены проволочные или фольговые. Действие их описывается относительным изменением сопротивления:

$$\frac{\Delta R}{R} = k \frac{\Delta l}{l},$$

где k – коэффициент тензочувствительности.

Тензочувствительный преобразователь наклеивается на исследуемую деталь, и относительная деформация проволоки равна относительной деформации детали. Последняя связана с механическим напряжением в детали σ и модулем упругости E следующим соотношением:

$$\frac{\Delta l_d}{l_d} = \sigma E.$$

Таким образом, уравнение преобразования тензорезистора можно представить в виде

$$\frac{\Delta R}{R} = k \frac{\sigma}{E}.$$

Основные требования, предъявляемые к материалу проволоки: возможно большее значение k , малый температурный коэффициент сопротивления, высокое удельное электрическое сопротивление. Обычно применяется проволока из константана диаметром $0,02 \dots 0,05$ мм, имеющего $k = 1,9 \dots 2,1$.

6.4.3. Тепловые измерительные преобразователи (терморезисторы)

Терморезистором называют проводник или полупроводник с большим температурным коэффициентом сопротивления, находящийся в теплообмене с окружающей средой. К материалам терморезисторов предъявляются следующие требования: как можно большее и постоянное значение температурного коэффициента сопротивления; химическая стойкость к воздействию среды; достаточная тугоплавкость и прочность.

Чувствительным элементом у проводниковых является медная, платиновая проволока. Платиновые терморезисторы используются в диапазоне температур $0-600^{\circ}\text{C}$. Их преимущества – высокая воспроизводимость результатов, стабильность. Недостатки – нелинейность преобразования и высокая стоимость.

Наиболее оптимальным вариантом по совокупности характеристик при выборе материала терморезистора является медь. Она технологична в работе, сравнительно недорога, медные терморезисторы имеют линейную характеристику преобразования и обеспечивают измерения в диапазоне от -200°C до $+200^{\circ}\text{C}$.

6.4.4. Полупроводниковые измерительные преобразователи

Они имеют температурный коэффициент в 8–10 раз больше, чем у металлов. Обладают малыми размерами, высоким быстродействием. Рабочий диапазон от -100°C до $+300^{\circ}\text{C}$. Недостатками таких первичных измерительных преобразователей являются плохая воспроизводимость результатов и нелинейная характеристика преобразования.

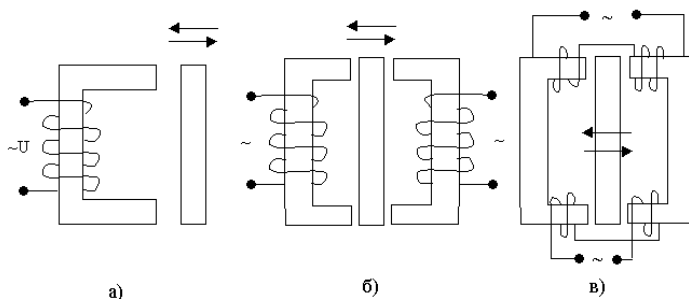


Рис. 6.2. Индуктивные и трансформаторные преобразователи: одинарный индуктивный (а); дифференциальный индуктивный (б); дифференциальный трансформаторный (в).

6.4.5. Электромагнитные измерительные преобразователи

Индуктивные первичные измерительные преобразователи представляют собой катушку индуктивности, взаимноиндуктивные (трансформаторные) – катушку взаимной индуктивности, параметры которой изменяются под воздействием входной величины. На рис. 6.2 схематически представлено несколько типов таких измерительных преобразователей.

Индуктивный измерительный преобразователь представляет собой электромагнит с обмоткой и подвижным якорем, перемещающийся под действием измеряемой величины X . Изменение длины воздушного зазора приводит к изменению индуктивности обмотки L . Такие преобразователи обычно применяются при перемещении якоря на $0,01 \dots 5$ мм.

Дифференциальный измерительный преобразователь имеет более высокую чувствительность, меньшую нелинейность функции преобразования и меньшую погрешность от влияющих величин, чем одинарный индуктивный.

В дифференциальных трансформаторных измерительных преобразователях две секции первичной обмотки, через которые пропускается переменный ток I , включены согласно, а две секции вторичной – встречно. При симметричном положении якоря относительно электромагнитов ЭДС на выходных зажимах равна нулю. Перемещение якоря вызывает сигнал dE , который идет на усилитель.

Существует достаточно широкий класс электростатических измерительных преобразователей. У емкостных измерительных преобразователей электрическая емкость или диэлектрические потери изменяются под действием измеряемой величины. Емкость C между двумя параллельными проводящими плоскостями S , разделенными малым зазором δ без учета краевого эффекта, определяется выражением

$$C = \varepsilon_0 \varepsilon \frac{S}{\delta},$$

где ε_0 – диэлектрическая постоянная, – относительная диэлектрическая проницаемость среды между электродами.

Изменяя ε , S или δ , можно изменять электрические параметры преобразователя.

Достоинства емкостных преобразователей – простота устройства, высокая чувствительность и малая инерционность. Недостатки – малая выходная мощность, необходимость использовать источники питания повышенной частоты, наличие паразитных емкостей.

Контрольные вопросы

1. Что такое первичный измерительный преобразователь?
2. Для чего служит защитная арматура?
3. Перечислите группы основных требований к первичным измерительным преобразователям.

4. Что такое методика аппаратных функций?
5. Как производится классификация первичных измерительных преобразователей?
6. Какие недостатки присущи реостатным первичным измерительным преобразователям?
7. Что такое тензочувствительный измерительный преобразователь?
8. Для чего используются полупроводниковые измерительные преобразователи?
9. С помощью каких измерительных преобразователей регистрируются прямолинейные перемещения? В каких диапазонах применяются эти преобразователи?

Тема 7. ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВЫЕ ОСЦИЛЛОГРАФЫ

Электронно-лучевые осциллографы (ЭЛО) являются универсальными измерительными приборами, имеющими широчайшее применение. Они могут измерять периодические, импульсные, случайные, постоянные сигналы. Исследуемый сигнал изображается на экране в виде фигуры – осциллограммы. Осциллограммы являются функциональной зависимостью двух или трех величин.

Электронно-лучевые осциллографы применяются для измерения напряжения от долей милливольт до сотен вольт, временных интервалов длительностью от долей наносекунд до нескольких секунд и периодических сигналов частотой от нуля до сотен мегагерц.

Электронно-лучевые осциллографы подразделяют на универсальные, скоростные, стробоскопические, запоминающие и специальные. Они могут быть одно-, двух- и более канальные.

На рис. 7.1 приведена структурная схема универсального осциллографа, основными элементами которого являются: электронно-лучевая трубка, каналы «X», «Y» и калибратор. Кратко рассмотрим их назначение и устройство.

7.1. Электронно-лучевая трубка

В осциллографах обычно применяются электронно-лучевые трубки с электростатическим формированием и управлением лучом. Электронно-лучевая трубка представляет собой стеклянный баллон, откачанный до высокого вакуума $10^{-5} \dots 10^{-7}$ мм рт. ст. Внутри баллона размещается нагревательный элемент, катод K , управляющий электрод (модулятор) M , три анода (A_1, A_2, A_3) и отклоняющие пластины X и Y (рис. 7.1).

Модулятор за счет изменения на нем напряжения относительно катода управляет интенсивностью луча, т.е. яркостью свечения экрана. Первые два анода осуществляют фокусировку луча и ускорение электронов. Третий анод после отклонения на пластинах дополнительно ускоряет электронный пучок для повышения интенсивности свечения осциллограммы.

Кратко принцип действия электронно-лучевой трубки можно пояснить следующим образом. Электроны, эмитированные с катода, ускоряются и формируются в узкий пучок. Проходя мимо отклоняющих пластин, электронный луч под воздействием приложенного к ним напряжения отклоняется по двум направлениям. На люминесцентном экране электроны вызывают свечение в виде яркой точки. Конструкция электронно-лучевой трубки, форма и размер отклоняющих пластин проектируется таким образом, чтобы смещение луча было пропорционально значениям отклоняющих напряжений.

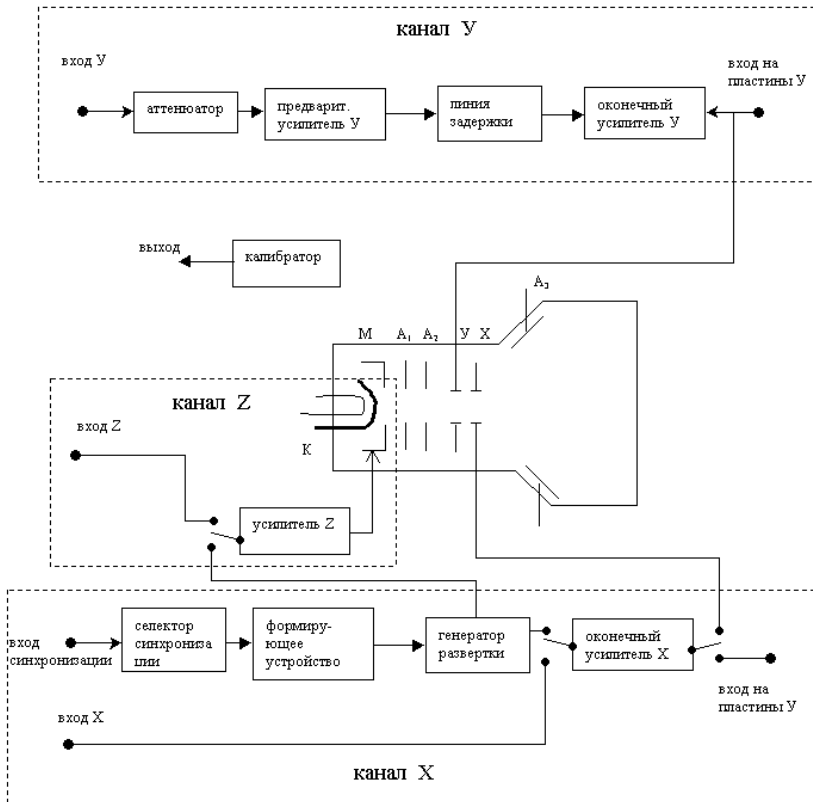


Рис. 7.1. Структурная схема универсального осциллографа

Электронно-лучевые трубки характеризуются чувствительностью – отношением отклонения луча и напряжения на отклоняющих пластинах:

$$h_T = \frac{h}{U}.$$

Отклонение луча h под воздействием напряжения U определяется следующим выражением:

$$h = \frac{U \ln\left(l_T + \frac{l_n}{2}\right)}{2dUa_2},$$

где l_T – расстояние от отклоняющей пластины до экрана;
 l_n – длина пластины;
 d – расстояние между пластинами.

Чувствительность пластин Y – от 1 до 5 мм/В; X – от 0,6 до 1 мм/В. Иногда используется коэффициент отклонения

$$k = \frac{U}{h}.$$

При подаче на пластины напряжения высокой частоты (сотни мегагерц) интервал времени пролета электронов становится сравнимым с периодом отклоняющего напряжения, а оно в свою очередь приобретает разные значения. Это явление нарушает стабильность работы осциллографа и меняет его чувствительность. Для определения отклонения луча при высоких частотах введено понятие динамической чувствительности трубки:

$$h_{д} = h_{г} \frac{\sin \pi f t}{\pi f t},$$

где f – частота отклоняющего напряжения;

$t = l_{г}/V$ – время пролета электрона вдоль отклоняющих пластин.

Критической частотой трубки называют такую частоту, при которой

$$\frac{h_{д}}{h_{г}} = 0.707.$$

Кроме скорости пролета электронов на предельную частоту оказывает влияние емкость между отклоняющими пластинами и между другими электродами. Без дополнительных устройств или специальных конструкций рабочая частота обычно ограничивается 100 МГц.

Ширина луча зависит от фокусировки и обычно составляет 0,6...1 мм. Еще одна характеристика электронно-лучевой трубки – длительность послесвечения – время, за которое яркость осциллограммы уменьшается до 1%. Условно разделяют на короткое – 0,01с, среднее 0,1с и длинное – более 1с послесвечение. Длинное послесвечение необходимо для наблюдения медленно меняющихся сигналов.

7.2. Запоминающие электронно-лучевые трубки

Отдельно рассмотрим запоминающие электронно-лучевые трубки. На рис. 7.2 схематически изображена такая трубка, которая по конструкции не сильно отличается от универсальных осциллографических трубок и поэтому может в них применяться. Отличие состоит в том, что запоминающая электронно-лучевая трубка снабжена дополнительными устройствами: узлом памяти и узлом воспроизведения.

Узел памяти состоит из мишени-сетки, покрытой слоем диэлектрика и коллектора – более крупноструктурной сетки, расположенной по-

верх мишени. Запись изображения производится лучом высокой энергии. При перемещении луча по мишени создается потенциальный рельеф, повторяющий осциллограмму. Записанный сигнал может быть воспроизведен после его прекращения через интервал времени от нескольких минут до нескольких суток. Запоминающие трубки отличаются повышенной яркостью свечения.

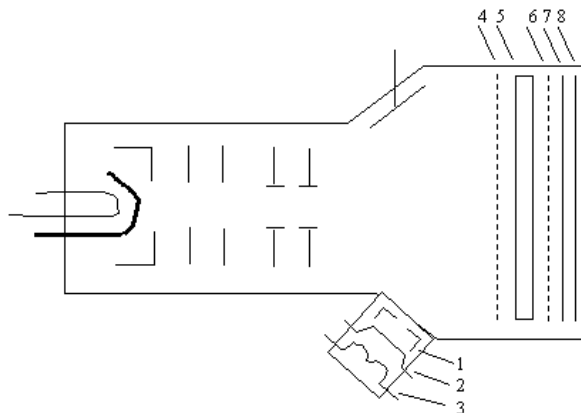


Рис. 7.2. Запоминающая электронно-лучевая трубка.

1 – модулятор; 2 – катод; 3 – подогреватель; 4 – сетка; 5 – коллиматор;
6 – коллектор; 7 – мишень; 8 – экран.

Для воспроизведения сигнала служит узел воспроизведения, состоящий из подогревателя, катода, модулятора и электродов коллиматора. Катод создает пучок электронов малой энергии, плотность которого регулируется модулятором. Коллиматор формирует пучок, равномерно облучающий мишень. Потенциалы коллектора и мишени подобраны таким образом, что при отсутствии записи медленные электроны не могли бы пройти через мишень. При наличии потенциального рельефа в этих точках часть электронов проходит к экрану и вызывает его свечение.

Стирание записи производится подачей на мишень положительного напряжения, выравнивающего потенциал мишени.

Основные характеристики запоминающей электронно-лучевой трубки:

- яркость свечения в режиме воспроизведения – она регулируется напряжением на модуляторе воспроизводящего узла;
- время воспроизведения – десятки минут;
- время хранения записи – несколько дней;
- скорость записи – до 4000 км/с.

7.3. Канал вертикального отклонения луча

Канал «У» состоит из следующих узлов: аттенюатора, входного каскада, предварительного усилителя, линии задержки и оконечного усилителя. Перечисленные функциональные узлы выполняют следующие действия. Аттенюатор предназначен для калиброванного ступенчатого изменения коэффициента отклонения путем ослабления входного сигнала в 10, 100 и т.д. раз. Аттенюатор проектируется таким образом, что ослабление не должно зависеть от частоты. Он обеспечивает высокое входное сопротивление и малую входную емкость.

Входной каскад, на который поступает сигнал с аттенюатора, предназначен для усиления исследуемых сигналов в полосе частот осциллографа при минимально допустимых амплитудных, частотных и фазовых искажениях. В предварительном усилителе осуществляется регулировка коэффициента усиления и перемещения луча по вертикали.

Линия задержки состоит из ряда LC -звеньев, соединенных по схеме фильтра нижних частот. Вход и выход линии задержки нагружаются на сопротивления, равные ее волновому сопротивлению, благодаря чему линия задержки вносит минимальное искажение исследуемого сигнала.

Оконечный усилитель предназначен для создания двух симметричных противофазных напряжений, достаточных для отклонения луча электронно-лучевой трубки в пределах экрана по вертикали.

7.4. Канал горизонтального отклонения луча

Для непрерывной развертки формируется периодическое пилообразное напряжение, которое синхронизируется с исследуемым сигналом. Для ждущей развертки импульсы пилообразной формы получают путем запуска формирующего устройства вспомогательным или исследуемым сигналом.

В канал «Х» входят: селектор синхронизации, генератор развертки и усилитель.

Генератор развертки, схема которого приведена на рис. 7.3, состоит из формирующего устройства, управляющего устройства, устройства формирования пилообразных импульсов, устройства сравнения и блокировки.

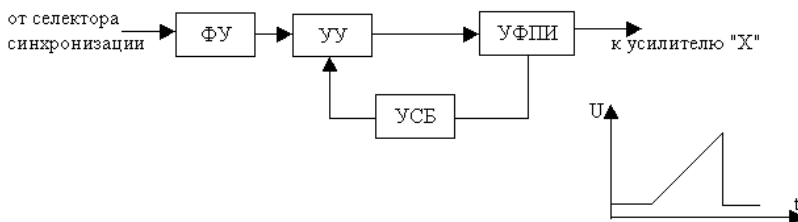


Рис. 7.3. Схема генератора развертки

Формирующее устройство преобразует сигналы синхронизации различной формы в стабильные по характеристикам импульсы, параметры которых не зависят от формы входных сигналов синхронизации. Управляющее устройство формирует регулируемый прямоугольный импульс. Длительность импульса определяет время прямого хода луча. Запускающий импульс переводит управляющее устройство из исходного состояния в рабочее, и в устройстве пилообразных импульсов нарастает напряжение прямого хода. Это напряжение подается на усилитель и одновременно на устройство сравнения и блокировки. При достижении пилообразным напряжением установленного уровня сравнения, управляющее устройство возвращается в исходное состояние и прямой ход прекращен.

Синхронизация и запуск развертки осуществляется специальным синхроимпульсом, подаваемым на генератор из устройства синхронизации. Различают внутреннюю и внешнюю синхронизацию. При внутренней синхронизации синхроимпульсы вырабатываются из усиленного входного сигнала до его задержки. При внешней синхронизации – сигнал синхронизации подают на специальный вход осциллографа от внешнего источника.

7.5. Виды разверток

Для более полного представления канала «X» рассмотрим виды разверток. Линейный вид развертки является наиболее распространенным. Напряжение этой развертки имеет форму пилы, поэтому луч с постоянной скоростью перемещается по экрану слева направо. Скорость луча в современных осциллографах колеблется от единиц сантиметров до десятков сантиметров в секунду, а в скоростных – до десятков тысяч километров в секунду.

Линейная ждущая развертка используется для наблюдения импульсов большой скважности, а также непериодических, случайных или однократных сигналов. Развертывающее напряжение такой развертки вырабатывается только тогда, когда поступающий сигнал на входе «У» через блок синхронизации запускает генератор развертки, который вырабатывает одиночный импульс.

Синусоидальная развертка получается при подаче на пластины «X» гармонического напряжения

$$U_x = U \sin \omega t .$$

Положительный полупериод напряжения развертывает перемещение луча от центра экрана до правой его границы и обратно; отрицательный полупериод напряжения развертывает перемещение луча от центра экрана до левой его границы и обратно к центру.

Если одновременно на вход «У» подать напряжение вида

$$U_y = U \sin(\omega t + \varphi),$$

где φ – некоторый сдвиг фазы, то на экране появляется фигура Лиссажу, которая представляет собой эллипс, форма которого зависит от амплитуды исходных сигналов и фазового сдвига.

7.6. Калибратор

Калибратор – отдельный генератор сигналов с точно известной амплитудой и частотой. Он встроен в осциллограф и предназначен для точной установки коэффициентов отклонения и развертки. Для калибровки оси «У» используют постоянные напряжения обеих полярностей и напряжения в виде меандра. Сигнал калибратора строго прямоугольной формы с частотой 1-2 кГц и скважностью 2.

Многоканальные осциллографы оснащены электронным коммутатором канала «У», что позволяет наблюдать на экране несколько синхронных процессов. При этом такой осциллограф имеет несколько входов, подключаемых к усилителю с частотой развертки.

Запоминающие осциллографы оснащены запоминающей электронно-лучевой трубкой. Необходимость их обусловлена тем, что исходный одиночный или медленно меняющийся сигнал необходимо задокументировать или просмотреть заново. Структурная схема запоминающих осциллографов содержит практически все составные части универсального. Но по сравнению с универсальными они характеризуются дополнительными параметрами.

Скоростные осциллографы используются для наблюдения сигналов пико и наносекундной длительности в реальном масштабе времени. Они комплектуются электронно-лучевыми трубками бегущей волны. Параметры скоростных осциллографов в основном зависят от параметров их электронно-лучевых трубок. Яркость изображения однократных сигналов обычно невелика, поэтому их используют в основном для фоторегистрации.

Стробоскопические осциллографы применяются для наблюдения многократно повторяющихся импульсов малой длительности. Принцип действия стробоскопического осциллографа заключается в преобразовании нескольких идентичных сигналов малой длительности в один, имеющий большую длительность и повторяющий форму входных сигналов. Число импульсов, формирующих один сигнал, определяет коэффициент трансформации временного масштаба.

Сигнал, поступающий на вход стробоскопического осциллографа, последовательно зондируется в n точках с помощью строб-импульсов. Последовательность зондирования осуществляется путем автоматиче-

ского сдвига во времени строб-импульсов на интервал dt (шаг считывания). Длительность строб-импульсов не критична, но должна быть меньше периода следования. Сигнал и строб-импульсы подаются в смеситель, на выходе которого возникают импульсы напряжения. Высота этих импульсов пропорциональна мгновенным значениям исследуемого сигнала в точках зондирования. Их форма повторяет форму исследуемого сигнала. Такое преобразование растягивает во времени исследуемый сигнал во много раз.

7.7. Осциллографические измерения

Метод калиброванных шкал применяется для измерения параметров сигнала по прямоугольной шкале-сетке. Коэффициенты вертикального и горизонтального отклонения градуируются по сигналу калибратора. Процесс измерения заключается в подсчете делений шкалы и умножении на масштабный коэффициент.

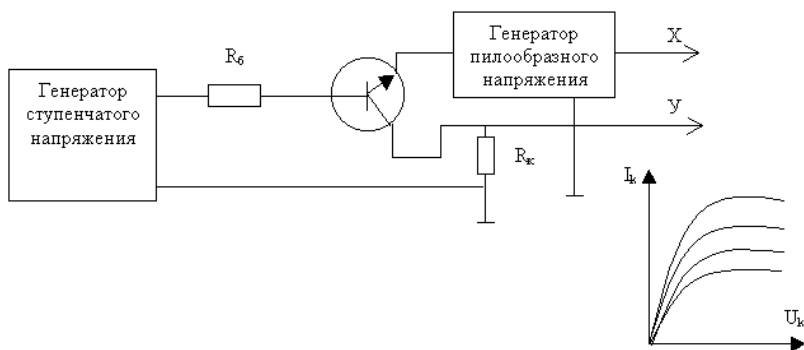


Рис. 7.4. Измерение вольт-амперных характеристик при помощи осциллографа

Синусоидальная развертка применяется для измерения фазового сдвига, частоты, параметров модулированных колебаний. Осциллограмма при синусоидальной развертке неподвижна только при равенстве или кратности частот приложенных напряжений. При равенстве частот получаются круг, наклоненные овалы (направо – 45, 315; налево – 135, 225), наклоненные линии (направо – 0; налево – 180) в зависимости от фазового сдвига. При кратных частотах наблюдается фигура в виде восьмерки.

7.7.1. Измерение вольт-амперных характеристик

Для этого применяется специальная схема, изображенная на рис. 7.4. Источником коллекторного напряжения служит генератор пи-

лообразного напряжения, которое есть напряжение развертки. Напряжение, пропорциональное току коллектора, снимается с резистора R_k . Ток базы задается генератором ступенчатого напряжения и резистором R_b . Параметры ступенчатого напряжения и напряжения развертки подобраны так, чтобы на экране получилось семейство вольт-амперных характеристик. Имеются специальные устройства, которые можно подключать к осциллографам для измерения характеристик различных транзисторов.

Контрольные вопросы

1. Какие сигналы можно измерять электронно-лучевым осциллографом?
2. Какие типы электронно-лучевых осциллографов Вы знаете?
3. Объясните принцип работ электронно-лучевой трубки (ЭЛТ).
4. Какие параметры используются для характеристики ЭЛТ.
5. Как регистрируется и воспроизводится осциллограмма в запоминающей ЭЛТ?
6. Опишите работу каналов отклонения луча по горизонтали и вертикали.
7. Какие существуют виды разверток?
8. Что такое калибратор и для чего он предназначен?
9. Объясните принцип стробоскопического преобразования сигнала.
10. Что можно измерить методом фигур Лиссажу?

Тема 8. ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ

Измерение напряжения – наиболее распространенный вид измерений. Вольтметры здесь используются так же часто, как и осциллографы. Кратко рассмотрим основные определения и соотношения, характеризующие напряжение, как одну из характеристик сигнала.

Напряжение между точками A и B есть скалярная величина, определяющаяся следующим выражением:

$$U_{AB} = \int_A^B \vec{E} d\vec{l},$$

где E – напряженность электрического поля.

8.1. Характеристики переменного напряжения

Если напряжение является функцией времени (т.е. является переменным), то для его характеристики используют следующие понятия: среднеквадратическое, среднее, среднев्यпрямленное, пиковое.

Среднеквадратическое (действующее) – среднеквадратическое всех мгновенных значений за время накопления (или за период при периодическом законе изменения напряжения):

$$U_o = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T U^2(t) dt},$$

где T – время накопления, определяемое постоянной времени наиболее инерционного звена в цепи.

Пиковое значение (амплитудное для гармонических сигналов) – наибольшее абсолютное значение измеряемого за время накопления сигнала (или за период для периодических напряжений). Пиковое напряжение может быть различным для разной полярности.

Среднее значение напряжения или его постоянная составляющая – среднее арифметическое всех мгновенных значений за время накопления:

$$U_{cp} = \frac{1}{T} \int_0^T U(t) dt.$$

Среднев्यпрямленное значение напряжение – среднее арифметическое всех абсолютных мгновенных значений за время накопления:

$$U_{cp.в.} = \frac{1}{T} \int_0^T |U(t)| dt.$$

Для разнополярных напряжений эти два значения могут существенно отличаться друг от друга. Для гармонических сигналов

$$U_{cp}=0, \\ U_{cp.в.}=0,637U_{max}.$$

Пиковое, действующее, средневыпрямленное напряжения связаны между собой определенной зависимостью, которая характеризуется коэффициентами амплитуды

$$k_a = \frac{U_m}{U_d}$$

и формы

$$k_\phi = \frac{U_d}{U_{cp}}.$$

Так же широко, как измерения напряжения, в практике используется измерение силы тока. Для измерения этой величины необходимо предварительно знать амплитуду, форму и частоту сигнала. Эти сведения позволят выбрать подходящие для каждого конкретного случая измерительные приборы. Для измерения применяют методы непосредственной оценки и сравнения. Метод непосредственной оценки осуществляют обычным прямопоказывающим прибором. Из школьного курса известно, что амперметр включают последовательно с нагрузкой, а вольтметр – параллельно ей. Очевидно, что сопротивление амперметра должно быть значительно меньше сопротивления нагрузки, а внутреннее сопротивление вольтметра значительно больше сопротивления нагрузки. Измерение постоянного тока проводится с меньшими погрешностями, чем измерение переменного. Повышение частоты измеряемого сигнала приводит, как правило, к увеличению погрешности измерения.

Метод сравнения обеспечивает более высокую точность измерений, чем метод непосредственной оценки. Этот метод реализуется с помощью приборов компенсаторов, отличающихся тем свойством, что в момент измерения мощность от измеряемой цепи не потребляется. Метод сравнения применяется в цифровых вольтметрах дискретного действия и в аналоговых компенсационных вольтметрах. Погрешность измерений при этом составляет сотые и тысячные доли процента.

Условно все имеющиеся вольтметры и амперметры можно разделить на два типа – электромеханические и электронные.

В электромеханических приборах прямого преобразования электрическая энергия преобразуется в механическую энергию перемещения подвижной части прибора. Если бы повороту подвижной части ничего бы не препятствовало, стрелка уперлась бы в край шкалы. Для того, чтобы угол отклонения α зависел от прикладываемой величины, используют противодействующий момент. Он бывает двух типов:

- механический (пружинка, растяжка);
- электрический.

Приборы, в которых противодействующий момент обеспечивается электромагнитным полем, называются *логометры*.

8.2. Электроизмерительные механизмы

Электроизмерительный механизм, посредством которого происходит перемещение стрелки, бывает:

- магнитоэлектрическим;
- электромагнитным;
- электродинамическим;
- электростатическим;
- индукционным.

В магнитоэлектрических вращающий момент создается в результате взаимодействия магнитного поля постоянного магнита и магнитного поля проводника с током, выполненного в виде катушки – рамки. Угол отклонения стрелки рассчитывается как

$$\alpha = \frac{Bsw}{W} I ,$$

где B – магнитная индукция постоянного магнита,
 s – площадь рамки,
 w – число витков катушки,
 W – удельный противодействующий момент,
 I – сила тока в катушке.

Чувствительность по току такого механизма

$$S = \frac{Bsw}{W}$$

не зависит от угла отклонения, т.е. магнитоэлектрические приборы имеют равномерную шкалу. Они изготавливаются вплоть до класса точности 0,1.

Магнитоэлектрические измерительные механизмы с механическим противодействием используют в амперметрах, вольтметрах, гальванометрах.

В логометрах противодействующая сила создается электрическим путем. Для этого подвижная часть делается в виде двух жестко скрепленных рамок. Направление токов в обмотках выбирают так, чтобы они создавали противоположно направленные моменты. Логометры с магнитоэлектрическим измерительным механизмом используют в омметрах.

Гальванометры – особочувствительные магнитоэлектрические приборы – предназначены для измерения токов, напряжений и количества электричества. Класс точности гальванометрам не присваивается, а ис-

пользуются они в качестве нулевых индикаторов, показывающих отсутствие тока в цепи. Обычно гальванометры выпускаются с двусторонней шкалой, т.е. нулевой отметкой посередине.

В **электромагнитных** измерительных механизмах вращающий момент возникает в результате взаимодействия магнитного поля катушки, по обмотке которой протекает измеряемый ток, с одним или несколькими ферромагнитными сердечниками, составляющими подвижную часть механизма. Они бывают с плоской катушкой, с круглой катушкой, с замкнутым магнитопроводом.

Катушка наматывается медным проводом и имеет воздушный зазор, куда входит эксцентрично закрепленный на оси сердечник. Материал его выбирают с наибольшей магнитной проницаемостью. При наличии тока сердечник стремится попасть в положение с наибольшей плотностью поля, т.е. втягивается в катушку. Для защиты от внешних магнитных полей (поскольку собственное поле невелико) используется экранирование.

При использовании замкнутого магнитопровода катушка помещена в магнитопровод с полюсными наконечниками. При наличии тока сердечник стремится повернуться, втягиваясь в рабочее пространство между наконечниками. Достоинства такой конструкции состоят в повышенной чувствительности, помехозащищенности. Выражение угла отклонения от входного воздействия имеет следующий вид

$$\alpha = \frac{1}{2W} I^2 \frac{dL}{d\alpha},$$

где L – индуктивность катушки, зависящая от положения сердечника.

Видно, что угол поворота такой системы не зависит от направления тока, т.е. ее можно использовать для измерения переменного тока, однако шкала прибора в этом случае отличается от линейной.

В **электродинамических** измерительных механизмах вращающий момент возникает в результате взаимодействия магнитных полей подвижной и неподвижной катушек с током. Уравнение отклонения указателя для таких приборов имеет вид

$$\alpha = \frac{1}{W} \frac{dM_{1,2}}{d\alpha} I_1 I_2,$$

где I_1, I_2 – токи первой и второй катушек.

При измерении переменного тока подвижная катушка реагирует на среднее значение вращающего момента, поэтому уравнение принимает следующий вид

$$\alpha = \frac{1}{W} \frac{dM_{1,2}}{d\alpha} I_1 I_2 \cos \varphi .$$

Ферродинамические приборы являются разновидностью электродинамических с тем отличием, что неподвижные катушки заключены в сердечнике из ферромагнитного материала. Такая конструкция обеспечивает значительное увеличение вращающего момента и хорошую защиту от внешних магнитных полей. Однако наличие сердечника увеличивает погрешность измерений.

Принцип действия **электростатических** приборов основан на взаимодействии двух заряженных тел. Обычно конструктивно они представляют собой подвижную и неподвижную пластины, к которым прикладывается измеряемое напряжение. Отклонение указателя описывается выражением:

$$\alpha = \frac{1}{2W} \frac{dC}{d\alpha} U^2,$$

где C – емкость между пластинами.

Шкала приборов с электростатическим измерительным механизмом, проградуированная на постоянном напряжении, справедлива для действующего значения напряжения любой формы. Достоинством таких приборов является: большие пределы измерений (до 1МВ), широкий частотный диапазон измеряемых напряжений (до 30 МГц). Недостатки: малая надежность, нелинейность шкалы, влияние температуры и внешнего электрического поля.

Термоэлектрические приборы предназначены для измерения в цепях высоких частот. Основой приборов такой системы является термоэлектрический преобразователь.

Электронные вольтметры делятся на аналоговые и дискретные, или их еще называют стрелочные и цифровые. По роду работы они подразделяются на вольтметры переменного, постоянного напряжения, импульсные, универсальные. Кроме того существуют вольтметры с частотно-избирательными свойствами – селективные.

В соответствии с элементом преобразования (типом первичного измерительного преобразователя) они измеряют различные параметры переменного напряжения.

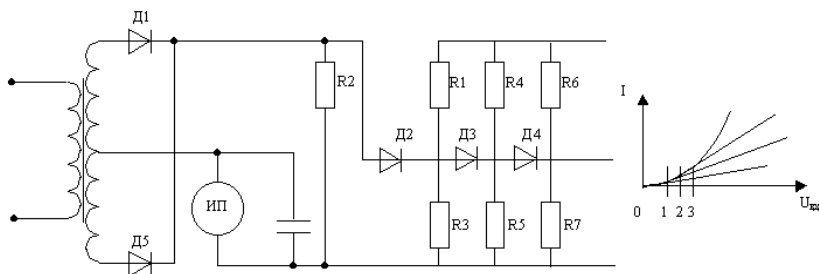


Рис. 8.1. Схема нелинейного устройства с квадратичной характеристикой

Нелинейный элемент с квадратичной характеристикой используется в одноименных вольтметрах. При гармоническом входном напряжении ток, протекающий через нелинейный элемент, пропорционален квадрату напряжения:

$$I = aU^2,$$

поэтому такие вольтметры целесообразно применять для измерения действующего значения напряжения. Получить квадратичную зависимость можно при работе на нелинейном участке вольт-амперной характеристики, т.е. при малых измеряемых напряжениях. Из-за того, что этот участок составляет всего $0,2 \dots 0,3 B$, используется набор диодов, на которые поданы разные напряжения для смещения рабочей точки. При этом квадратичная характеристика получается как кусочно-гладкая аппроксимация параболической кривой.

Схема нелинейного устройства с квадратичной характеристикой приведена на рис. 8.1. Параболическая кривая условно разбита на 3 участка, аппроксимированные линейными участками характеристик диодов. Каждая ячейка состоит из диода и делителя на двух сопротивлениях, с помощью которого на диоде создается напряжение смещения. Учитывая, что прямое сопротивление диода стремится к нулю, а обратное – к бесконечности, можно считать, что ток через диод не протекает, пока подводимое напряжение меньше напряжения смещения. При $U_{ax} > E_c$ ток определяется характеристикой диода.

Рассмотрим работу нелинейного устройства по схеме. На диод D_1 напряжение смещения не подается. Квадратичный участок его характеристики соответствует участку $0-1$ аппроксимируемой кривой. При напряжении $U_{ax} > E_{c1}$ открывается диод D_2 . Суммарный ток соответствует участку $1-2$ параболической кривой и т.д. Соединение нескольких ячеек, при котором их токи складываются, дает возможность получить характеристику в виде сложной ломаной линии, близкой к параболе. Сопротивление в цепи делителей подбирают таким образом, чтобы напряжение смещения на каждой последующей ячейке было больше, чем на предыдущей. Симметричный трансформатор и двухполупериодный выпрямитель позволяют измерять и несимметричные напряжения.

Нелинейный элемент с линейным участком характеристики – двухполупериодный выпрямитель (рис. 8.2). Постоянная составляющая тока в диагонали определяется соотношением:

$$I = \frac{a}{T} \int_0^T |U(t)| dt = bU_{cp.выпр}$$

Эта зависимость имеет место при любой форме измеряемого напряжения. Резистор в цепи измерительного прибора имеет сопротивление больше внутреннего сопротивления диода в открытом состоянии.

Вместе с конденсатором, шунтирующим прибор, они представляют собой фильтр, уменьшающий значение высших гармоник тока, протекающего через прибор. Вольтметр, содержащий линейный детектор, называют линейным.

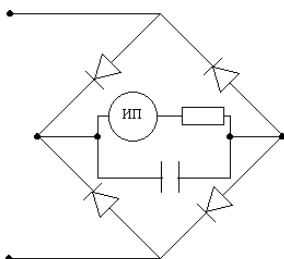


Рис. 8.2. Детектор среднев्यпрямленного значения

Нелинейный элемент с устройством памяти – пиковый детектор. Для измерения пиковых амплитудных значений напряжений в нелинейное устройство вводится запоминающий максимальное значение напряжения элемент. Обычно это емкость, заряжаемая через диод. Схема двух вариантов пикового детектора приведена на рис. 4.1. В схеме с открытым входом конденсатор заряжен до напряжения, близкого к максимальному, а в схеме с закрытым входом напряжение на резисторе меняется от нуля до удвоенного максимального (рис. 4.2). Во втором случае устройства, идущие следом, выделяют постоянную составляющую, равную максимальному напряжению.

Элемент с закрытым входом не реагирует на постоянную составляющую входного напряжения.

8.3. Цифровые измерительные приборы

Цифровые вольтметры. Цифровыми измерительными приборами называются приборы, автоматически вырабатывающие дискретные сигналы измерительной информации, показания которых представляются в цифровой форме.

Цифровые измерительные приборы обязательно включают два узла: аналого-цифровой преобразователь и цифровое отсчетное устройство. Для образования кода непрерывная величина дискретизируется по времени и по уровню так, что значение дискретной величины соответствует значению исходной непрерывной величины только в определенные моменты времени. Промежуток между соседними моментами времени называется шагом дискретизации.

Основные методы преобразования значений непрерывных величин в коды. По способу преобразования выделяют три основных метода:

- последовательного счета;
- сравнения и вычитания (поразрядного взвешивания);
- считывания.

При использовании метода последовательного счета происходит последовательное во времени сравнение измеряемой величины с известной, увеличивающейся или уменьшающейся скачками. Каждый скачок равняется шагу квантования по уровню.

При реализации метода поразрядного взвешивания происходит последовательное во времени сравнение измеряемой величины с известной, изменяющейся скачками по определенному алгоритму.

В методе считывания производится одновременное сравнение неизвестной величины с известными значениями, воспроизводимыми набором мер.

Погрешности цифровых измерительных приборов. На работу цифровых измерительных приборов в основном влияют два типа погрешностей: статические и динамические.

Статическая погрешность состоит из четырех составляющих:

- погрешности дискретизации;
- погрешности квантования;
- погрешности порога чувствительности;
- внешних влияний на ЦИП.

При этом надо иметь в виду, что последние три погрешности вызваны только несовершенством прибора и являются инструментальными погрешностями. Различными конструкторскими и инженерными разработками эти составляющие статической погрешности можно свести до минимума вплоть до полного исключения. Погрешность дискретизации является методической погрешностью. Это означает, что никакие технические усовершенствования в принципе не могут убрать эту погрешность, поскольку она присуща природе метода цифрового преобразования сигнала.

Динамические погрешности в цифровых измерительных приборах делятся на погрешности первого и второго рода.

К динамическим погрешностям первого рода относят погрешности, связанные с инерционностью отдельных составляющих цифрового измерительного прибора. Аналогично случаю статической погрешности, используя современную материально-техническую базу, возможно устранение этого рода погрешности путем совершенствования конструкции прибора и отдельных его частей.

Динамические погрешности второго рода возникают из-за того, что измерение происходит в момент времени t_2 , а результат его приписыва-

ют либо к t_1 , либо к t_3 . Такую погрешность измерения устранить в принципе нельзя.

Измерительные генераторы – это экранированные источники электрических сигналов, параметры которых могут регулироваться в определенных пределах.

Радиотехнические схемы, приборы должны настраиваться и проверяться в реальных условиях работы. Для этого на их входы подаются испытательные сигналы нужных частот, форм, амплитуд. Приборы, создающие сигналы известной частоты, амплитуды и формы, называются измерительными генераторами.

Они бывают низкочастотными (до 300 кГц), высокочастотными (300 кГц- 300 МГц), СВЧ (300 МГц-), качающейся частоты, импульсные, специальной формы, шумовые.

Современные генераторы сигналов специальной формы – весьма универсальные измерительные устройства с широким частотным диапазоном, большим числом форм выходных сигналов и электронным управлением параметрами сигналов. Иногда эти генераторы могут заменить низкочастотные, инфразвуковые, высокочастотные и импульсные генераторы. Управление генераторами можно осуществить вручную от клавиатуры на передней панели с индикацией на табло и дистанционно. В последнем случае возможно программирование частоты, формы и величины ступенчатого ослабления выходного сигнала.

Генераторы шумовых сигналов – измерительные генераторы, выходное напряжение которых представляет собой реализацию случайного процесса с контролируемыми статистическими характеристиками. К генераторам шумовых сигналов также относят генераторы случайных импульсных последовательностей. При этом случайными параметрами выходного напряжения являются моменты появления очередных импульсов и промежутка между ними.

Контрольные вопросы

1. Какие существуют характеристики переменного напряжения?
2. Что такое коэффициенты амплитуды и формы? Для чего они применяются?
3. Назовите два типа противодействующего момента в измерительных механизмах.
4. Что такое логометры?
5. Какие бывают электроизмерительные механизмы?
6. В чем заключается особенность электростатического электроизмерительного механизма?
7. Начертите нелинейный элемент с устройством памяти и объясните принцип его работы.

8. Опишите основные методы преобразования значений непрерывных величин в коды.

9. Что такое методическая погрешность?

10. Опишите динамические погрешности в цифровых измерительных приборах.

Тема 9. ИЗМЕРЕНИЕ МОЩНОСТИ

Здесь мы рассмотрим вопросы измерения мощности в электрических цепях. Основное внимание будет уделено измерению мощности, потребляемой нагрузкой в цепях высоких и сверхвысоких частот.

В цепях постоянного тока мощность, потребляемая нагрузкой, равна произведению тока и напряжения, и её можно определить косвенным методом с помощью амперметра и вольтметра или прямым – с помощью электродинамического ваттметра.

В цепях переменного синусоидального тока различают активную (среднюю за период) мощность:

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T U(t) dt = UI \cos \varphi$$

и реактивную мощность

$$Q = UI \sin \varphi,$$

где U – действующее значение напряжения на нагрузке;

I – действующее значение тока, протекающего через нагрузку;

φ – фазовый сдвиг между напряжением и током.

Преимущество отдаётся измерению значений активной мощности. Мощность измеряется в пределах от 10^{-18} до 10^8 Вт во всем частотном диапазоне от постоянного тока до миллиметровых длин волн. Иногда при измерении мощности используют относительные (логарифмические) единицы мощности. При этом мощность оценивают числом децибел, определяемым из соотношения:

$$\alpha = 10 \log \frac{P_x}{P_0},$$

где P_0 – мощность, принимаемая за исходный уровень.

Измерение мощности в диапазоне звуковых и высоких частот имеет ограниченное значение, т.к. на частотах до нескольких десятков МГц удобно измерять напряжения и токи, а мощность определять расчетным путем. На частотах свыше 100 МГц вследствие волнового характера процессов значения напряжений и токов теряют однозначность, т.е. их величина зависит от места включения прибора. Вместе с тем поток мощности через любое поперечное сечение линии передачи всегда остается неизменным. По этой причине основным параметром, характеризующим режим работы устройства СВЧ, становится мощность.

9.1. Интегрирующие преобразователи

Наиболее широкое применение в измерениях активной мощности промышленной частоты находят интегрирующие преобразователи. В таких преобразователях перемножение реализуется в два этапа. На первом этапе величину X_1 запоминают путем интегрирования в пределах строго определенного малого интервала времени t_U :

$$U_{X_1}^{(i)} = k \int_0^{t_U} X_1^{(i)} dt \approx k_1 t_U X_1^{(i)},$$

где k_1 – коэффициент пропорциональности;
 t_U – постоянный интервал интегрирования;
 i – момент дискретизации перемножаемых величин.

На втором этапе реализуются два процесса. Величину преобразуют в пропорциональный интервал времени:

$$T_{X_i}^{(i)} = k_2 U_{X_i}^{(i)} = k_1 k_2 t_U X_1^{(i)},$$

где k_2 – коэффициент пропорциональности.

Практически эту операцию выполняет преобразователь, аналогичный интегрирующему аналого-цифровому преобразователю. Одновременно в пределах того же интервала времени $T_{X_1}^{(i)}$ осуществляют интегрирование второй перемножаемой величины $X_2^{(i)}$.

Результат интегрирования определяется выражением:

$$U_{\text{вых}} = k_3 \int_{t_U}^{t_U + T_{X_1}^{(i)}} X_2^{(i)} dt,$$

где k_3 – коэффициент пропорциональности.

Полагая, что $X_2^{(i)}$ в пределах $T_{X_1}^{(i)}$ постоянна, имеем:

$$U_{\text{вых}} = k_3 X_2^{(i)} T_{X_1}^{(i)} = k_1 k_2 k_3 X_1^{(i)} X_2^{(i)} = k X_1^{(i)} X_2^{(i)},$$

где $k = k_1 k_2 k_3$ – коэффициент пропорциональности.

Таким образом, выходное напряжение пропорционально произведению входных величин.

В случае использования в процессе измерений цифровых устройств определение активной мощности по измеренным мгновенным значениям тока и напряжения сводится к реализации соотношения:

$$P = \frac{1}{T_{np}} \int_0^{T_{np}} U(t) I(t) dt \approx \frac{1}{T_{np}} \sum_{k=1}^{T_{np} F} U^{(k)} I^{(k)} \Delta t,$$

где $F = \frac{1}{\Delta t}$ – частота дискретизации силы тока и напряжения;

T_{np} – период промышленной частоты.

Практически частоту дискретизации выбирают в пределах нескольких десятков килогерц.

9.2. Метод трех вольтметров и трех амперметров

В диапазоне звуковых и высоких частот определение мощности, потребляемой произвольной нагрузкой R_H , можно выполнить в результате использования схем для измерения $\cos \varphi$. В способе трех вольтметров последовательно с нагрузкой R_H включают дополнительный резистор R (рис.9.1). Результаты измерения позволяют построить треугольник напряжений и из него определить

$$\cos \varphi = \frac{U_1^2 - U_2^2 - U_3^2}{2U_2U_3}$$

Сопротивление резистора R должно иметь значение, близкое к значению R_H . Желательно, чтобы внутреннее сопротивление вольтметров также во много раз превосходило значение R_H . По этой причине способ трёх вольтметров используют в тех случаях, когда R_H достаточно мало.

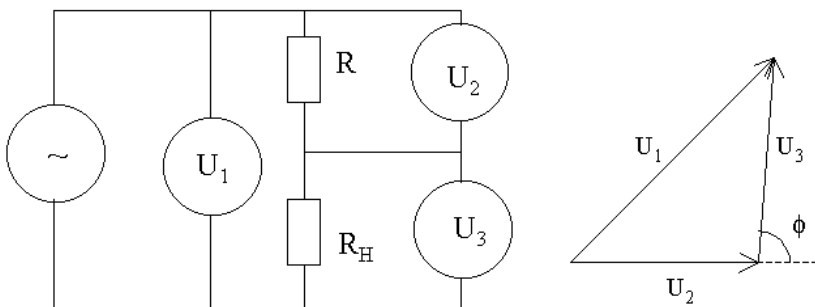


Рис. 9.1. Способ измерения мощности методом трех вольтметров

Способ трёх амперметров (рис. 9.2.) используется в основном при достаточно больших значениях R_H . По показаниям амперметров строится треугольник токов, из которого определяют искомое значение $\cos \varphi$:

$$\cos \varphi = \frac{I_1^2 - I_2^2 - I_3^2}{2I_2I_3}$$

При этом желательно использовать амперметры, собственное сопротивление которых мало по сравнению с величиной нагрузки.

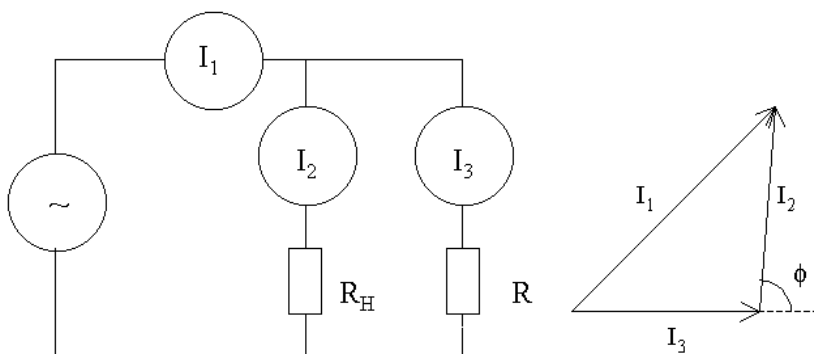


Рис. 9.2. Способ измерения мощности методом трех амперметров

9.3. Измерение мощности СВЧ

Измерение мощности СВЧ сигналов основано на эквивалентном преобразовании энергии исходных электромагнитных колебаний в другой вид энергии, удобный для измерения.

Все приборы условно можно разделить на измерители поглощенной и проходящей мощностей.

Первая группа – измерение мощности рассеиваемой на нагрузке.

Калориметрический способ используется при точных измерениях относительно большой мощности. Способ основан на эквивалентном преобразовании измеряемой энергии в теплоту и измерении приращения температуры калориметрического тела, поглотившего эту энергию. Энергия СВЧ может рассеиваться непосредственно в калориметрическом теле или на резистивной нагрузке, помещённой в нём. Независимо от формы колебаний результатом измерения будет среднее значение мощности. Различают два вида калориметрических измерений: статический (адиабатический) и циркуляционный. Статический измеритель состоит из согласованной поглощающей нагрузки, калориметрического тела и измерителя температуры. Измеряемую мощность по волноводу подводят к нагрузке, преобразуют в теплоту и нагревают калориметрическое тело. Связь между скоростью приращения температуры и значением измеряемой мощности определяется соотношением:

$$P_x = \frac{cm(t_2 - t_1)}{0.24\Delta\tau} = 4.17cm \frac{t_2 - t_1}{\Delta\tau},$$

где P_x – измеряемая мощность;

0.24 – тепловой эквивалент работы;
 m – масса калориметрического тела;
 c – удельная теплоемкость калориметрического тела;
 $\Delta\tau$ – время измерения;
 $(t_2 - t_1)$ – приращение температуры.

В качестве рабочего тока используют воду. Повышение точности измерений достигается надежной теплоизоляцией калориметрического тела от окружающей среды. Достоинство метода – простота измерений. Недостаток метода – необходимость периодического охлаждения измерителя (отключения).

Кроме воды в качестве рабочего тела используют твердые (объемные или пленочные) поглотители мощности СВЧ. Такой калориметр называют сухим. Это – коаксиальная или волноводная нагрузка, помещенная в теплоизоляционную камеру. Повышение температуры рабочего тела регистрируют с помощью блока дифференциальных термопар, горячие спаи которых контактируют с рабочим телом, а «холодные» – с корпусом прибора.

Широко распространены калориметрические ваттметры циркуляционного типа. В таких калориметрах вода циркулирует с постоянной скоростью. Значение рассеиваемой мощности определяется по приращению температуры калориметрического тела:

$$P_x = \frac{1}{0.24} cGd\Delta T,$$

где G – расход калориметрического тела (воды);
 d – его удельный вес.

Приращение температуры ΔT измеряется с помощью двух термопар, расположенных до и после нагрузки. Недостаток метода – необходимость в специальных устройствах, обеспечивающих стабильность расхода воды, ее количества.

9.4. Измерение малой мощности СВЧ

Измерители малой мощности СВЧ используются для измерения от десятков нановатт до десятков милливольт. В таких ваттметрах чувствительные элементы одновременно являются согласованной нагрузкой для измеряемой мощности.

9.4.1. Резистивный метод

Резистивный термочувствительный элемент включается в мостовые измерительные схемы. Температурное влияние среды обычно компенсируется. Часто применяют болометры – чувствительные элементы, сопротивление которых при повышении температуры увеличивается.

Болометр представляет собой стеклянный сосуд, наполненный инертным газом. Чувствительная нить выполняется из материала с высоким температурным коэффициентом сопротивления:

$$R_T = R_0 + ap^b,$$

где R_m – сопротивление болометра;

p – рассеиваемая мощность;

R_0 – начальное сопротивление болометра;

a, b – постоянные коэффициенты, зависящие от материала и конструкции чувствительной нити болометра.

Термистор-резистор с большим отрицательным температурным коэффициентом сопротивления:

$$R_T = R_0 l^{\gamma(1/T-1/T_0)},$$

где R_0 – начальное сопротивление термистора при исходной температуре T_0 ;

T – температура нагрева термистора;

γ – постоянный коэффициент.

Недостаток таких ваттметров – малая мощность измеряемых сигналов.

9.5. Ваттметры проходящей мощности

Под проходящей мощностью $P_{пр}$ линии передачи понимают разность мощностей падающей и отраженной:

$$P_{пр} = P_{пад} - P_{отп}.$$

9.5.1. Измерение с помощью направленных ответвителей

Непрерывными ответвителями называют устройства, которые при включении в линию передач реагируют на мощность, распространяющуюся в определенном направлении. Они позволяют отвести к ваттметру малую, но вполне определенную мощность.

Конструктивно – это система двух волноводов, связанных между собой системой двух и более щелей связи. Расстояние между щелями равно нечетному числу четвертых долей длины волны. Основной волновод называют первичным, второй – вторичным, к выходам которого подключаются согласованные нагрузки, одной из которых служит измерительный прибор, а другой – поглощающее сопротивление. Для измерения мощности падающей волны измеритель малой мощности подключается к волноводу по ходу волны, а для измерения отраженной – противоположно. Действительные значения измеряемой мощности будут превосходить показания измерительного прибора в $10...100000$ раз в зависимости от коэффициента переходного затухания между волноводом и ответвителем. Обычно приборы такого типа называют рефлектометрами.

9.5.2. Измерение мощности с помощью эффекта Холла

Эффект Холла состоит в том, что если полупроводниковую пластинку, по которой течёт ток, поместить в магнитное поле с индукцией B , то между её точками, лежащими на прямой, перпендикулярной направлениям тока и поля, возникает разность потенциалов – э.д.с. Холла. Для измерения проходящей мощности полупроводниковую пластинку помещают в электромагнитное поле линии передач так, чтобы электрическая составляющая поля возбуждала ток вдоль пластины, а магнитная была направлена перпендикулярно ее поверхности. Ваттметры с преобразователями Холла очень просты конструктивно, имеют линейную шкалу.

9.5.3. Пондеромоторный ваттметр

В этом случае мощность СВЧ излучения определяется по механическому (пондеромоторному) действию электромагнитных волн. Явление механического давления электромагнитных волн было открыто П.Н. Лебедевым. Давление электромагнитных волн, испытываемое отражающей поверхностью, пропорционально значению вектора Умова-Пойтинга, который определяет плотность потока энергии, проходящую через единичную площадь.

9.5.4. Измерение мощности лазерного излучения

Мощность и энергию лазерного излучения называют энергетическими параметрами, которые характеризуются:

- мощностью излучения в непрерывном режиме P ;
- энергией излучения отдельных импульсов:

$$W = \int_0^{t_H} P(t) dt,$$

где t_H – длительность импульса;

- средней мощностью в импульсе:

$$P_{cp} = \frac{W}{t_H};$$

- средней мощностью импульсно-модулированного излучения:

$$P_{cp} = \frac{1}{T} \int_0^T P(t) dt,$$

где T – период повторения импульсов.

Измерения мощности лазерного излучения имеют невысокую точность (ошибки достигают 5%). Применяются различные методики измерения – калориметрический, фотоэлектрический, пондеромоторный.

Контрольные вопросы

1. Чем отличается активная и реактивная мощность?
2. Как чаще всего измеряют активную мощность промышленной частоты?
3. Как можно измерить косинус разности фаз между током и напряжением для определения мощности в диапазоне звуковых и высоких частот?
4. В каком случае используется метод трех вольтметров?
5. На чем основан метод измерения мощности СВЧ сигналов?
6. Каким способом можно точно измерить относительно большую СВЧ мощность?
7. В чем преимущество калориметрических ваттметров циркуляционного типа?
8. Как измеряют малую мощность СВЧ?
9. Что такое термистор?
10. Для чего служат направленные ответвители?
11. Опишите принцип действия пюндеромоторного ваттметра.

Тема 10. ГОСУДАРСТВЕННАЯ СИСТЕМА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЕДИНСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

Основные метрологические требования к средствам измерений установлены нормативными актами законодательной метрологии. Исходным документом законодательной метрологии является Закон Российской Федерации «Об обеспечении единства измерений» от 27 апреля 1993 г.

Единство измерений обеспечивается двумя важнейшими условиями:

- результаты измерений должны представляться в узаконенных единицах;
- должна быть известна погрешность измерений.

Для выполнения условий обеспечения единства измерений в стране созданы:

- нормативная база;
- соответствующие технические средства;
- метрологическая служба.

Нормативная база сконцентрирована в государственных стандартах и других нормативных и рекомендательных документах Государственной системы обеспечения единства измерений (ГСИ).

К техническим средствам обеспечения единства измерений прежде всего относятся государственные эталоны, служащие для воспроизведения размеров единиц измерений с наивысшей точностью. Другие эталоны используются в системе передачи размеров единиц от государственных эталонов всем средствам измерений.

Закон устанавливает правовые основы обеспечения единства измерений в РФ, регулирует отношения государственных органов управления РФ с юридическими и физическими лицами по вопросам *изготовления, выпуска, эксплуатации, ремонта, продажи и импорта* средств измерений.

Прежде всего он направлен на защиту законных интересов граждан от отрицательных последствий недостоверных результатов измерений.

Основные понятия, которые используются в сфере законодательной метрологии:

единство измерений – состояние измерений, при котором их результаты выражены в узаконенных единицах величин и погрешности измерений не выходят за установленные границы с заданной вероятностью;

нормативные документы по обеспечению единства измерений – государственные стандарты, международные (региональные) стандарты, применяемые в установленном порядке, правила, положения, инструкции и рекомендации;

метрологическая служба – совокупность субъектов деятельности и видов работ, направленных на обеспечение единства измерений;

сертификат об утверждении типа средств измерений – документ, удостоверяющий, что данный тип средств измерений утвержден в порядке, предусмотренном действующим законодательством;

лицензия на изготовление (ремонт, продажу, прокат) средств измерений – документ, удостоверяющий право заниматься указанными видами деятельности.

Если международным договором РФ установлены иные правила, чем те, которые содержатся в Законодательстве РФ об обеспечении единства измерений, то применяются правила международного договора.

Государственное управление деятельностью по обеспечению единства измерений в РФ осуществляет Комитет Российской Федерации по стандартизации, метрологии и сертификации (Госстандарт России).

К компетенции Госстандарта относятся:

- межрегиональная и межотраслевая координация деятельности по обеспечению единства измерений в РФ;
- представление предложений по единицам величин, допускаемым к применению;
- установление правил создания, утверждения, хранения и применения эталонов единиц величин;
- определение общих метрологических требований к средствам, методам и результатам измерений.

В Российской Федерации в установленном порядке допускаются к применению рекомендованные Международной организацией законодательной метрологии единицы величин Международной системы единиц, принятой Генеральной конференцией по мерам и весам. Однако могут быть допущены к применению наравне с единицами СИ внесистемные единицы величин. Например, характеристики и параметры продукции, поставляемой на экспорт, могут быть выражены в единицах величин, установленных заказчиком.

Государственная метрологическая служба находится в ведении Госстандарта России и включает в себя:

- государственные научные метрологические центры;
- органы Государственной метрологической службы.

Госстандарт России осуществляет руководство:

- Государственной службой времени и частоты и определения параметров вращения Земли (ГСВЧ);
- Государственной службой стандартных образцов состава и свойств веществ и материалов (ГССО);
- Государственной службой стандартных справочных данных о физических константах и свойствах веществ и материалов (ГСССД) и координацией их деятельности.

Государственные научные метрологические центры несут ответственность за создание, совершенствование, хранение и применение госу-

дарственных эталонов единиц величин, а также за разработку нормативных документов по обеспечению единства измерений.

10.1. Метрологические службы государственных органов управления Российской Федерации и юридических лиц

Государственные органы управления РФ, а также предприятия, организации, учреждения создают в необходимых случаях метрологические службы для выполнения работ по обеспечению единства и требуемой точности измерений и для осуществления метрологического контроля и надзора.

При выполнении работ в некоторых сферах создание метрологических служб или иных структур по обеспечению единства измерений является обязательным.

Права и обязанности метрологических служб определяются положениями о них, утверждаемыми руководителями организаций.

Метрологический контроль и надзор осуществляется метрологическими службами юридических лиц путем:

- калибровки средств измерений;
- надзора за состоянием и применением средств измерений;
- проверки своевременности представления средств измерений на испытания в целях утверждения типа средств измерений, а также на поверку и калибровку.

10.2. Государственный метрологический контроль и надзор

Контроль и надзор осуществляются Государственной метрологической службой Госстандарта России.

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.

10.3. Сферы распространения государственного метрологического контроля и надзора

Государственный метрологический контроль и надзор распространяются на:

- здравоохранение, ветеринарию, охрану окружающей среды, обеспечение безопасности труда;
- торговые операции и взаимные расчеты между покупателем и продавцом, в том числе на операции с применением игровых автоматов и устройств;
- государственные учетные операции;

- обеспечение обороны государства;
- геодезические и гидрометеорологические работы;
- банковские, налоговые, таможенные и почтовые операции;
- производство продукции, поставляемой по контрактам для государственных нужд в соответствии с законодательством Российской Федерации;
- испытания и контроль качества продукции в целях определения соответствия обязательным требованиям государственных стандартов Российской Федерации;
- обязательную сертификацию продукции и услуг;
- измерения, проводимые по поручению органов суда, прокуратуры, арбитражного суда, государственных органов управления Российской Федерации;
- регистрацию национальных и международных спортивных рекордов.

Кроме того, Государственный метрологический контроль при необходимости может быть распространен и на другие сферы деятельности.

Как указывалось ранее, к функциям Государственной метрологической службы Госстандарта России относится проведение поверки средств измерений. Эта деятельность осуществляется при выпуске из производства или ремонта, при ввозе по импорту и эксплуатации средств измерений. Допускается продажа и выдача напрокат только поверенных средств измерений.

Положительные результаты поверки средств измерений удостоверяются поверительным клеймом или свидетельством о поверке.

При выполнении поверочных работ на территории отдельного региона с выездом на место эксплуатации средств измерений орган исполнительной власти этого региона обязан оказывать поверителям содействие, в том числе:

- предоставлять им соответствующие помещения;
- обеспечивать их вспомогательным персоналом и транспортом;
- извещать всех владельцев и пользователей средств измерений о времени поверки.

Деятельность по изготовлению, ремонту, продаже и прокату средств измерений, применяемых в сферах распространения государственного метрологического контроля и надзора, может осуществляться юридическими и физическими лицами лишь при наличии лицензии.

Лицензирование производится после проверки наличия необходимых для этой деятельности условий, а также соблюдения лицами, осуществляющими эту деятельность, установленных метрологических правил и норм. Более подробно вопрос о конкретных правилах лицензирования будет освещен далее.

10.4. Калибровка средств измерений

Средства измерений, не подлежащие поверке, могут подвергаться калибровке при выпуске из производства или ремонта, при ввозе по импорту, при эксплуатации, прокате и продаже.

Калибровка средств измерений производится метрологическими службами юридических лиц с использованием эталонов, соподчиненных государственному эталону единиц величин. Результаты калибровки средств измерений удостоверяются калибровочным знаком, наносимым на средства измерений, или сертификатом о калибровке, а также записью в эксплуатационных документах.

Процедуры калибровки представляют собой контроль метрологических и других технических характеристик измерительных каналов и практически не отличаются от процедур поверки.

Отличие поверки от калибровки средств измерений состоит в том, что поверка осуществляется только органами Государственной метрологической службы, а калибровка может выполняться как органом государственной метрологической службы, так и метрологической службой предприятия или организации (любого юридического лица).

Контрольные вопросы

1. Благодаря каким двум важнейшим условиям обеспечивается единство измерений?
2. Что относится к техническим средствам обеспечения единства измерений?
3. Дайте определения понятиям «единство измерений», «метрологическая служба».
4. Что входит в компетенцию Госстандарта?
5. В каких случаях наравне с единицами СИ могут быть допущены для использования внесистемные единицы величин?
6. Каким образом метрологическими службами осуществляется метрологический контроль и надзор?
7. Перечислите сферы распространения государственного метрологического контроля и надзора.
8. Что такое поверка средств измерений?
9. Чем калибровка средств измерений отличается от поверки?
10. Как удостоверяются положительные результаты поверки средств измерений?

Тема 11. ГОСУДАРСТВЕННЫЙ МЕТРОЛОГИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ ЗА СРЕДСТВАМИ ИЗМЕРЕНИЙ

11.1. Порядок проведения испытаний и утверждения типа средств измерений

Утверждение типа средств измерений является видом государственного метрологического контроля и проводится в целях обеспечения единства измерений в стране.

Порядок распространяется на средства измерений, в том числе измерительные системы (комплексы), подлежащие применению в сферах распространения государственного метрологического контроля и надзора, установленных в Законе Российской Федерации "Об обеспечении единства измерений".

Порядок проведения испытаний и утверждения типа средств измерений включает:

- испытания средств измерений для целей утверждения их типа;
- принятие решения об утверждении типа;
- государственную регистрацию и выдачу сертификата об утверждении типа;

Заявки на проведение испытаний средств измерений для целей утверждения типа направляются в Управление Госстандарта России.

При испытаниях средств измерений для целей утверждения их типа проверяют соответствие технической документации и технических характеристик средств измерений требованиям технического задания, технических условий и распространяющихся на них нормативных и эксплуатационных документов, включающих методики поверки средств измерений.

Положительные результаты испытаний являются основанием для принятия Госстандартом России решения об утверждении типа средств измерений, которое удостоверяется сертификатом.

Заявитель наносит на средства измерений, тип которых утвержден, и на эксплуатационную документацию, сопровождающую каждый экземпляр средств измерений, Знак утверждения типа средств измерений.

11.2. Испытания средств измерений для целей утверждения их типа

Испытания средств измерений для целей утверждения их типа проводятся государственными научными метрологическими центрами Госстандарта России, аккредитованными им в качестве ГЦИ СИ.

Программа испытаний средств измерений предусматривает установление метрологических характеристик этих средств измерений и проверку методики поверки. Положительные результаты этих испытаний являются основанием для принятия Госстандартом России решения об утверждении типа, которое удостоверяется сертификатом об утверждении типа по форме.

На испытания средств измерений для целей утверждения их типа заявитель представляет:

- образец (образцы) средств измерений;
- программу испытаний типа, утвержденную ГЦИ СИ;
- технические условия (если предусмотрена их разработка), подписанные руководителем организации-разработчика;
- эксплуатационные документы, а для средств измерений, подлежащих импорту, – комплект документации фирмы-изготовителя, прилагаемый к поставляемому средству измерений с переводом на русский язык;
- нормативный документ по поверке при отсутствии раздела «Методика поверки» в эксплуатационной документации;

После успешного прохождения процедуры испытаний принимается решение об утверждении типа, его регистрации и выдаче сертификата об утверждении типа средств измерений.

11.2.1. Испытания на соответствие средств измерений утвержденному типу

Испытания на соответствие средств измерений утвержденному типу проводят:

- при наличии информации от потребителей об ухудшении качества выпускаемых или импортируемых средств измерений;
- при внесении в их конструкцию или технологию изготовления изменений, влияющих на их нормированные метрологические характеристики;
- при истечении срока действия сертификата об утверждении типа.

11.3. Порядок проведения поверки средств измерений

Поверка средств измерений – это совокупность операций, выполняемых органами государственной метрологической службы с целью определения и подтверждения соответствия средства измерений установленным техническим требованиям.

Поверку средств измерения производят для установления их пригодности к применению. Пригодными к применению признают средства измерений, поверка которых подтверждает их соответствие метрологи-

ческим и техническим требованиям к данному средству измерений, установленным в нормативно-технических документах.

Поверка является составляющей частью Государственного метрологического контроля и распространяется на:

- здравоохранение, охрану окружающей среды и обеспечения безопасности труда;

- государственные учетные организации;

- обеспечение обороны государства;

- геодезические и гидрометеорологические работы;

- испытания и контроль качества продукции в целях определения соответствия обязательным требованиям государственных стандартов Российской Федерации;

- обязательную сертификацию продукции и услуг и т.п.

В частности, обязательной государственной поверке подлежат:

- средства измерений, принадлежащие органам Государственной метрологической службы;

- исходные образцовые средства измерений предприятий;

- средства измерений, предназначенные для применения в качестве рабочих средств для измерений, результаты которых используются для учета материальных ценностей, топлива и энергии, для защиты природной среды, обеспечения безопасности труда и т.п.

Поверочная деятельность осуществляется аккредитованными метрологическими службами юридических лиц и контролируется органами Государственной метрологической службы по месту расположения этих юридических лиц. А сама поверка средств измерений осуществляется физическим лицом, аттестованным в качестве поверителя органом Государственной метрологической службы.

Положительные результаты поверки результатов измерений удостоверяются поверительным клеймом или свидетельством о поверке.

Средства измерений, применяемые для наблюдения за изменением величин без оценки их значений в единицах физических величин с нормированной точностью, поверке не подлежат, на них должно быть нанесено обозначение «И». Средства измерений, применяемые для учебных целей, поверке не подлежат, на них должно быть нанесено обозначение «У».

Средства измерений подвергают первичной, периодической, внеочередной, инспекционной и экспертной поверке.

Первичной поверке подлежит каждый экземпляр средств измерений при выпуске из производства или ремонта или поступающий по импорту. В отдельных случаях, предусмотренных в нормативно-технических документах, допускается проводить выборочную поверку. Первичную поверку проводят:

- на месте изготовления средств измерений;

- на месте применения средств измерений;

– частично на месте изготовления и частично на месте применения средств измерений.

Периодической поверке подлежат средства измерений, находящиеся в эксплуатации или на хранении, через определенные межповерочные интервалы, устанавливаемые органами государственной метрологической службы с расчетом обеспечения пригодности к применению средств измерений на период между поверками. Средства измерений, находящиеся на длительном хранении в условиях, обеспечивающих их пригодность к применению, периодической поверке могут не подвергаться.

Внеочередную поверку производят при эксплуатации (хранении) средств измерений в случае:

– необходимости удостовериться в пригодности к применению средств измерений;

– применения средств измерений в качестве комплектующих при истечении половины межповерочного интервала на них;

– повреждения поверительного клейма, пломбы или утере документа, подтверждающего прохождение средствами измерений первичной или периодической поверки;

– ввода в эксплуатацию средств измерений после хранения, в течение которого не могла быть произведена периодическая поверка в связи с требованиями к консервации средств измерений или изделий, содержащих средства измерений;

– переконсервации средств измерений, а также изделий, в комплекте которых применяются средства измерений;

– передачи средств измерений на длительное хранение по истечении половины межповерочного интервала на них;

– отправки потребителю средств измерений, не реализованных предприятием-изготовителем по истечении половины межповерочного интервала на них.

Рекомендуется производить внеочередную поверку перед вводом в эксплуатацию средств измерений, взятых со склада после хранения и транспортирования.

Инспекционную поверку производят при осуществлении государственного надзора и контроля за состоянием и применением средств измерений для выявления пригодности к применению средств измерений.

Инспекционную поверку можно проводить не в полном объеме, предусмотренном нормативно-техническими документами по поверке.

Результаты инспекционной поверки отражают в акте проверки состояния и применения средств измерений.

Государственную инспекционную поверку производят в присутствии представителя проверяемого предприятия.

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

Экспертную поверку производят органы государственной метрологической службы по письменному требованию (заявлению) суда, прокуратуры, милиции, государственного арбитража, органов народного контроля, по письменному заявлению предприятий при возникновении спорных вопросов по метрологическим характеристикам, по исправности средств измерений, пригодности их к применению и по правильности эксплуатации средств измерений. В заявлении должны быть указаны предмет, цель экспертной поверки и причина, вызвавшая ее необходимость.

При осуществлении экспертной поверки средств измерений в необходимых случаях могут присутствовать заявители, а также представители заинтересованной стороны.

По результатам экспертной поверки составляют заключение, которое утверждается руководителем органа государственной метрологической службы и направляется его заявителю. Один экземпляр должен храниться в органе государственной метрологической службы, проводившем экспертную поверку.

11.4. Порядок лицензирования деятельности по изготовлению, ремонту, продаже и прокату средств измерений

Такой порядок применяется в сферах распространения государственного метрологического контроля и надзора и распространяется на все юридические и физические лица, осуществляющие эту деятельность независимо от форм собственности и ведомственной подчиненности.

Основанием для выдачи юридическому или физическому лицу лицензии является:

- заявление юридического или физического лица (заявителя) на осуществление лицензируемого вида деятельности;
- положительные результаты проверки органом Государственной метрологической службы условий осуществления лицензируемого вида деятельности на их соответствие требованиям нормативных документов по обеспечению единства измерений.

При этом к заявителю предъявляются требования, состав которых зависит от характера лицензируемой деятельности. Заявитель, претендующий на получение лицензии на изготовление средства измерений, должен:

- иметь комплект конструкторско-технологической документации на изготовление средства измерений, имеющего сертификат об утверждении типа средства измерений;

- обеспечить условия для изготовления средств измерений в соответствии с конструкторско-технологической документацией;
- обеспечить условия для проведения органом Государственной метрологической службы по месту расположения заявителя испытаний средства измерений на соответствие утвержденному типу;
- иметь аттестат аккредитации на право поверки средств измерений данного типа или договор на проведение поверки данных средств измерений с организацией, обладающей этим правом.

Необходимо отметить, что лицензия на изготовление средств измерений дает ее владельцу право на их продажу, ремонт и прокат.

Заявители, претендующие на получение лицензии на ремонт средств измерений для сторонних организаций, должны иметь:

- рабочие помещения, соответствующие требованиям к организации ремонта средств измерений и условиям хранения средств измерений;
- необходимое технологическое оборудование, средства измерений, ремонтную документацию;
- квалифицированные кадры, выполняющие работы по ремонту, юстировке, наладке средств измерений;
- аттестат аккредитации на право поверки средств измерений данного типа или договор на проведение поверки данных средств измерений с организацией, обладающей этим правом.

Видно, что требования, предъявляемые для получения лицензии на право изготовления средств измерений, гораздо жестче, чем просто на ремонт.

И та и другая лицензия выдается на срок не более 5 лет. Повторное лицензирование на основании заявления Заявителя может быть осуществлено по сокращенной или полной программе по решению органа Государственной метрологической службы.

11.5. Порядок осуществления государственного метрологического надзора за выпуском, состоянием и применением средств измерений, аттестованными методиками выполнения измерений, эталонами и соблюдением метрологических правил и норм

В соответствии с законодательством РФ устанавливается особый порядок подготовки, проведения и оформления результатов государственного метрологического надзора за выпуском, состоянием и применением средств измерений, аттестованными методиками выполнения измерений, эталонами единиц величин и соблюдением метрологических правил и норм. Все это делается с целью защиты прав и законных интересов граждан, установленного правопорядка и экономики Российской

Федерации от отрицательных последствий недостоверных результатов измерений.

Государственный метрологический надзор осуществляется в виде проверок выпуска, состояния и применения средств измерений, эталонов и соблюдения иных метрологических правил и норм в объединениях, на предприятиях, в организациях и учреждениях (далее – предприятиях) независимо от их подчиненности и форм собственности.

Прежде всего необходимо отметить, что проверки соблюдения метрологических правил и норм проводятся на предприятиях, деятельность которых относится к сферам распространения государственного метрологического контроля и надзора в соответствии со статьей 13 Закона РФ «Об обеспечении единства измерений»,

Основными задачами проверок являются: определение соответствия выпускаемых средств измерений утвержденному типу; определение состояния и правильности применения средств измерений, в том числе эталонов, применяемых для проверки средств измерений; определение наличия и правильности применения аттестованных методик выполнения измерений; контроль соблюдения метрологических правил и норм.

Проверки соблюдения метрологических правил и норм при осуществлении государственного метрологического надзора проводят должностные лица Госстандарта России – главные государственные инспекторы и государственные инспекторы по обеспечению единства измерений Российской Федерации.

Проверки могут охватывать все области деятельности предприятия, относящиеся к сферам распространения государственного метрологического контроля и надзора. Они могут быть целевыми, т.е. проверяется соблюдение метрологических правил и норм в одной или нескольких областях деятельности предприятия, относящихся к одной или нескольким сферам распространения государственного метрологического контроля и надзора.

Целевые проверки могут быть самостоятельными, осуществляемыми органами Государственной метрологической службы, и совместными, проводимыми совместно с другими контрольно-надзорными органами.

По срокам проведения проверки соблюдения метрологических правил и норм могут быть плановыми (периодическими), внеплановыми (внеочередными) и повторными.

Плановые проверки проводятся на предприятии не реже 1 раза в 3 года в соответствии с графиком проведения проверок соблюдения метрологических правил и норм. График составляется органом Государственной метрологической службы.

Внеплановые проверки проводятся по инициативе потребителей продукции, органов местного самоуправления, общества защиты прав потребителей, торговой инспекции, контрольно-надзорных органов или

других органов и организаций, а также по усмотрению самого органа Государственной метрологической службы в целях решения конкретных задач, связанных с выявлением и устранением отрицательных последствий недостоверных результатов измерений.

Повторные проверки проводятся в целях контроля выполнения предписаний органов госнадзора, полученных предприятием по результатам предыдущей проверки. Необходимость проведения повторной проверки может быть определена планом организационно-технических мероприятий, составленным по результатам первичной проверки.

11.5.1. Порядок проведения проверок

Орган Государственной метрологической службы, осуществляющий проверку, не позднее чем за 5 дней до ее начала информирует предприятие, на котором предполагается осуществить проверку, и проводит подготовительные работы, включающие:

- составление технического задания на проведение проверки, в котором указываются: вид проверки, цель, задачи и обоснование ее проведения, участники, календарные сроки;
- изучение материалов предыдущих проверок;
- ознакомление участников проверки с ходом и результатами подготовки к проверке.

Руководитель проверки по прибытии на предприятие:

- предъявляет руководителю предприятия техническое задание на проведение;
- знакомит руководителя предприятия с целями и задачами проверки;
- уточняет перечень средств измерений, подлежащих государственному метрологическому контролю и надзору;

Участники проверки до ее начала:

- определяют конкретные объекты, подлежащие проверке;
- знакомятся с мерами, принятыми предприятием по результатам предыдущих проверок;
- выявляют наличие рекламаций на продукцию, поставляемую по контрактам для государственных нужд или подлежащую обязательной сертификации, а также рекламаций на продукцию, показатели качества которой должны соответствовать обязательным требованиям государственных стандартов;
- знакомятся с протоколами и результатами метрологического контроля и надзора, осуществляемого службами предприятия.

Проверка соблюдения метрологических правил и норм в сферах, подлежащих государственному метрологическому контролю и надзору, может быть полной, т.е. надзору подвергаются все средства измерений, подлежащие государственному метрологическому контролю и надзору, соответствующие методик выполнения измерений и иные метрологиче-

ские правила и нормы, относящиеся к деятельности проверяемого предприятия. Также возможна выборочная проверка.

При обнаружении нарушений все результаты проверки оформляются протоколами, содержащими исчерпывающую информацию о характере нарушений.

При выявлении нарушений государственный инспектор имеет право:

– запретить применение и выпуск средств измерений неутвержденных типов или несоответствующих утвержденному типу, а также неповеренных;

– погасить поверительные клейма или аннулировать свидетельство о поверке в случаях, когда средство измерений дает неправильные показания или просрочен межповерочный интервал;

– при необходимости изъять средство измерений из эксплуатации;

– представить предложения по аннулированию лицензий на право изготовления, ремонта, продажи и проката средств измерений в случаях нарушения требований к этим видам деятельности.

Контрольные вопросы

1. Объясните, что такое утверждение типа средств измерений.
2. Что включает в себя порядок проведения испытаний и утверждения типа средств измерений?
3. Что должен предоставить заявитель на испытания средств измерений для целей утверждения их типа?
4. В каких случаях проводят испытания на соответствие средств измерений утвержденному типу?
5. Для чего производят поверку средств измерений?
6. Кем осуществляется поверка?
7. Каким видам поверок подвергают средства измерений?
8. Чем инспекционная поверка отличается от экспертной?
9. Для чего выполняется лицензирование деятельности по изготовлению, ремонту, продаже и прокату средств измерений?
10. На какой срок выдается такая лицензия?
11. Перечислите основные задачи проведения проверок на соблюдение метрологических правил и норм на предприятиях и в организациях.
12. Как подразделяются проверки по срокам проведения?
13. Каков порядок выполнения подготовительных работ перед проверкой?
14. Какие действия может предпринять государственный инспектор при выявлении нарушений в ходе проверки?

Тема 12. СТАНДАРТИЗАЦИЯ

12.1. Сущность стандартизации

В 1993 г. принята новая редакция комплекса государственных основополагающих стандартов "Государственная система стандартизации Российской Федерации (ГСС)". Изменения и дополнения к ней в большей степени приближают организацию стандартизации в РФ к международным правилам и учитывают реалии рыночной экономики. В частности, введена новая категория нормативного документа – *технический регламент*, сформулировано правило по информации о нормативных документах. Эти нововведения весьма важны в плане присоединения России к *Кодексу ГАТТ/ВТО* по стандартизации. Полностью обновлены положения *ГСС*, касающиеся государственного контроля и надзора за соблюдением обязательных требований стандартов и правил сертификации. Соответствующие изменения внесены в терминологию, гармонизирующие ее с рекомендациями *ИСО/МЭК* (Международная организация по стандартизации/Международная комиссия по электротехнике). Так, вместо употреблявшегося ранее у нас термина «**утверждение**» стандарта официально установлен термин «**принятие**» стандарта. По-новому сформулированы формы применения в России международных и региональных стандартов.

Приближение правил отечественной стандартизации к международным отражено и в трактовке требований государственного стандарта (разделение их на обязательные для выполнения и рекомендательные). Исключены правила по установлению в стандартах требований к изготовителям о предоставлении гарантии. Следуя международному опыту, их относят к коммерческим, которые не подлежат стандартизации, а оговариваются в договорных отношениях. Однако практика подсказала, что все же нужны какие-то официальные документы, устанавливающие гарантийные обязательства. Поэтому согласно «**Новым правилам продажи отдельных видов продовольственных и непродовольственных товаров**» разрабатываются правила (обычно отраслевого характера), которые запрещают реализацию товара без инструкций, технических паспортов, гарантийных талонов и т. п. Особенно актуально соблюдение этих установлений для бытовой электро-радиотехники и других товаров долговременного пользования.

Приведенные примеры подчеркивают, что деятельность по стандартизации весьма динамична, она всегда соответствует изменениям, происходящим в различных сферах жизни общества, прежде всего в экономической, должна стремиться успевать и даже предвосхищать их, чтобы стандарты способствовали развитию, а не отставанию отечественного производства.

Кроме того, действующая система стандартизации явно смещает приоритеты к оценке качества объектов стандартизации и методам их испытаний, что также согласуется с мировым опытом стандартизации и необходимо для обеспечения взаимопонимания между партнерами как в сфере техники и технологии, так и в конечном итоге в торгово-экономических связях.

Новая система стандартизации предоставляет возможность для широкого участия в процессе создания стандарта всех заинтересованных сторон. Это реализуется законным правом изготовителей продукции, потребителей, разработчиков проектов, представителей общественных организаций, отдельных специалистов участвовать в работе технических комитетов, которых в России уже несколько сотен.

Фонд стандартов, служащий базой для информационного обеспечения работ не только по стандартизации, но также и по сертификации, метрологии и управлению качеством, приобрел и межгосударственное значение для СНГ. Это содействует как развитию стандартизации в странах содружества, так и укреплению экономических связей между ними.

Стандартизация – это деятельность, направленная на разработку и установление требований, норм, правил, характеристик как обязательных для выполнения, так и рекомендуемых, обеспечивающая право потребителя на приобретение товаров надлежащего качества за приемлемую цену, а также право на безопасность и комфортность труда.

Цель стандартизации – достижение оптимальной степени упорядочения в той или иной области посредством широкого и многократного использования установленных положений, требований, норм для решения реально существующих, планируемых или потенциальных задач.

Основными результатами деятельности по стандартизации должны быть повышение степени соответствия продукта (услуги), процессов их функциональному назначению, устранение технических барьеров в международном товарообмене, содействие научно-техническому прогрессу и сотрудничеству в различных областях.

Цели стандартизации можно подразделить на общие и узкие, касающиеся обеспечения соответствия.

Общие цели вытекают прежде всего из содержания понятия. Конкретизация общих целей для российской стандартизации связана с выполнением тех требований стандартов, которые являются обязательными. К ним относятся разработка норм, требований, правил, обеспечивающих безопасность продукции, работ, услуг для жизни и здоровья людей, окружающей среды и имущества; совместимость и взаимозаменяемость изделий; качество продукции, работ и услуг в соответствии с

уровнем развития научно-технического прогресса; единство измерений; экономия всех видов ресурсов; безопасность хозяйственных объектов, связанная с возможностью возникновения различных катастроф (природного и техногенного характера) и чрезвычайных ситуаций; обороноспособность и мобилизационная готовность страны. Это определено **Законом РФ «О стандартизации»**, принятым в 1993 г.

Конкретные цели стандартизации относятся к определенной области деятельности, отрасли производства товаров и услуг, тому или другому виду продукции, предприятию и т.п.

Стандартизация связана с такими понятиями, как **объект стандартизации и область стандартизации**.

Объектом (предметом) стандартизации обычно называют продукцию, процесс или услугу, для которых разрабатывают те или иные требования, характеристики, параметры, правила и т.п. Стандартизация может касаться либо объекта в целом, либо его отдельных составляющих (характеристик).

Областью стандартизации называют совокупность взаимосвязанных объектов стандартизации. Например, машиностроение является областью стандартизации, а объектами стандартизации в машиностроении могут быть технологические процессы, типы двигателей, безопасность и экологичность машин и т.д.

Стандартизация осуществляется на разных уровнях. **Уровень стандартизации** различается в зависимости от того, участники какого географического, экономического, политического региона мира принимают стандарт. Так, если участие в стандартизации открыто для соответствующих органов любой страны, то это международная стандартизация.

Региональная стандартизация – деятельность, открытая только для соответствующих органов государств одного географического, политического или экономического региона мира. Региональная и международная стандартизация осуществляется специалистами стран, представленных в соответствующих региональных и международных организациях, задачи которых будут рассмотрены ниже.

Национальная стандартизация – стандартизация в одном конкретном государстве. Она также может осуществляться на разных уровнях: на государственном, отраслевом уровнях, в том или ином секторе экономики (например на уровне министерств), на уровне ассоциаций, производственных фирм, предприятий (фабрик, заводов) и учреждений.

Стандартизацию, которая проводится в административно-территориальной единице (провинции, крае и т.п.), принято называть административно-территориальной стандартизацией.

12.2. Нормативные документы по стандартизации и виды стандартов

В процессе стандартизации вырабатываются нормы, правила, требования, характеристики, касающиеся объекта стандартизации, которые оформляются в виде нормативного документа.

Рассмотрим разновидности нормативных документов, которые рекомендуются руководством **ИСО/МЭК**, а также принятые в государственной системе стандартизации РФ. Руководство **ИСО/МЭК** рекомендует: стандарты, документы технических условий, своды правил, регламенты (технические регламенты).

Стандарт – это нормативный документ, разработанный на основе консенсуса, утвержденный признанным органом, направленный на достижение оптимальной степени упорядочения в определенной области. В стандарте устанавливаются для всеобщего и многократного использования общие принципы, правила, характеристики, касающиеся различных видов деятельности или их результатов. Стандарт должен быть основан на обобщенных результатах научных исследований, технических достижений и практического опыта, тогда его использование принесет оптимальную выгоду для общества.

Предварительный стандарт – это временный документ, который принимается органом по стандартизации и доводится до широкого круга потенциальных потребителей, а также тех, кто может его применить. Информация, полученная в процессе использования предварительного стандарта, и отзывы об этом документе служат базой для решения вопроса о целесообразности принятия стандарта.

Стандарты бывают международными, региональными, национальными, административно-территориальными. Они принимаются соответственно международными, региональными, национальными, территориальными органами по стандартизации. Все эти категории стандартов предназначены для широкого круга потребителей. По существующим нормам стандартизации стандарты периодически пересматриваются для внесения изменений, чтобы их требования соответствовали уровню научно-технического прогресса, или, согласно терминологии **ИСО/МЭК**, стандарты должны представлять собой «признанные технические правила». Нормативный документ, в том числе и стандарт, считается признанным техническим правилом, если он разработан в сотрудничестве с заинтересованными сторонами путем консультаций и на основе консенсуса.

Указанные выше категории стандартов называют общедоступными. Другие же категории стандартов, фирменные или отраслевые, не являясь таковыми, могут, однако, использоваться и в нескольких странах согласно существующим там правовым нормам.

В учебнике стандарт рассматривается как одна из разновидностей нормативных документов. Однако в практике термин «**стандарт**» может употребляться и по отношению к эталону, образцу или описанию продукта, процесса (услуги). По существу это не является принципиальной ошибкой, хотя эталон правильнее относить к области метрологии, а термин «**стандарт**» использовать применительно к нормативному документу.

Документ технических условий устанавливает технические требования к продукции, услуге, процессу. Обычно в документе технических условий должны быть указаны методы или процедуры, которые следует использовать для проверки соблюдения требований данного нормативного документа в таких ситуациях, когда это необходимо.

Свод правил, как и предыдущий нормативный документ, может быть самостоятельным стандартом либо самостоятельным документом, а также частью стандарта. Свод правил обычно разрабатывается для процессов проектирования, монтажа оборудования и конструкций, технического обслуживания или эксплуатации объектов, конструкций, изделий. Технические правила, содержащиеся в документе, носят рекомендательный характер.

Все вышеуказанные нормативные документы являются рекомендательными. В отличие от них обязательный характер носит **регламент**. *Регламент* – это документ, в котором содержатся обязательные правовые нормы. Принимает регламент орган власти, а не орган по стандартизации, как в случае других нормативных документов. Разновидность регламентов – *технический регламент* – содержит технические требования к объекту стандартизации. Они могут быть представлены непосредственно в самом этом документе либо путем ссылки на другой нормативный документ (стандарт, документ технических условий, свод правил). В отдельных случаях в технический регламент полностью включается нормативный документ. Технические регламенты обычно дополняются методическими документами, как правило, указаниями по методам контроля или проверок соответствия продукта (услуги, процесса) требованиям регламента.

Основополагающий стандарт – нормативный документ, который содержит общие или руководящие положения для определенной области. Обычно используется либо как стандарт, либо как методический документ, на основе которого могут разрабатываться другие стандарты.

В терминологическом стандарте объектом стандартизации являются термины. Такой стандарт содержит определение (толкование) термина, примеры его применения и т.п.

Стандарт на методы испытаний устанавливает методики, правила, процедуры различных испытаний и сопряженных с ними действий (например отбор пробы или образца).

Стандарт на продукцию, содержащий требования к продукции, которые обеспечивают соответствие продукции ее назначению, может быть полным или неполным. Полный стандарт устанавливает не только вышеуказанные требования, но также и правила отбора проб, проведения испытаний, упаковки, этикетирования, хранения и т.д. Неполный стандарт содержит часть требований к продукции (только к параметрам качества, только к правилам поставки и пр.).

Стандарт на процесс, стандарт на услугу – это нормативные документы, в которых объектом стандартизации выступают соответственно процесс (например технология производства), услуга (например автосервис, транспорт, банковское обслуживание и др.).

Стандарт на совместимость устанавливает требования, касающиеся совместимости продукта в целом, а также его отдельных частей (деталей, узлов). Такой стандарт может быть разработан на систему в целом, например систему воздухоочистки, сигнализационную систему и т.п.

Положения могут носить методический или описательный характер.

Методические положения – это методика, способ осуществления процесса, той или иной операции и т.п., с помощью чего можно достигнуть соответствия требованиям нормативного документа. Можно называть нормативный документ, содержащий подобное положение, «**методическим стандартом**».

Описательное положение обычно содержит описание конструкции, деталей конструкции, состава исходных материалов, размеров деталей и частей изделия (конструкции). Кроме того, нормативный документ может содержать и **эксплуатационное положение**, которое описывает «поведение» объекта стандартизации при его использовании (применении, эксплуатации).

Стандарт с открытыми значениями. В некоторых ситуациях ту или иную норму (или количественное значение того или иного требования) определяют изготовители (поставщики), в других – потребители. Поэтому в стандарте может содержаться перечень характеристик, которые конкретизируются в договорных отношениях.

Российская система стандартизации, конечно, опирается на международный опыт, приближена к международным правилам, нормам и практике стандартизации, но имеет и отечественный богатый опыт, так же как и свои особенности, не противоречащие, однако, вышеизложенному. Поэтому целесообразно рассмотреть разновидности нормативных документов, действующих в РФ.

12.3. Нормативные документы по стандартизации в РФ

Нормативные документы по стандартизации в РФ установлены **Законом РФ «О стандартизации»**. К ним относятся: **Государственные**

стандарты Российской Федерации (ГОСТ Р); применяемые в соответствии с правовыми нормами международные, региональные стандарты, а также правила, нормы и рекомендации по стандартизации; общероссийские классификаторы технико-экономической информации; стандарты отраслей; стандарты предприятий; стандарты научно-технических, инженерных обществ и других общественных объединений. До настоящего времени действуют еще и стандарты бывшего СССР, если они не противоречат законодательству РФ.

Кроме стандартов, нормативными документами являются также **ПР** – правила по стандартизации, **Р** – рекомендации по стандартизации и **ТУ** – технические условия. Особое требование предъявляется к нормативным документам на продукцию, которая согласно российскому законодательству подлежит обязательной сертификации. В них должны быть указаны те требования к продукции (услуге), которые подтверждаются посредством сертификации, а также методы контроля (испытаний), которые следует применять для установления соответствия, правила маркировки такой продукции и виды сопроводительной документации.

Рассмотрим содержание российских нормативных документов.

Государственные стандарты разрабатывают на продукцию, работы и услуги, потребности в которых носят межотраслевой характер. Стандарты этой категории принимает **Госстандарт России**, а если они относятся к области строительства, архитектуры, промышленности строительных материалов – **Госстрой России**.

В государственных стандартах содержатся как обязательные для выполнения требования к объекту стандартизации, так и рекомендательные.

К обязательным относятся:

- безопасность продукта, услуги, процесса для здоровья человека, окружающей среды, имущества, а также производственная безопасность и санитарные нормы;

- техническая и информационная совместимость и взаимозаменяемость изделий;

- единство методов контроля и единство маркировки.

Особую актуальность приобретают требования безопасности, поскольку безопасность товара – основной аспект сертификации соответствия. Требования обязательного характера должны соблюдать государственные органы управления и все субъекты хозяйственной деятельности независимо от формы собственности.

К требованиям безопасности в стандартах относят: электробезопасность, пожаробезопасность, взрывобезопасность, радиационную безопасность, предельно допустимые концентрации химических и загрязняющих веществ; безопасность при обслуживании машин и оборудо-

дования; требования к защитным средствам и мероприятиям по обеспечению безопасности (ограждения, ограничители хода машин, блокирующие устройства, аварийная сигнализация и т.п.).

В стандартах на отдельные виды продукции могут быть приведены такие характеристики, как класс опасности; допустимые уровни опасных и вредных факторов производства, возникающих при работе оборудования; действие вещества на человека и т.п.

Стандарты указывают все виды и нормы допустимой опасности касательно конкретного продукта или группы однородной продукции. Они разработаны с расчетом на безопасность объекта стандартизации в течение всего периода его использования (срока службы).

Заказчик и исполнитель обязаны включать в договор условия о соответствии предмета договора обязательным требованиям государственных стандартов.

Другие требования государственных стандартов могут быть признаны обязательными в договорных ситуациях либо в том случае, если имеется соответствующее указание в технической документации изготовителя (поставщика) продукции, а также исполнителя услуг. К таким требованиям относятся основные потребительские (эксплуатационные) характеристики продукции и методы их контроля; требования к упаковке, транспортированию, хранению и утилизации продукта; правила и нормы, касающиеся разработки производства и эксплуатации; правила оформления технической документации, метрологические правила и нормы и т.п.

По правилам и процедурам обязательной сертификации соответствие обязательным требованиям подтверждается испытаниями. Соответствие продукта (услуги) другим требованиям может подтверждаться сообразно законодательным положениям о добровольной сертификации.

В некоторых случаях, если это целесообразно и необходимо для обеспечения более высокого уровня конкурентоспособности отечественных товаров, в стандартах могут быть установлены **перспективные (предварительные) требования**, которые опережают возможности традиционных технологий. Это, с одной стороны, не противоречит изложенному выше положению о предварительных стандартах, а с другой – служит стимулом для внедрения новых, передовых технологических процессов на отечественных предприятиях.

Отраслевые стандарты разрабатываются применительно к продукции определенной отрасли. Их требования не должны противоречить обязательным требованиям государственных стандартов, а также правилам и нормам безопасности, установленным для отрасли. Принимают такие стандарты государственные органы управления (например министерства), которые несут ответственность за соответствие требований отраслевых стандартов обязательным требованиям **ГОСТ Р**.

Объектами отраслевой стандартизации могут быть: продукция, процессы и услуги, применяемые в отрасли; правила, касающиеся организации работ по отраслевой стандартизации; типовые конструкции изделий отраслевого применения (инструменты, крепежные детали и т.п.); правила метрологического обеспечения в отрасли. Диапазон применимости отраслевых стандартов ограничивается предприятиями, подведомственными государственному органу управления, принявшему данный стандарт. На добровольной основе возможно использование этих стандартов субъектами хозяйственной деятельности иного подчинения. Степень обязательности соблюдения требований стандарта отрасли определяется тем предприятием, которое применяет его, или по договору между изготовителем и потребителем. Контроль за выполнением обязательных требований организует ведомство, принявшее данный стандарт.

Стандарты предприятия разрабатываются и принимаются самим предприятием. Объектами стандартизации в этом случае обычно являются составляющие организации и управления производством, совершенствование которых – главная цель стандартизации на данном уровне. Кроме того, стандартизация на предприятии может затрагивать и продукцию, производимую этим предприятием. Тогда объектами стандарта предприятия будут составные части продукции, технологическая оснастка и инструменты, общие технологические нормы процесса производства этой продукции. Стандарты предприятий могут содержать требования к различного рода услугам внутреннего характера.

Закон РФ «О стандартизации» рекомендует использовать стандартизацию на предприятии для освоения данным конкретным предприятием государственных, международных, региональных стандартов, а также для регламентирования требований к сырью, полуфабрикатам и т.п., закупаемым у других организаций. Эта категория стандартов обязательна для предприятия, принявшего этот стандарт. Но если в договоре на разработку, производство, поставку продукта или предоставление услуг имеется ссылка на стандарт предприятия, он становится обязательным для всех субъектов хозяйственной деятельности – участников такого договора.

Стандарты общественных объединений (научно-технических, инженерных обществ и др.). Эти нормативные документы разрабатывают, как правило, на принципиально новые виды продукции, процессов или услуг; передовые методы испытаний, а также нетрадиционные технологии и принципы управления производством. Через свои стандарты общественные объединения, занимающиеся этими проблемами, преследуют цель распространения перспективных, заслуживающих внимания результатов мировых научно-технических достижений, фундаментальных и прикладных исследований.

Для субъектов хозяйственной деятельности стандарты общественных объединений служат важным источником информации о передовых достижениях и, по решению самого предприятия, принимаются на добровольной основе для использования отдельных положений при разработке стандартов предприятия.

Как стандарты предприятий, так и стандарты общественных объединений не должны противоречить российскому законодательству, а если их содержание касается аспекта безопасности, то проекты этих стандартов должны быть согласованы с органами государственного надзора. Ответственность за это несут принявшие их субъекты хозяйственной деятельности.

Правила по стандартизации (*ПР*) и рекомендации по стандартизации (*Р*) по своему характеру соответствуют нормативным документам методического содержания. Они могут касаться порядка согласования нормативных документов, представления информации о принятых стандартах отраслей, обществ и других организаций в Госстандарт РФ, создания службы по стандартизации на предприятии, правил проведения государственного контроля за соблюдением обязательных требований государственных стандартов и многих других вопросов организационного характера. *ПР* и *Р* разрабатываются, как правило, организациями и подразделениями, подведомственными Госстандарту РФ или Госстрою РФ. Проект этих документов обсуждается с заинтересованными сторонами, утверждается и издается этими комитетами.

Технические условия (ТУ) разрабатываются предприятиями и другими субъектами хозяйственной деятельности в том случае, когда стандарт создавать нецелесообразно. Объектом **ТУ** может быть продукция разовой поставки, выпускаемая малыми партиями, а также художественные произведения и т.п. Процедура принятия **ТУ** для других нормативных документов отличается от описанной выше.

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. Особенность процедуры согласования **ТУ** состоит в том, что во время приемки новой продукции, выпущенной в соответствии с их требованиями, происходит их окончательное согласование с приемочной комиссией. Но чтобы представить **ТУ** приемочной комиссии во время приемки, требуется предварительная рассылка проекта технических условий и дополняющей их документации тем организациям, представители которых будут участвовать в приемке продукции. **ТУ** считаются окончательно согласованными, если подписан акт приемки опытной партии (или опытного образца). Этим же решается вопрос о возможности производства промышленной партии продукции. В тех случаях, когда

предприятие принимает решение о производстве продукции без приемочной комиссии, **ТУ** обязательно согласуются с заказчиком.

Не подлежат согласованию и в том и в другом варианте те требования и нормы **ТУ**, которые относятся к обязательным. В таком случае в технических условиях приводится ссылка на соответствующий государственный стандарт. Правила согласования **ТУ** предоставляют их разработчику самому решать вопрос о согласовании с заказчиком, если этот документ был создан в инициативном порядке.

Принимает **ТУ** их разработчик (руководитель или заместитель руководителя организации) без указания срока действия за исключением отдельных случаев, когда заинтересованность в этом проявляет заказчик (потребитель) продукции.

12.4. Виды стандартов

Перечисленные нормативные документы, как показано выше, принимаются (утверждаются) на разных уровнях управления хозяйственной деятельностью. По этому признаку различают категории стандартов РФ.

Как и в мировой практике, в России действует несколько видов стандартов, которые отличаются спецификой объекта стандартизации: основополагающими стандартами; стандартами на продукцию (услуги); стандартами на работы (процессы); стандартами на методы контроля (испытаний, изменений, анализа).

Основополагающие стандарты разрабатываются с целью содействия взаимопониманию, техническому единству и взаимосвязи деятельности в различных областях науки, техники и производства. Этот вид нормативных документов устанавливает такие организационные принципы и положения, требования, правила и нормы, которые рассматриваются как общие для этих сфер и должны способствовать выполнению целей, общих как для науки, так и для производства. В целом они обеспечивают их взаимодействие при разработке, создании и эксплуатации продукта (услуги) таким образом, чтобы выполнялись требования по охране окружающей среды, безопасности продукта или процесса для жизни, здоровья и имущества человека; требования по ресурсосбережению и другим общетехническим нормам, предусмотренным государственными стандартами на продукцию.

Примером основополагающих стандартов могут быть **ГОСТ Р 1.0-92, ГОСТ Р 1.2-92, ГОСТ Р 1.4-93, ГОСТ Р 1.5-92** – нормативные документы по организации Государственной системы стандартизации в России.

Этот пример говорит также о том, что еще одним нормативным документом может быть **комплекс стандартов**, который объединяет взаимосвязанные стандарты, если они имеют общую целевую направ-

ленность, устанавливают согласованные требования к взаимосвязанным объектам стандартизации. Так, комплекс основополагающих стандартов, по существу являясь объединением взаимосвязанных нормативных документов, носящих методический характер, содержит положения, направленные на то, чтобы стандарты, применяемые на разных уровнях управления, не противоречили друг другу и законодательству, обеспечивали достижение общей цели и выполнение обязательных требований к продукции, процессам, услугам.

Стандарты на продукцию (услуги) устанавливают требования либо к конкретному виду продукции (услуги), либо к группам однородной продукции (услуги). В отечественной практике есть две разновидности этого вида нормативных документов:

– стандарты общих технических условий, которые содержат общие требования к группам однородной продукции, услуг;

– стандарты технических условий, содержащие требования к конкретной продукции (услуге).

Допускается также разработка стандартов на отдельные требования к группам однородной продукции (услуги), например на классификацию, методы испытаний, правила хранения и/или транспортировки и т.п. Наиболее часто отдельным объектом стандартизации являются параметры и нормы безопасности и охраны окружающей среды.

Стандарт общих технических условий обычно включает следующие разделы: классификацию, основные параметры (размеры), общие требования к параметрам качества, упаковке, маркировке, требования безопасности; требования охраны окружающей среды; правила приемки продукции; методы контроля, транспортирования и хранения; правила эксплуатации, ремонта и утилизации.

Наличие в содержании стандарта тех или иных разделов зависит от особенностей объекта стандартизации и характера предъявляемых к нему требований.

Стандарт технических условий устанавливает всесторонние требования к конкретной продукции (в том числе различных марок или моделей этой продукции), касающиеся производства, потребления, поставки, эксплуатации, ремонта, утилизации. Сущность этих требований не должна противоречить стандарту общих технических условий. Но стандарт технических условий содержит конкретизированные дополнительные требования, относящиеся к объекту стандартизации (указание о товарном знаке, если он зарегистрирован в установленном порядке; знаки соответствия, если изделия сертифицированы; особые требования, касающиеся безопасности и охраны окружающей среды). Стандарты технических условий на услугу могут содержать требования к ассортименту предоставляемых услуг (точность и своевременность исполнения, эстетичность, комфортность, комплексность обслуживания).

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 частности, такие стандарты могут включать требования к методам автоматизированного проектирования продукции, модульного конструирования, принципиальным схемам технологического процесса изготовления продукта, технологическим режимам или нормам. Особое место занимают требования безопасности для жизни и здоровья людей при осуществлении технологических процессов, которые могут конкретизироваться по отношению к использованию определенного оборудования, инструмента, приспособления и вспомогательных материалов.

При проведении технологических операций стандартизации подлежат предельно допустимые нормы различного рода воздействий технологии на природную среду. Эти воздействия могут носить химический (выброс вредных химикатов), физический (радиационное излучение), биологический (заражение микроорганизмами) и механический (разрушение памятников архитектуры) характер, опасный в экологическом аспекте. Экологические требования могут касаться условий применения определенных материалов и сырья, потенциально вредных для окружающей природы; параметров эффективности работы очистного оборудования; правил аварийных выбросов, ликвидации их последствий, предельно допустимых норм сбросов загрязняющих веществ со сточными водами.

Стандарты на методы контроля (испытаний, измерений, анализа) рекомендуют применять методики контроля, в наибольшей степени обеспечивающие объективность оценки **обязательных** требований к качеству продукции, которые содержатся в стандарте на нее. Главный критерий объективности метода контроля (испытания, измерения, анализа) – воспроизводимость и сопоставимость результатов. Необходимо пользоваться именно стандартными методами контроля, испытаний, измерений и анализа, так как они базируются на международном опыте и передовых достижениях. Каждый из методов имеет свою специфику, связанную прежде всего с конкретным объектом контроля, но в то же время можно выделить и общие положения, подлежащие стандартизации: средства контроля и вспомогательные устройства; порядок подготовки и проведения контроля; правила обработки и оформления результатов; допустимую погрешность метода.

Стандарт обычно рекомендует несколько методик контроля применительно к одному показателю качества продукта. Это нужно для того, чтобы одна из методик была выбрана в качестве арбитражной, если возникает необходимость. Правда, надо иметь в виду, что не всегда методики полностью взаимозаменяемы. Для таких случаев стандарт приво-

дит либо четкую рекомендацию по условиям выбора того или иного метода, либо данные по их отличительным характеристикам.

Чтобы результаты были достоверны и сопоставимы, следует пользоваться рекомендациями стандартов относительно способа и места отбора пробы от партии товара с ее количественными характеристиками, схемами испытательных установок, правилами, определяющими последовательность проводимых операций и обработку полученных результатов.

В 1996 г. внесено изменение в основополагающий стандарт **ГОСТ Р 1.0–92**, согласно которому к перечню нормативных документов, применяемых в России, добавляется технический регламент.

Полное соответствие международным правилам в данном вопросе может быть достигнуто тогда, когда в России появятся законы, устанавливающие обязательные к выполнению требования и нормы подобно действующим в **Европейском Союзе Директивам**. В ЕС технический регламент становится обязательным документом, если на него есть ссылка в соответствующей **Директиве**.

Отличие российского подхода к техническим регламентам прослеживается и в самом тексте указанного ниже изменения: «К техническим регламентам следует относить законодательные акты и постановления правительства Российской Федерации, содержание требования, нормы и правила технического характера; государственные стандарты Российской Федерации в части устанавливаемых в них обязательных требований; нормы и правила федеральных органов исполнительной власти, в компетенцию которых в соответствии с законодательством Российской Федерации входит установление обязательных требований. Технический регламент содержит технические требования либо непосредственно (например, обязательные требования государственных стандартов), либо путем ссылки на стандарт, либо путем включения в себя содержания стандарта».

12.5. Применение нормативных документов и характер их требований

Руководство **ИСО/МЭК** рекомендует два основных способа применения нормативного документа:

- непосредственное использование в соответствующей области (производстве, испытаниях, сертификации и т.д.);
- введение его в другой нормативный документ.

Последнее предполагает включение полного текста или части данного нормативного документа в другой нормативный документ. Посредством этого второго документа он становится применимым в производстве, торговле и т.д. либо переносится в еще один нормативный

документ. Например, международное правило (норма) вводится в национальный стандарт, который может применяться непосредственно на предприятии, либо правила (нормы), содержащиеся в этом национальном стандарте, включаются в стандарт предприятия. Необходимо различать термины *принятие* и *применение*. Изложенное выше касается применения, принятие – это официальное опубликование нормативного документа уполномоченным на то государственным органом. Так, если говорить о принятии международного стандарта в национальной системе стандартизации (т.е. в национальном стандарте), то следует понимать это как «опубликование национального нормативного документа, основанного на соответствующем международном стандарте». Кроме того, может быть опубликовано официальное подтверждение статуса международного стандарта в системе национальной стандартизации с указанием, что его статус аналогичен национальному нормативному документу.

Применение международного стандарта может быть прямым и косвенным. Прямое применение международного стандарта не связано с его принятием в нормативном документе, действующем в национальной системе стандартизации. В таком случае международный стандарт применяется в том виде, в каком он издан соответствующей международной организацией на языке оригинала или в переводе (официальном) на соответствующий язык, либо он может быть принят «методом обложки», т.е. содержание стандарта полностью сохраняется, а обложка оформляется в соответствии с национальными нормами, однако на титульном листе обязательно указаны реквизиты международного нормативного документа наряду с номером и шифром национального стандарта.

Косвенное применение международного стандарта — использование его в соответствующей области посредством включения в национальный нормативный документ. Здесь могут быть варианты полного и частичного применения, т.е. соответственно внесение в другой нормативный документ полного содержания международного стандарта или отдельных его положений (требований).

В зарубежной практике требования стандартов обязательны для выполнения в соответствии с общим законом или если на этот стандарт имеется обязательная ссылка в **техническом регламенте** или в **Директиве**.

В регламентах (технических регламентах) ссылки могут носить разный характер:

- *ссылка с твердой идентификацией*, т.е. указанием номера, даты издания и номера издания конкретного стандарта (или нескольких конкретных стандартов). Это связано с последующим пересмотром стан-

дарт: он будет иметь силу лишь после того, как будут внесены изменения в регламент;

- *ссылка со скользящей идентификацией*, т.е. стандарт (стандарты) идентифицируются (указываются в регламенте) только с помощью номера. Это дает возможность пересматривать стандарт и вводить его в действие независимо от внесения изменений в регламент;

- *ссылка общего характера*, т.е. указание в регламенте всех стандартов, которые действуют в определенной области и (или) приняты конкретным органом. Идентификация каждого стандарта в отдельности отсутствует.

Ответственность существует за нарушение стандарта, на который имеется обязательная ссылка. Эта ссылка указывает, что соблюдение идентифицированных в ней стандартов (стандарта) – *единственный путь достижения соответствия товара требованиям технического регламента*.

Технический регламент может включать индикативную ссылку. Этот вид ссылки на стандарт по существу представляет собой форму положения, направленного на достижение соответствия. Другими словами, соблюдение стандартов, содержащихся в этих ссылках, рассматривается как *один из путей достижения соответствия требованиям регламента*.

12.6. Применение нормативных документов в РФ

Вопросы применения нормативных документов в России касаются:

- использования национальных стандартов и других нормативных документов отечественными организациями и субъектами хозяйственной деятельности;

- применения международных, региональных нормативных документов и стандартов других стран в РФ;

- применения нормативных документов на экспортируемую или импортируемую продукцию, а также использования отечественных стандартов зарубежными странами.

Российские нормативные документы применяют государственные органы управления и субъекты хозяйственной деятельности. В зависимости от объекта стандартизации и вида деятельности пользователя нормативные документы необходимы при выполнении различного рода работ или оказании услуг; при создании проектов; разработке технической документации, условий технологического процесса; регламентации видов, деятельности, связанных с реализацией всех фаз жизненного цикла любого объекта стандартизации. Могут быть такие ситуации, когда продукция была освоена и выпускается предприятием раньше принятия нового или пересмотра государственного (отраслевого) стандарта.

Российское законодательство в таких случаях допускает нераспространение новых нормативных документов на данную продукцию, если в них содержатся соответствующие указания (примечания).

Для экспортируемой продукции российского производства применимость нормативных документов определяется контрактом, но возможны исключения, обусловленные законодательством РФ. При этом соблюдается приоритет потребителя, т.е. допускаются изготовление и поставка продукции за рубеж в соответствии с требованиями международных, региональных стандартов, а также национальных либо фирменных стандартов принимающей страны. Выбор нормативного документа фиксируется в контракте.

Для импортируемой продукции российское законодательство устанавливает следующие правила. Импортируемая продукция не может быть реализована или передана для реализации, если она не соответствует обязательным требованиям на такую продукцию в отечественных действующих нормативных документах. Подтвердить это несоответствие необходимо путем сертификации. Если импортируемая продукция подлежит обязательной сертификации по российскому законодательству, она должна сопровождаться сертификатом соответствия и знаком соответствия. Сертификат и знак соответствия должны быть либо выданы российским уполномоченным на то органом, либо признаны этим органом в порядке, соответствующем **Закону РФ «О сертификации продукции и услуг»**.

Применение международных, региональных и национальных стандартов других стран в России возможно на основе международных соглашений о сотрудничестве, а также по разрешению региональных организаций, национальных органов по стандартизации. Кроме правовой основы, нужно учитывать и целесообразность применения указанных нормативных документов, которая, прежде всего, диктуется потребностями внутри страны либо во внешнеэкономической деятельности. Очень важно также, чтобы требования указанных выше стандартов способствовали научно-техническому прогрессу, не уступали нормам и требованиям отечественных стандартов и соответствовали условиям их выполнимости российскими предприятиями и организациями.

Международные, региональные стандарты, правила, нормы международных организаций, занимающиеся стандартизацией, а также национальные зарубежные стандарты вводятся в России через принятие **государственного стандарта РФ (ГОСТ Р)**. В этот стандарт включается полный текст указанных нормативных документов в русском переводе либо еще и дополнения, если это необходимо для учета специфики внутренних потребностей и др. Российское законодательство допускает также применение международных, региональных, зарубежных национальных стандартов, правил и норм, разработанных международными

организациями, отечественными отраслями, предприятиями и общественными объединениями до их принятия в качестве **ГОСТ Р**. В таком случае, как правило, они используются как соответствующие категории стандартов.

Необходимо иметь в виду, что действующие стандарты любого уровня могут содержать ссылки на другие стандарты. В ситуации принятия в национальный стандарт международных и других указанных выше стандартов необходимо обратить особое внимание на содержащиеся ссылки, чтобы они не ввели в заблуждение пользователей нормативного документа. Ссылки могут носить двоякий характер:

– в том стандарте, который решено применить, могут быть ссылки на другие стандарты, которые уже применяются в стране. Тогда нужно убедиться, аналогичны ли их требования соответствующим государственным стандартам. Если это так, то в оформляемом нормативном документе должна быть ссылка на государственный стандарт;

– ссылка может указывать на стандарт, который не принят в России. В этом случае принятие международного стандарта осложняется, поскольку требуется решение вопроса о возможности и целесообразности использования того стандарта, на который ссылаются.

Разновидность региональных стандартов, принятых в РФ, составляют межгосударственные стандарты, действующие в рамках СНГ. Если РФ присоединилась к этим стандартам, то они применяются на ее территории без переоформления и вводятся постановлением **Госстандарта РФ** или **Госстроя РФ**.

Применение российских стандартов другими странами предусмотрено отечественным законодательством, что не противоречит правовым международным нормам в данной области. Юридические и физические лица зарубежных государств имеют право пользоваться в своей деятельности российскими нормативными документами на основании соглашений, договоров, заключаемых на соответствующих уровнях. Кроме того, правовой основой могут служить и официальные разрешения, полученные иностранным юридическим или физическим лицом от органов, организаций или предприятий, принявших нормативный документ.

12.6.1. Характер требований нормативных документов

Нормативные документы могут содержать: **обязательные** требования, подлежащие обязательному выполнению в соответствии с законом или действующим регламентом (техническим регламентом), и **альтернативные** требования и **положения**.

Инструкции обычно излагаются в повелительном наклонении, а рекомендации – в сослагательном, требования содержат критерии, которые должны быть соблюдены.

Альтернативные требования представляются в форме выборочных либо дополнительных норм. Альтернативные требования могут рассматриваться как обязательные в договорных отношениях, а также при сертификации продукции на знак соответствия национальному (или другой категории) стандарту, когда подтверждается полное соответствие всех характеристик испытуемого изделия всем требованиям нормативного документа.

В сущности *положение* – обобщающее понятие, оно может быть изложено в форме сообщения, инструкции, рекомендации или требования.

12.7. Ответственность за нарушение обязательных требований стандартов

Согласно Закону РФ «О стандартизации» ответственность за нарушение его положений несут юридические и физические лица, органы государственного управления. В соответствии с действующим в России законодательством ответственность носит уголовный, административный либо гражданско-правовой характер. Нарушения выявляются службами государственного контроля и надзора за соблюдением субъектами хозяйственной деятельности обязательных требований государственных стандартов.

Нарушение должностными лицами или гражданами, которые зарегистрированы как индивидуальные предприниматели, обязательных требований государственных стандартов при реализации, эксплуатации, транспортировке и хранении продукции влечет наложение штрафа в размере от пяти до 100 минимальных размеров оплаты труда. Такое же наказание определено за уклонение юридических и физических лиц от предъявления продукции, а также сведений о ней и соответствующей документации органам государственного надзора (Кодекс РСФСР об административных правонарушениях, ст. 170).

С 1 января 1997 г. специальная уголовная ответственность установлена за обман потребителей в отношении качества товара, установленного договором (в сферах торговли товарами и предоставления услуг), а также за производство и реализацию товаров и услуг, не отвечающих требованиям безопасности. Уголовная ответственность за нарушение требований стандартов по продукции производственного назначения не предусмотрена, а административная ответственность установлена за несоблюдение обязательных требований при ее продаже (поставке), использовании, транспортировке и хранении. Гражданско-правовая ответственность за нарушение требований к качеству определяется на основе положений гражданского законодательства.

Контрольные вопросы

1. Что такое стандартизация?
2. Сформулируйте основную цель стандартизации.
3. Как связаны объект стандартизации и область стандартизации?
4. Что такое национальная стандартизация?
5. Опишите особенности применения предварительного стандарта.
6. Перечислите основные виды стандартов.
7. В каких случаях принимается государственный стандарт?
8. Какие требования в стандартах относятся к обязательным?
9. При каких условиях рекомендательные требования могут быть признаны обязательными?
10. Что является объектом отраслевой стандартизации?
11. Для чего общественные объединения разрабатывают собственные стандарты?
12. В чем особенность принятия технических условий?
13. Какие функции выполняют основополагающие стандарты?
14. Расскажите о содержании и применении стандарта на методы контроля.
15. Какие основные способы применения нормативного документа по стандартизации рекомендуются руководством ИСО/МЭК?
16. Какой характер могут иметь ссылки в стандартах?
17. Чего касаются вопросы применения нормативных документов в России?
18. Чем определяется применимость нормативных документов для экспортируемой продукции российского производства?
19. Как в РФ вводятся международные стандарты?
20. Каковы особенности применения российских стандартов другими странами?
21. Какая ответственность предусмотрена за нарушение обязательных требований стандартов?

Тема 13. СЕРТИФИКАЦИЯ

В отечественной практике известны многие процедуры и методы подтверждения соответствия продукции заданным требованиям, которые выполняются разными сторонами – изготовителями, продавцами, заказчиками, а также независимыми от них органами и организациями. Особое место среди процедур проверки и подтверждения соответствия заняла сертификация, которая отличается от остальных прежде всего тем, что выполняется третьей стороной, независимой от изготовителей (поставщиков) и потребителей, что создает предпосылки высокой достоверности ее результатов. Поэтому в условиях, когда конкуренция перемещается в сферу качества, сертификация стала непременной составной частью любой эффективно функционирующей рыночной экономики.

Сертификация продукции – это деятельность по подтверждению соответствия продукции установленным требованиям.

Сертификация осуществляется в целях создания условий для деятельности предприятий, организаций и предпринимателей на едином товарном рынке Российской Федерации, для участия в международном экономическом, научно-техническом сотрудничестве и международной торговле, содействия потребителям в компетентном выборе продукции, защиты потребителя от недобросовестности изготовителя или продавца, контроля безопасности продукции для окружающей среды, жизни, здоровья и имущества, подтверждения показателей качества продукции, заявленных изготовителем.

13.1. Законодательная база сертификации

Законодательной базой проведения сертификации продукции в России является в первую очередь Закон Российской Федерации «О защите прав потребителей». Отношения в области сертификации регулируются также Законом РФ «О сертификации продукции и услуг» и издаваемыми в соответствии с ним актами законодательства Российской Федерации. Закон «О защите прав потребителей» регулирует права потребителей на приобретение продукции и услуг надлежащего качества, безопасность их жизни и здоровья, получение информации о продукции и ее изготовителях, государственную и общественную защиту их интересов. По закону потребитель имеет право на то, чтобы продукция при обычных условиях ее использования, при хранении и транспортировке была безопасна для его жизни, здоровья, окружающей среды. Впервые в законодательной практике России в законе сформулированы положения, давшие начало практическому использованию обязательной сертификации в экономике страны для защиты внутреннего рынка от потенциально опасной продукции.

Законом предусматривается, что реализация продукции без сертификата, подтверждающего соответствие продукции установленным требованиям, запрещается. Законом даны полномочия государственным органам управления, осуществляющим в пределах своей компетенции контроль за безопасностью продукции, направлять предписания об устранении нарушений требований по безопасности продукции, о снятии с производства и реализации такой продукции, предъявлять иски в суды к изготовителям в случае нарушения ими требований по безопасности продукции. По Закону «О защите прав потребителей» Госстандарт России, являясь национальным органом по сертификации продукции и услуг, определяет порядок их сертификации, номенклатуру, подлежащую обязательной сертификации, осуществляет контроль за правильностью проведения сертификации продукции и услуг.

Закон «О сертификации продукции и услуг» устанавливает правовые основы обязательной и добровольной сертификации продукции и услуг в Российской Федерации. Если выделить главное, то получится, что закон определяет Госстандарт России, как орган, формирующий и реализующий государственную политику в области сертификации.

В России может проводиться как обязательная, так и добровольная сертификация. В соответствии с указанным законом Госстандарт России устанавливает общие правила и рекомендации по проведению сертификации на территории Российской Федерации и публикует официальную информацию о них, проводит государственную регистрацию систем сертификации и знаков соответствия. Фундаментальным положением закона является то, что обязательная сертификация осуществляется в случаях, предусмотренных законодательными актами Российской Федерации. Это означает, что для введения обязательной сертификации объекта хозяйственной деятельности необходимо принятие закона или указа Президента.

13.2. Правила по проведению сертификации

На основе вышеуказанных законов Госстандартом России разработаны «Правила по проведению сертификации в Российской Федерации». Этот документ устанавливает цели, принципы, общие правила, а также рекомендации по проведению обязательной и добровольной сертификации и распространяется на сертификацию продукции. Правилами должны руководствоваться все органы и организации при создании системы сертификации и ее проведении. Правилами также установлены основные понятия по сертификации, в том числе способ (форма, схема) сертификации, идентификации продукции.

Наряду с «Правилами по проведению сертификации в Российской Федерации» постановлением Госстандарта России № 15 от 21.09.1994

года введен в действие «Порядок проведения сертификации продукции в Российской Федерации». Данный порядок устанавливает, что при сертификации проверяются характеристики (показатели качества) продукции и используются методы испытаний, позволяющие:

- провести идентификацию продукции, в том числе проверить принадлежность к классификационной группировке, соответствие технической документации, происхождение, принадлежность к данной партии;
- полно и достоверно подтвердить соответствие продукции требованиям, направленным на обеспечение ее безопасности для жизни, здоровья и имущества граждан, окружающей среды. Установлены требования в нормативных документах для этой продукции.

Документ устанавливает, что схемы, применяемые при обязательной сертификации, определяются Госстандартом России, другими органами исполнительной власти в пределах своей компетенции, на которые законодательными актами РФ возлагаются организация и проведение работ по обязательной сертификации. При этом учитываются особенности производства, испытаний, требуемый уровень доказательности, возможные затраты заявителя.

Схему добровольной сертификации определяет заявитель и предлагает ее органу по сертификации.

Документ определяет также требования к нормативным документам на сертифицируемую продукцию. В нормативных документах должны быть установлены характеристики (показатели качества) продукции и методы испытаний, позволяющие обеспечить полное и достоверное подтверждение соответствия продукции этим требованиям и ее идентификацию.

В соответствии с этим документом сертификация продукции включает:

- подачу заявки на сертификацию;
- принятие решения по заявке, в том числе выбор схемы;
- отбор, идентификацию образцов и их испытания;
- оценку производства (если это предусмотрено схемой сертификации);
- анализ полученных результатов и принятия решения;
- выдачу сертификата и лицензии на применение знака соответствия;
- осуществление инспекционного контроля за сертифицированной продукцией;
- корректирующие мероприятия при нарушении соответствия продукции установленным требованиям.

13.2.1. Нормативные документы, на соответствие которым проводится сертификация

Поскольку обязательная сертификация вводится законодательными актами Российской Федерации, для ее проведения используются нормативные документы общегосударственного федеративного статуса. Они содержат требования и нормы, обязательные для всех субъектов хозяйственной деятельности на территории РФ. Большинство этих требований и норм устанавливается государственными стандартами (ГОСТ) России, поэтому они являются основными нормативными документами, используемыми при обязательной сертификации. Наряду с ГОСТами при обязательной сертификации используются правила, утверждаемые соответствующими органами государственного управления (строительные нормы и правила, санитарные правила и нормы и др.).

Фонд стандартов, использование которого предусматривается при проведении обязательной сертификации потребительских товаров, достаточно велик (более 15 тыс.) и охватывает почти полностью все виды соответствующей продукции. Однако разработка этих стандартов не была ориентирована на возможность их использования при сертификации. В связи с этим Госстандарт России определил «Перечень установленных государственными стандартами обязательных требований по безопасности товаров для жизни и здоровья потребителей». В этом документе для каждого товара, подлежащего обязательной сертификации, указаны государственные стандарты и другие нормативные документы общегосударственного статуса, а также пункты этих стандартов, которыми определяются требования, подлежащие проверке. При добровольной сертификации вид нормативного документа, соответствие которому необходимо подтвердить, заявитель выбирает сам. Он может прибегнуть к услугам любой системы, в которой используется такой нормативный документ, как ГОСТ, международный или региональный стандарт или технические условия самого изготовителя.

13.3. Обязательная сертификация

13.3.1. Продукция, подлежащая обязательной сертификации

В России обязательная сертификация распространяется прежде всего на потребительские товары и предусматривает контроль их безопасности. Она затрагивает непосредственные интересы не только изготовителей, продавцов, но и потребителей. И главный вопрос для них – это вопрос о номенклатуре продукции, подлежащей обязательной сертификации. Руководствуясь такой номенклатурой, потребители могут получать информацию о тех товарах, которые подлежат обязательной сертификации и относительно которых им должна быть предоставлена ин-

формация о ее проведении (знак соответствия, сертификат, его копия, указание в товаросопроводительной документации).

Изготовители получают возможность осуществлять подготовку производства к выпуску продуктов, подлежащих обязательной сертификации.

Торговые организации при заказе и получении товаров для реализации имеют возможность выбирать только те, которые имеют сертификат соответствия и знак соответствия.

Таможенные органы проводят контроль за ввозом на территорию России товаров, подлежащих обязательной сертификации.

Включение товаров в номенклатуру определяется несколькими критериями:

- возможностью приобретения потребителями товаров для личных нужд;
- потенциальной опасностью для потребителя;
- наличием стандартов с требованиями безопасности, позволяющих провести сертификацию;
- наличием сети аккредитованных испытательных лабораторий для проведения сертификационных испытаний.

Кроме того, учитываются массовость потребления товаров и степень его опасности. Поэтому состав товаров, включенных в номенклатуру, нельзя считать окончательным, и Госстандарт России проводит регулярно ее пересмотр и уточнение.

13.3.2. Система сертификации ГОСТ Р

Для организации и обеспечения работ по проведению обязательной сертификации на основе законов «О защите прав потребителей», «О сертификации продукции и услуг» Госстандартом России разработаны и введены в действие основополагающие документы Системы сертификации ГОСТ Р. Принципы и правила системы опираются не только на указанные законы, но и на зарубежный опыт. Система сертификации ГОСТ Р – крупная система сертификации в России. Она охватывает виды продукции, подлежащие сертификации. С полным основанием можно считать эту систему определяющей практику массовой сертификации продукции в России. Система открыта для участия в ней всех субъектов, признающих ее правила, в том числе органов государственного управления, на которые возложена деятельность по сертификации, а также испытательных лабораторий, организаций и предприятий других стран.

Объективность и достоверность подтверждения соответствия обеспечивается соблюдением принципов компетентности и независимости органов по сертификации и испытательных лабораторий (центров). Признание их компетентности и независимости осуществляется на основе аккредитации, выполняемой Госстандартом России.

Основные принципы Системы, ее структура и правила проведения работ устанавливаются комплексом документов Системы сертификации ГОСТ Р, который состоит из следующих основных групп: общесистемные положения; сертификация продукции; сертификация услуг; сертификация систем качества и производств. Каждая группа документов содержит основополагающие документы и документы, развивающие их отдельные положения.

Сертификация продукции, которая проводится в Системе сертификации ГОСТ Р, регулируется общим порядком, а также правилами, действующими в системах сертификации однородных групп продукции.

Общий порядок сертификации в Системе включает восемь схем, применяемых при обязательной сертификации. Такой порядок принят в отечественной и международной практике:

Схема 1 предусматривает проведение испытаний типового образца продукции в аккредитованной испытательной лаборатории с целью распространения результатов испытаний на необходимую совокупность продукции.

Схема 2 предусматривает (в дополнение к схеме 1) после выдачи сертификата соответствия последующий инспекционный контроль путем испытаний образца, взятого у продавца.

Схема 3 предусматривает (в дополнение к схеме 1) последующий инспекционный контроль за сертифицированной продукцией путем испытаний образца, взятого со склада готовой продукции изготовителя.

Схема 4 основывается на проведении испытаний образца продукции с последующим инспекционным контролем путем проведения испытаний образцов, взятых как у продавца, так и у изготовителя.

Схема 5 основывается на проведении испытаний продукции и сертификации производства или сертификации Системы качества изготовителя с последующим инспекционным контролем путем испытаний образцов, взятых у продавца и у изготовителя, а также контроля стабильности условий производства и функционирования Системы качества.

Схема 6 предусматривает проведение сертификации Системы качества у изготовителя, которую выполняет аккредитованный орган.

Схема 7 предусматривает испытания выборки образцов, отобранных из партии изготовленной продукции в аккредитованной испытательной лаборатории.

Схема 8 предусматривает испытания каждого изготовленного образца в аккредитованной испытательной лаборатории.

Практика сертификации в России выявила необходимость расширения номенклатуры рекомендованных выше схем.

Предложены и широко используются схемы 2а; 3а; 4а, представляющие собой схемы 2, 3, 4, но дополненные анализом состояния производства сертифицируемой продукции. Такое добавление следует рас-

смагивать как ужесточение соответствующих схем и в то же время как облегченный вариант схемы 5.

В целях совершенствования процедуры сертификации продукции Государственный комитет РФ по стандартизации, метрологии и сертификации принял Постановление № 15 от 25.07.1996 г. «Об изменении порядка проведения сертификации продукции в Российской Федерации», в соответствии с которым применяются схемы сертификации, представленные в табл. 1.

Таблица 1

Схемы сертификации. Состав схем сертификации

Номер схемы	Испытания в аккредитованных испытательных лабораториях и другие способы доказательства соответствия	Проверка производства (системы качества)	Испытательный контроль сертифицированной продукции (системы качества, производства)
1	2	3	4
1	Испытания типа*	–	–
1a	Испытания типа	Анализ состояния производства	
2	Испытания типа	–	Испытания образцов, взятых у продавца
2a	Испытания типа	Анализ состояния производства	Испытания образцов, взятых у продавца. Анализ состояния производства
3	Испытания типа	–	Испытания образцов, взятых у изготовителя
3a	Испытания типа	Анализ состояния производства	Испытания образцов, взятых у изготовителя. Анализ состояния производства
4	Испытания типа	–	Испытания образцов, взятых у продавца. Испытания образцов, взятых у изготовителя

Окончание табл. 1

1	2	3	4
4a	Испытания типа	Анализ состояния производства	Испытания образцов, взятых у продавца. Испытания образцов, взятых у изготовителя. Анализ состояния производства
5	Испытания типа	Сертификация производства или сертификация системы качества	Контроль сертифицированной системы качества (производства). Испытания образцов, взятых у продавца и (или) у изготовителя* **
6	Рассмотрение декларации о соответствии с прилагаемыми документами	Сертификация системы качества	Контроль сертифицированной системы качества
7	Испытания партии	–	–
8	Испытания каждого образца	–	–
9	Рассмотрение декларации о соответствии с прилагаемыми документами	–	–
9a	Рассмотрение декларации о соответствии с прилагаемыми документами	Анализ состояния производства	–
10	Рассмотрение декларации	-	Испытания образцов, взятых у изготовителя и продавца
10a	Рассмотрение декларации о соответствии с прилагаемыми документами	Анализ состояния производства	Испытания образцов, взятых у изготовителя и продавца. Анализ состояния производства

Примечания:

1. Схемы 1–8 приняты в зарубежной и международной практике и классифицированы ISO. Схемы 1а, 2а, 3а и 4а – дополнительные и являются модификацией схем 1, 2, 3 и 4 соответственно.

2. Схемы 9–10а основаны на использовании декларации о соответствии поставщика, принятой в ЕС в качестве элемента подтверждения соответствия продукции установленным требованиям.

3. Инспекционный контроль, указанный в таблице, проводят после выдачи сертификата.

* Испытания выпускаемой продукции на основе оценивания одного или нескольких образцов, являющихся ее типовыми представителями.

** Необходимость и объем испытаний, место отбора образцов определяет орган по сертификации продукции по результатам инспекционного контроля за сертифицированной системой качества (производством).

Применение схем сертификации продукции предлагается осуществлять в соответствии со следующим.

Схемы сертификации 1–6 и 9а–10а применяются при сертификации продукции, серийно выпускаемой изготовителем в течение срока действия сертификата, схемы 7, 8, 9 – при сертификации уже выпущенной партии или единичного образца.

Схемы 1–4 рекомендуется применять в следующих случаях:

– схему 1 – при ограниченном, заранее оговоренном объеме реализации продукции, которая будет поставляться (реализовываться) в течение короткого промежутка времени отдельными партиями по мере их серийного производства (для импортной продукции – при краткосрочных контрактах, для отечественной продукции – при ограниченном объеме выпуска);

– схему 2 – для импортной продукции при долгосрочных контрактах или при постоянных поставках серийной продукции по отдельным контрактам с выполнением инспекционного контроля на образцах продукции, отобранных из партий, завезенных в Российскую Федерацию;

– схему 3 – для продукции, стабильность серийного производства которой не вызывает сомнения;

– схему 4 – при необходимости всестороннего и жесткого инспекционного контроля продукции серийного производства.

Схему 5 и 6 рекомендуется применять при сертификации продукции, для которой реальный объем выборки для испытаний недостаточен для объективной оценки выпускаемой продукции; технологические процессы чувствительны к внешним факторам; установлены повышенные требования к стабильности характеристик выпускаемой продукции; сроки годности продукции меньше времени, необходимого для организации и проведения испытаний в аккредитованной испытательной лабо-

ратории; характерна частая смена модификации продукции; продукция может быть испытана только после монтажа у потребителя.

Условием применения схемы 6 является наличие у изготовителя системы испытаний, включающей контроль всех характеристик на соответствие требованиям, предусмотренным при сертификации такой продукции, что подтверждается выпиской из акта проверки и оценки Системы качества. Схему 6 можно использовать также при сертификации импортруемой продукции поставщика (не изготовителя), имеющего сертификат на свою систему качества, если номенклатура сертифицируемых характеристик и их значения соответствуют требованиям нормативных документов, применяемых в Российской Федерации.

Схему 7 и 8 рекомендуется применять тогда, когда производство или реализация данной продукции носит разовый характер (партия, единичные изделия).

Схемы 9, 10 и 10а основаны на использовании в качестве доказательства соответствия (несоответствия) продукции установленным требованиям – декларации о соответствии с прилагаемыми к ней документами, подтверждающими соответствие продукции установленным требованиям. В декларации о соответствии изготовитель (продавец) в лице уполномоченного представителя под свою ответственность заявляет, что его продукция соответствует установленным требованиям. Декларация о соответствии, подписанная руководителем организации-изготовителя (продавца), совместно с прилагаемыми документами направляется с сопроводительным письмом в орган по сертификации. Орган по сертификации рассматривает представленные документы и в случае необходимости запрашивает дополнительные материалы (претензии потребителей, результаты проверки технологического процесса, документы о соответствии продукции определенным требованиям, выдаваемые органами исполнительной власти в пределах своей компетенции, и др.). Одновременно орган по сертификации сопоставляет образец продукции с представленными документами. При положительных результатах орган по сертификации выдает изготовителю сертификат соответствия.

Условием применения схем сертификации 9, 10 и 10а является наличие у заявителя всех необходимых документов, прямо или косвенно подтверждающих соответствие продукции заявленным требованиям. Если указанное условие не выполнено, то орган по сертификации предлагает заявителю сертифицировать данную продукцию по другим схемам сертификации и с возможным учетом отдельных доказательств соответствия из предоставленных документов. Данные схемы целесообразно применять для сертификации продукции субъекта малого предпринимательства, а также для сертификации неповторяющихся партий небольшого объема отечественной и зарубежной продукции.

Схемы 9, 10 и 10а рекомендуется применять в следующих случаях:

– схему 9 – при сертификации неповторяющейся партии небольшого объема импортной продукции, выпускаемой фирмой, зарекомендовавшей себя на мировом или российском рынках как производителя продукции высокого уровня качества, или единичного изделия, комплекта (комплекса) изделий, приобретаемого целевым назначением для оснащения отечественных производственных и иных объектов, если по представленной технической документации можно судить о безопасности этих изделий;

– схему 9а – при сертификации продукции отечественных производителей, в том числе индивидуальных предпринимателей, зарегистрировавших свою деятельность в установленном порядке; при нерегулярном выпуске этой продукции по мере ее спроса на рынке и нецелесообразности проведения инспекционного контроля;

– схемы 10 и 10а – при продолжительном производстве отечественной продукции в небольших объемах выпуска.

Схемы 1а, 2а, 3а, 4а, 9а и 10а рекомендуется применять вместо соответствующих схем 1, 2, 3, 4, 9 и 10, если у органа по сертификации нет информации о возможности обеспечить стабильность характеристик данной продукции, подтвержденных испытаниями.

Необходимым условием применения схем 1а, 2а, 3а, 4а, 9а и 10а является участие в анализе состояния производства экспертов по сертификации систем качества (производств) или экспертов по сертификации продукции, прошедших обучение по программе, включающей вопросы анализа производства.

При проведении обязательной сертификации по этим схемам и наличии у изготовителя сертификата соответствия на систему качества (производства) анализ состояния производства не проводят.

При проведении обязательной сертификации по схемам 5 или 6 и наличии у изготовителя сертификата соответствия на производство или систему качества (по той же или более полной модели, чем та, которая принята при сертификации продукции) сертификацию производства или Системы качества повторно не проводят.

Схемы сертификации из числа приведенных устанавливают в системах (правилах) сертификации однородной продукции с учетом специфики продукции, ее производства, обращения и использования.

Конкретную схему сертификации для данной продукции определяет орган по сертификации.

В схемах сертификации, если это не противоречит правилам системы сертификации, могут быть использованы документальные доказательства соответствия, полученные заявителем вне рамок данной сертификации. Эти доказательства могут служить основанием для сокращения объема при сертификации.

При оценке возможности использования дополнительных документов учитывают специфику продукции, степень ее потенциальной опасности, объем и продолжительность производства продукции, стабильность условий производства, репутацию предприятия по отношению к качеству сертифицируемой продукции, качество используемых комплектующих изделий и материалов, степень доверия оценок, данных сторонними организациями, и т.п.

В зависимости от видов сертифицируемой продукции используются дополнительные документы по сертификации:

- протоколы испытаний (приемочных, периодических, инспекционных и т.п.);
- гигиеническое заключение (гигиенический сертификат);
- документ территориальной службы Госкомсанэпиднадзора о санитарно-гигиеническом состоянии производства;
- сертификат пожарной безопасности (на продукцию);
- сертификаты (декларации о соответствии) поставщиков комплектующих изделий и материалов, тары, упаковки;
- паспорт поля или сертификат качества почв земельного участка, выданный агрохимической службой;
- заключение регионального центра станции защиты растений и агрохимической службы о применении средств химизации (удобрений, пестицидов, стимуляторов роста, биопрепаратов, мелиораторов);
- заключение органа по карантину растений в случае проведения обработки против карантинных объектов;
- ветеринарный сертификат (свидетельство);
- зарубежные сертификаты на продукцию, системы качества поставщика;
- сертификат происхождения;
- протоколы испытаний в зарубежных лабораториях;
- техническая документация изготовителя (конструкторская, технологическая, эксплуатационная и т.п.).

Кроме перечисленных документов по решению органа по сертификации можно использовать другие, не вызывающие сомнений в достоверности содержащейся в них информации.

13.4. Порядок проведения сертификации

В общем случае при сертификации могут быть проведены:

- испытания;
- первичная оценка состояния производства продукции;
- последующий инспекционный контроль.

Испытания, оценка производства, инспекционный контроль выполняются при проведении сертификации независимо от изготовителя и потребителя органами, являющимися третьей стороной.

Для различных видов продукции состав и содержание трех основных операций (испытания, оценка производства, инспекционный контроль) могут быть различными. Набор доказательств может включать (в зависимости от требуемой уверенности) разные перечисленные выше элементы, что и принято в нашей стране называть *схемами сертификации*, состав и число которых были указаны выше.

Испытания. В зависимости от правил той или иной системы сертификации испытания могут быть проведены при постановке продукции на производство, на этапе изготовления, перед поставкой потребителю.

По определению, «испытания — техническая операция, заключающаяся в определении одной или нескольких характеристик данной продукции, процесса или услуги в соответствии с установленной процедурой». Этим понятием охватываются не только собственно испытания, когда объект испытаний подвергается каким-либо воздействиям, но и такие технические операции, как измерения, анализы, органолептические операции, позволяющие определить характеристики продукции. Любые испытания, результат которых предполагается использовать для сертификации, проводятся только испытательной лабораторией, получившей на это полномочия (право). Представление такого права основано на специальной процедуре — аккредитации испытательных лабораторий.

Аккредитация испытательной лаборатории в Системе сертификации ГОСТ Р основана на официальном подтверждении технической компетенции в проведении определенных испытаний в соответствии с требованиями стандартов или других нормативных документов, а также на признании ее независимости от изготовителей (поставщиков) и потребителей (покупателей) продукции, являющейся объектом испытаний в данной испытательной лаборатории.

В Системе сертификации могут быть аккредитованы испытательные лаборатории, обладающие только технической компетентностью. Однако испытания для целей сертификации в таких лабораториях могут проводиться только под контролем представителей органов по сертификации или представителей территориального органа Госстандарта России.

Испытания для целей сертификации в испытательных лабораториях, признанных технически компетентными, но не являющихся независимыми, могут проводиться только в случаях:

- отсутствия в Системе сертификации аккредитованной лаборатории, обладающей независимостью и технической компетентностью применительно к данному виду продукции или методу испытания;
- невозможности направить образцы (пробы) в аккредитованную лабораторию из-за значительной ее удаленности и сложности транспортировки и, как следствие этого, – значительного удорожания испытаний.

В Системе сертификации ГОСТ Р может быть аккредитована любая испытательная лаборатория, прошедшая соответствующую проверку. При этом статус, организационная структура, административная подчиненность и система оплаты труда сотрудников испытательной лаборатории должны исключать возможность оказания коммерческого, финансового, административного или какого-либо другого давления на эту испытательную лабораторию или ее персонал, которое способно повлиять на результаты проводимых испытаний.

По отношению к заявителю аккредитованная испытательная лаборатория обязана:

- представлять заявителю возможность наблюдения за проводимыми для него испытаниями;
- соблюдать установленные и согласованные сроки проведения испытаний;
- уведомлять заявителя о намерении поручить проведение части испытаний другой аккредитованной лаборатории;
- обеспечивать конфиденциальность информации о результатах испытаний продукции.

Помимо указанных обязанностей по отношению к заявителю аккредитованная испытательная лаборатория должна:

- проводить испытания для целей сертификации только в своей области аккредитации;
- обеспечивать достоверность, объективность и требуемую точность результатов испытаний;
- вести учет всех предъявленных претензий по результатам испытаний.

Органы по сертификации. В соответствии с Системой сертификации ГОСТ Р для проведения сертификации продукции на территории России создана сеть органов по сертификации. Органы по сертификации создаются на базе организаций, имеющих статус юридического лица и являющихся третьей стороной по отношению к изготовителю и продавцу. Органы по сертификации создаются на добровольных началах, а их способность проводить сертификацию в системе подтверждается аккредитацией.

Аккредитация органа по сертификации является официальным признанием способности органа выполнять сертификацию однородной продукции, номенклатура которой указана в области аккредитации органа.

Область аккредитации определяется номенклатурой сертифицируемой продукции и нормативными документами, на соответствие которым проводится сертификация.

К основным функциям органа по сертификации относятся:

– проведение сертификации, принятие решений по заявкам, привлечение испытательных лабораторий органов по сертификации производств и систем качества, если это предусмотрено схемой сертификации, проведение анализа производства, выдача сертификата, регистрация в Государственном реестре;

– инспекционный контроль за сертифицированной продукцией и взаимодействие с обладателем сертификата.

Инспекционный контроль проводится в течение всего срока действия сертификата (не реже одного раза в год) в форме периодических и внезапных проверок, включающих испытания образцов продукции на соответствие требованиям нормативных документов и контроль условий стабильности ее производства.

Критериями для определения периодичности и объема инспекционного контроля являются степень опасности продукции, стабильность производства, объем выпуска, наличие системы качества. Внезапный инспекционный контроль может проводиться в случаях неоднократного поступления информации о претензиях к качеству продукции от потребителей, торговых организаций, а также органов, осуществляющих общественный или государственный контроль за качеством продукции, на которую выдан сертификат соответствия.

13.4.1. Сертификат соответствия

Сертификат соответствия (далее – сертификат) – документ, выданный по правилам системы сертификации для подтверждения соответствия сертифицированной продукции (услуги) установленным требованиям, то есть сертификат соответствия – название документа, которым завершается процесс сертификации. Это название единое для сертификатов, выдаваемых в системе обязательной и добровольной сертификации. Форма сертификата едина для системы сертификации.

Порядок и условия оформления, выдачи и регистрации сертификатов устанавливается в каждой системе сертификации.

Содержание сертификата определяется в системе в зависимости от избранной схемы сертификации и категории заявителя (изготовитель, продавец, исполнитель). В любом случае сертификат должен содержать указание о системе сертификации и органе, выдавшем сертификат, регистрационный номер, срок действия, подпись руководителя и печать органа по сертификации, кому выдан сертификат, наименование товара, форму проверки соответствия (проверка производства, испытание типовых представителей, испытание выборки из партии товара, испытание каждого изделия), ссылку на нормативный документ, которому соответствует товар (партия), порядок маркировки товара (тары, упаковки, документации) Знаком соответствия.

Наряду с сертификатом существует *Знак соответствия* – знак, зарегистрированный в установленном порядке, которым по правилам, установленным в данной системе сертификации, подтверждается соответствие маркированной им продукции установленным требованиям.

Порядок государственной регистрации знаков соответствия устанавливается Госстандартом России.

Правила применения знаков соответствия устанавливаются конкретной системой сертификации в соответствии с правилами, устанавливаемыми Госстандартом России, и распространяются на системы обязательной и добровольной сертификации.

Контрольные вопросы

1. Что такое сертификация продукции?
2. Почему сертификация заняла особое место среди процедур проверки качества?
3. Что является законодательной базой проведения сертификации продукции в России?
4. Опишите порядок проведения сертификации продукции в Российской Федерации.
5. На соответствие каким документам проводится обязательная сертификация?
6. В чем заключается отличие обязательной сертификации от добровольной?
7. Что подлежит обязательной сертификации?
8. Что такое система сертификации ГОСТ Р?
9. С какой целью в системах сертификации утверждают схемы проверок?
10. Перечислите основные схемы сертификации в системе ГОСТ Р.
11. В каких случаях рекомендуется применять схему №9 и №10?
12. Какие из дополнительных документов по сертификации обычно используются?
13. Что такое аккредитация испытательной лаборатории?
14. Каковы обязанности испытательной лаборатории по отношению к заявителю?
15. Что относится к основным функциям органа по сертификации?
16. Что такое сертификат соответствия?
17. Чем определяется содержание сертификата?

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Бурное развитие фундаментальной науки позволило получить высокие результаты точности и надежности эталонов, создаваемых на основе использования квантовых эффектов, что является прочным фундаментом для создания новых эталонов в недалеком будущем. Это является перспективным путем продвижения прикладной метрологии, поскольку квантовые эталоны характеризуются высокой степенью стабильности значений погрешности воспроизведения единиц величин. С помощью новых методов и средств измерений уточняются фундаментальные физические константы, поэтому точность квантовых эталонов будет возрастать. Такие эталоны можно будет считать «вечными мерами», так как способность воспроизведения единиц физических величин у таких эталонов на подвержена влиянию внешних условий, географического местонахождения и времени. В таких условиях изменится и система поверки и калибровки, которая в настоящее время привязана к государственным эталонам, т.е. произойдет ее децентрализация, что обеспечит значительный экономический эффект.

Перспективы развития законодательной метрологии в ближайшее время будут определяться прежде всего гармонизацией отечественных нормативных документов с международными правилами. Такая необходимость вызвана широким развитием торгового сотрудничества, планами вступления во Всемирную торговую организацию, введением в ЕС обязательного подтверждения соответствия продукции как необходимого условия для допуска товаров на европейский рынок. В работе по гармонизации планируется совершенствование законодательного и нормативно-правового обеспечения.

Пересмотр и модернизация методов сертификации, в частности совершенствование схем сертификации, также будет способствовать схем российской сертификации с европейской. Сегодня уже сделан первый шаг – в систему ГОСТ Р введены схемы, предусматривающие применение декларации о соответствии, которая как способ доказательства широко применяется в европейской системе.

Также назрели вопросы о надлежащем обеспечении обратной связи в деятельности по сертификации, совершенствовании инфраструктуры сертификации, приближении сертификации импортируемой продукции к местонахождению изготовителей и поставщиков, расширении участия России в международных системах сертификации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

1. Лифиц, Иосиф Моисеевич. Основы стандартизации, метрологии, сертификации: Учебник. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Юрайт-М, 2001. – 263с
2. Сергеев, Алексей Георгиевич, Крохин, Виктор Васильевич. Метрология: Учебное пособие для вузов. – М.: Логос, 2001. – 406с.

Дополнительная

1. Дворяшин, Борис Владимирович. Основы метрологии и радиоизмерения: Учебное пособие для студентов радиотехн. спец. вузов. – М.: Радио и связь, 1993. – 318с.
2. Земельман, Марк Абрамович. Метрологические основы технических измерений / М.А.Земельман. – М.: Изд-во стандартов, 1991. – 227с.
3. Крылова, Галина Дмитриевна. Основы стандартизации, сертификации, метрологии: Учебник для студ. вузов / Г.Д.Крылова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2001. – 711с.
4. Основы метрологии и электрические измерения: Учебник для вузов / Под ред. Е.М. Душина. – 6-е изд., перераб. и доп. – Л.: Энергоатомиздат, 1987. – 479с.: ил.

Нормативные акты

1. Закон РФ «О защите прав потребителей» в редакции от 09.01.96
2. Закон РФ «О стандартизации» в редакции от 27.12.95
3. Закон РФ «О сертификации продукции и услуг» в редакции от 27.12.95
4. Закон РФ «Об обеспечении единства измерений» в редакции от 27.04.93

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	1
ТЕМА 1. МЕТРОЛОГИЯ КАК ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ.....	4
1.1. Эталоны. Передача информации о размерах единиц	7
ТЕМА 2. ИСХОДНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ И АКСИОМЫ МЕТРОЛОГИИ.....	13
2.1. Измеряемые величины	13
2.2. Качественная характеристика измеряемых величин.....	15
2.3. Количественная характеристика измеряемых величин	17
2.4. Единицы измерений	18
2.5. Воспроизведение основных единиц физических величин	20
2.6. Квантовая метрология.....	26
ТЕМА 3. ВИДЫ И МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЙ	29
3.1. Измерение физической величины.....	29
3.2. Способы измерений.....	29
3.3. Методы измерений.....	30
ТЕМА 4. СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ, КЛАССИФИКАЦИЯ И МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ	36
4.1. Средства измерения	36
4.2. Метрологическая надежность средств измерений	39
4.3. Режимы работы средств измерений.....	41
4.3.1. Установившийся режим	41
4.3.2. Переходный режим	41
4.3.3. Стационарный режим	42
4.3.4. Нестационарный режим	44
4.4. Статические и динамические измерения.....	44
ТЕМА 5. ПОГРЕШНОСТИ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ	47
5.1. Классификация погрешностей средств измерений	47
5.2. Основы теории измерений.....	50
5.2.1. Законы распределения случайных величин.....	51
5.2.2. Доверительный интервал и доверительная вероятность	53
5.2.3. Случайная погрешность среднего значения.....	54
ТЕМА 6. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ НЕЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ. ПЕРВИЧНЫЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ (ДАТЧИКИ) . ПРОЕКТИРОВАНИЕ. КЛАССИФИКАЦИЯ И УНИФИКАЦИЯ. ПРИМЕРЫ КОНСТРУКЦИЙ	57
6.1. Первичные измерительные преобразователи	57
6.2. Требования к первичным измерительным преобразователям.....	58
6.3. Методы расчета первичных измерительных преобразователей.....	59
6.4. Классификация первичных измерительных преобразователей.....	60

6.4.1. Реостатные первичные измерительные преобразователи	61
6.4.2. Тензочувствительные измерительные преобразователи (тензорезисторы)	62
6.4.3. Тепловые измерительные преобразователи (терморезисторы)	63
6.4.4. Полупроводниковые измерительные преобразователи	63
6.4.5. Электромагнитные измерительные преобразователи	64
ТЕМА 7. ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВЫЕ ОСЦИЛЛОГРАФЫ	66
7.1. Электронно-лучевая трубка	66
7.2. Запоминающие электронно-лучевые трубки	68
7.3. Канал вертикального отклонения луча	70
7.4. Канал горизонтального отклонения луча	70
7.5. Виды разверток	71
7.6. Калибратор	72
7.7. Осциллографические измерения	73
7.7.1. Измерение вольт-амперных характеристик	73
ТЕМА 8. ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ	75
8.1. Характеристики переменного напряжения	75
8.2. Электроизмерительные механизмы	77
8.3. Цифровые измерительные приборы	81
ТЕМА 9. ИЗМЕРЕНИЕ МОЩНОСТИ	85
9.1. Интегрирующие преобразователи	86
9.2. Метод трех вольтметров и трех амперметров	87
9.3. Измерение мощности СВЧ	88
9.4. Измерение малой мощности СВЧ	89
9.4.1. Резистивный метод	89
9.5. Ваттметры проходящей мощности	90
9.5.1. Измерение с помощью направленных ответвителей	90
9.5.2. Измерение мощности с помощью эффекта Холла	91
9.5.3. Пондеромоторный ваттметр	91
9.5.4. Измерение мощности лазерного излучения	91
ТЕМА 10. ГОСУДАРСТВЕННАЯ СИСТЕМА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЕДИНСТВА ИЗМЕРЕНИЙ	93
10.1. Метрологические службы государственных органов управления Российской Федерации и юридических лиц	95
10.2. Государственный метрологический контроль и надзор	95
10.3. Сферы распространения государственного метрологического контроля и надзора	95
10.4. Калибровка средств измерений	97
ТЕМА 11. ГОСУДАРСТВЕННЫЙ МЕТРОЛОГИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ ЗА СРЕДСТВАМИ ИЗМЕРЕНИЙ	98
11.1. Порядок проведения испытаний и утверждения типа средств измерений	98
11.2. Испытания средств измерений для целей утверждения их типа	98

11.2.1. Испытания на соответствие средств измерений утвержденному типу.....	99
11.3. Порядок проведения поверки средств измерений	99
11.4. Порядок лицензирования деятельности по изготовлению, ремонту, продаже и прокату средств измерений	102
11.5. Порядок осуществления государственного метрологического надзора за выпуском, состоянием и применением средств измерений, аттестованными методиками выполнения измерений, эталонами и соблюдением метрологических правил и норм	103
11.5.1. Порядок проведения проверок.....	105
ТЕМА 12. СТАНДАРТИЗАЦИЯ	107
12.1. Сущность стандартизации	107
12.2. Нормативные документы по стандартизации и виды стандартов.....	110
12.3. Нормативные документы по стандартизации в РФ.....	112
12.4. Виды стандартов.....	117
12.5. Применение нормативных документов и характер их требований	120
12.6. Применение нормативных документов в РФ.....	122
12.6.1. Характер требований нормативных документов	124
12.7. Ответственность за нарушение обязательных требований стандартов.....	125
ТЕМА 13. СЕРТИФИКАЦИЯ	127
13.1. Законодательная база сертификации	127
13.2. Правила по проведению сертификации	128
13.2.1. Нормативные документы, на соответствие которым проводится сертификация	130
13.3. Обязательная сертификация	130
13.3.1. Продукция, подлежащая обязательной сертификации.....	130
13.3.2. Система сертификации ГОСТ Р.	131
13.4. Порядок проведения сертификации	138
13.4.1. Сертификат соответствия	141
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	143
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	144
Основная	144
Дополнительная.....	144
Нормативные акты	144

Учебное издание

Горошко Дмитрий Львович

МЕТРОЛОГИЯ, СТАНДАРТИЗАЦИЯ, СЕРТИФИКАЦИЯ

Учебное пособие

Редактор М.А. Касаткина
Корректор Л.З. Анипко
Компьютерная верстка М.А. Портновой

Лицензия на издательскую деятельность ИД № 03816 от 22.01.2001

Подписано в печать 18.07.2003. Формат 60×84/16.
Бумага писчая. Печать офсетная. Усл. печ. л. 8,60.
Уч.-изд. л 8,4. Тираж 100 экз. Заказ

Издательство Владивостокского государственного университета
экономики и сервиса

690600, Владивосток, ул. Гоголя, 41
Отпечатано в типографии ВГУЭС
690600, Владивосток, ул. Державина, 57

