

Министерство образования и науки Российской Федерации

Владивостокский государственный университет
экономики и сервиса

**Ю.А. ЛЕВАШОВ
И.А. БЕЛОУС**

**МЕТРОЛОГИЯ, СТАНДАРТИЗАЦИЯ
И ПОДТВЕРЖДЕНИЕ СООТВЕТСТВИЯ**

Учебное пособие

Владивосток
Издательство ВГУЭС
2015

УДК
ББК 30.10я7
ЛЗ4

Рецензенты: *В.А. Игнатюк*, д-р физ.-мат. наук,
профессор (ВГУЭС);
С.Н. Павликов, канд. техн. наук, про-
фессор (МГУ им. Г.И. Невельского)

Левашов, Ю.А.

ЛЗ4 МЕТРОЛОГИЯ, СТАНДАРТИЗАЦИЯ И ПОД-
ТВЕРЖДЕНИЕ СООТВЕТСТВИЯ [Текст] : учебное по-
собие / Ю.А. Левашов, И.А. Белоус. – Владивосток :
Изд-во ВГУЭС, 2015. – 224 с.

В учебном пособии изложен материал по всем разделам ву-
зовской программы одноимённой дисциплины. Рассматриваются
методы достижения единства измерений и метрологического обес-
печения экспериментальных исследований, грамотного и осознан-
ного использования методов стандартизации и подтверждения
соответствия, опирающихся на передовые достижения науки и
практики. Освещены вопросы государственного контроля и надзо-
ра за соблюдением требований технических регламентов, стандар-
тов и средств измерений.

Для студентов, обучающихся по направлению подготовки
11.03.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи»
на базе ФГОС ВПО.

© Издательство Владивостокского
государственного университета
экономики и сервиса, оформление,
2015

ВВЕДЕНИЕ

Дисциплина «Метрология, стандартизация и подтверждение соответствия» занимает одно из центральных мест среди общепрофессиональных дисциплин, определяющих своим содержанием профессиональную подготовку бакалавров. В отличие от других общепрофессиональных и специальных дисциплин, посвященных изучению конкретных систем и устройств, дисциплина «Метрология, стандартизация и подтверждение соответствия» дает студентам набор знаний, умений и навыков для обеспечения изучения последующих дисциплин, поддержки практик, курсового и дипломного проектирования и последующей профессиональной деятельности.

В соответствии с принятым в 2009 г. ФГОС ВПО третьего поколения по направлению подготовки бакалавров и переходом к компетентностному формированию структур учебных дисциплин возникает необходимость обеспечения учебного процесса соответствующими учебно-методическими материалами.

Предлагаемое учебное пособие обеспечивает формирование: знаний методов достижения единства измерений и метрологического обеспечения экспериментальных исследований, грамотного и осознанного использования методов стандартизации и подтверждения соответствия, опирающихся на передовые достижения науки и практики; владений методами оценки и расчёта погрешности измерений, методами единства измерений; умений использования контрольно-измерительного оборудования для поверки средств измерений.

Материалы учебного пособия могут быть использованы для проведения практических занятий и лабораторного практикума в интерактивной форме, предусматривающей дискуссии и анализ конкретных ситуаций для лучшего усвоения материала.

Для обеспечения самостоятельной работы студентов и закрепления изученного материала рекомендуется использовать электронную обучающую среду Moodle ВГУЭС.

Для закрепления и самооценки самостоятельного изучения дисциплины в соответствующих разделах приведены контрольные вопросы.

ГЛАВА 1. ВВЕДЕНИЕ В МЕТРОЛОГИЮ

- 1.1. Роль метрологического обеспечения в науке и технике. Метрология – цели и задачи.
- 1.2. Величины, физические величины.
- 1.3. Виды физических величин, измерительные шкалы.
- 1.4. Системы единиц физических величин и принципы их построения.
- 1.5. Из истории создания систем единиц физических величин.
- 1.6. Международная система единиц.
- 1.7. Другие системы единиц, используемые в практике измерений. Внесистемные единицы.
- 1.8. Классификация измерений.

1.1. Роль метрологического обеспечения в науке и технике. Метрология – цели и задачи

В переводе с греческого метрон означает мера, а логос – учение или наука. Таким образом, дословно метрология – это наука о мерах, что и было справедливо на заре становления единиц измерения и соответствующих им мер, хранящих в себе размер этих единиц измерения.

В современном понимании, которое отражено в РМГ (Рекомендации по межгосударственной стандартизации) 29-99 «ГСИ. Метрология. Основные термины и определения», *метрология – Наука об измерениях, методах и средствах обеспечения единства и способах достижения требуемой точности.*

В это определение входит понятие единства измерений, которое там же определяется как *состояние измерений, характеризующееся тем, что их результаты выражаются в узаконенных единицах, размеры которых в установленных пределах равны размерам единиц, воспроизводимым первичными эталонами, а погрешности результатов измерений известны и с заданной вероятностью не выходят за установленные пределы.*

В приведенном определении единства измерений следует отметить два принципиальных момента. Во-первых, результаты измерений должны быть выражены в узаконенных единицах, то есть тех единицах, размер которых принят в установленном порядке. Так, в большинстве стран мира законодательно принята к применению система единиц СИ (система интернациональная), в которой единицей длины является метр,

массы – килограмм, силы тока – ампер и т.д. либо кратные или дольные от этих единиц. Во-вторых, погрешность результата измерений не выходит с заданной вероятностью за некоторое указанное значение. Это означает, что результат измерения физической величины, выполненный в какое-то время в каком-то месте, должен соотноситься с результатом измерения этой же самой величины, выполненным в другом месте и в другое время, в рамках указанной погрешности (оценки точности) результатов измерений.

Проблема обеспечения единства измерений имеет возраст, сопоставимый с возрастом человечества. Как только человек стал продавать или обменивать результаты своего труда, возник вопрос об эквиваленте этого труда, или единице измерения. В тех условиях первыми величинами, которые надо было измерять, были длина, площадь, объем, масса, и первыми средствами обеспечения единства измерений были объекты, которые имелись в распоряжении человека. Так появились первые меры длины, базирующиеся на размерах частей человеческого тела. На Руси это были вершок, пядь, локоть, аршин, сажень, косая сажень, в странах Европы – дюйм, фут и т.п.

Поскольку размеры частей тела у разных людей разные, то вопрос о равных условиях для всех участников торговли (или вопрос об обеспечении единства измерений) стоял довольно остро. Шагом, призванным урегулировать такие споры, стали законодательные акты правителей, обязывающие торговцев соблюдать единство измерений с помощью, например, двух зарубок на стене рыночной площади, устанавливающих размер «эталонной» меры длины.

Затем стали появляться государственные службы, хранящие установленные в государстве меры, с которыми торговцы были обязаны сравнивать имеющиеся у них меры. С развитием математики, физики, средств производства, с совершенствованием средств измерений на базе этих служб выросли современные метрологические лаборатории и центры.

По мере развития техники и науки человечество сталкивалось с новыми свойствами физических объектов, которые нужно было как-то характеризовать, оценивать количественно и использовать в повседневной практике. Например, при решении задачи Архимеда было введено новое понятие «плотность вещества», а также найдено решение задачи измерения объема предметов сложной формы. По мере развития человечества появлялась необходимость в измерении новых величин, которые характеризовали физические объекты с другой, неизвестной до этого стороны. Так появились другие физические величины: температура, твердость, цвет, сила тока, потенциал, разность потенциалов и т.д.

Физическая величина (величина) – одно из свойств физического объекта (физической системы, явления или процесса), общее в качест-

венном отношении для многих физических объектов, но в количественном отношении индивидуальное для каждого из них.

В настоящее время в науке классифицировано около 2000 физических величин, все они в той или иной степени должны быть определены количественно – это и есть задача метрологии. Отсюда вытекает еще одно определение: *метрология – это наука о получении количественной информации опытным путем.*

Опытным путем, то есть экспериментально, количественная информация получается при помощи измерений. Измерение – познавательный процесс, заключающийся в сравнении данной величины с известной величиной, принятой за единицу.

Приведем еще одно определение, данное в РМГ 29-99. *Измерение – 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.*

В простейшем случае, прикладывая линейку с делениями 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). Или с помощью измерительного прибора сравнивают размер величины, преобразованной в перемещение указателя, с единицей, хранимой шкалой этого прибора, и проводят отсчет.

Измерения выполняют с помощью средств измерений. *Средство измерений – техническое средство, предназначенное для измерений, имеющее нормированные метрологические характеристики, воспроизводящее и/или хранящее единицу физической величины, размер которой принимают неизменным (в пределах установленной погрешности) в течение известного интервала времени.*

Итак, рассмотрим, к чему сводится процесс измерения какой-либо физической величины (рис. 1.1).

Реальный объект исследований характеризуется множеством свойств, каждое из которых может служить предметом отдельного исследования. Интересующее нас свойство должно быть обнаружено и идентифицировано как физическая величина, имеющая свою законную единицу физической величины, с которой и сравнивается количественно исследуемое свойство объекта исследований. Сравнение производится с помощью технического устройства, имеющего нормированные метрологические характеристики, – средства измерений, по определенному алгоритму, называемому *методикой выполнения измерений (МВИ).*

После выполнения измерения и получения числового значения результата измерения должна быть произведена *оценка погрешности*

измерения, включающей в себя погрешность средства измерений, погрешность метода измерений, погрешность от влияния внешних воздействий и индивидуальных особенностей наблюдателя.

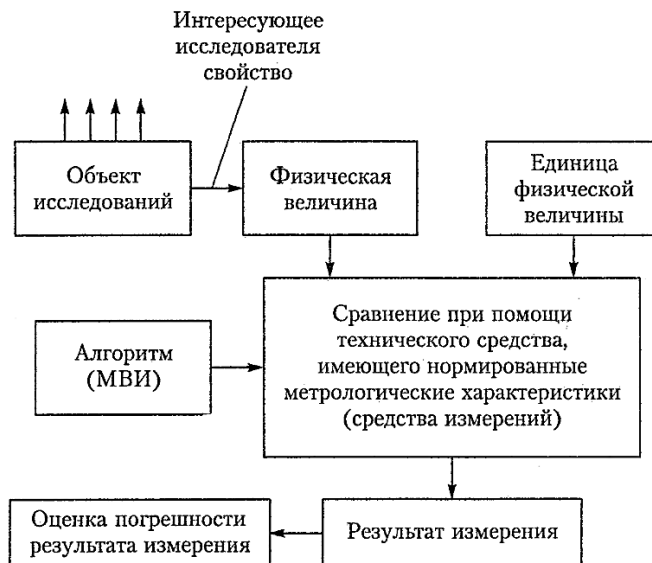


Рис. 1.1. Процесс измерений физической величины

Метрология как наука не является чем-то застывшим и неизменным. С принятием в 1993 г. трех законов Российской Федерации: «Об обеспечении единства измерений», «О стандартизации», «О сертификации продукции и услуг» – существенно возросла роль метрологии в научном, техническом и общественном прогрессе». Введение государственного метрологического контроля и надзора во многих областях деятельности и обязательной сертификации продукции, работ и услуг обусловило изменение отношения к измерениям и средствам измерений как инструментам повышения качества и достоверности научных исследований, технических разработок, выпускаемых и реализуемых потребителю товаров.

1.2. Величины, физические величины

Многообразие черт окружающего нас мира проявляется, прежде всего, в свойствах различных физических объектов, явлений и процессов. Каждый физический объект может быть описан с помощью различных свойств, присущих этому объекту, причем этих свойств при тщательном анализе оказывается огромное количество.

Свойство – категория качественная, оно отражает такую сторону объекта (явления или процесса), которая характеризует этот объект с новой стороны и в этом смысле обуславливает его отличие от других объектов или общность с ними. Одно и то же свойство может быть обнаружено у многих объектов или быть присущим только некоторым из них.

Так, массой, геометрическими размерами, температурой или плотностью обладают все материальные тела, а ферромагнитной характеристикой или кристаллической структурой – только некоторые из них. Каждое из свойств физических объектов, прежде всего, должно быть обнаружено, затем описано и классифицировано, после этого можно приступать к его количественному изучению.

Для количественного исследования свойств физических объектов, явлений и процессов вводится понятие величины. Величина существует не сама по себе, а постольку, поскольку существует объект со свойствами, выраженными данной величиной.

Все величины можно разделить на два вида: реальные и идеальные (рис. 1.2).

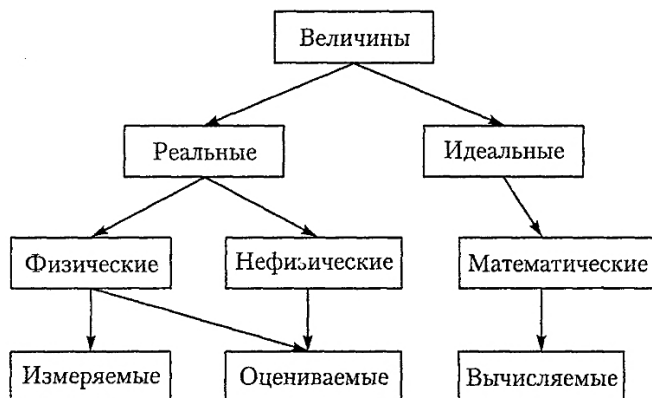


Рис. 1.2. Виды величин

Идеальные величины относятся в основном к области математики, метрология как наука ими не занимается, хотя и использует в практике обработки результатов измерений. Идеальные величины могут быть вычислены тем или иным способом и при определенных условиях могут не иметь погрешности вычисления, чего нельзя сказать о величинах реальных.

Реальные величины, в свою очередь, делятся на физические (ФВ) и нефизические. Физическая величина может быть определена как величина, присущая свойствам материальных объектов, а также физических явлений и процессов. Физические величины изучают в рамках естественных и технических наук. Нефизические величины используют в сво-

ей практике общественные науки, философия, социология, экономика, психология и т.д.

Для нефизических величин единица измерения не может быть введена в принципе. Они могут быть только оценены с использованием экспертных оценок, балльной системы, набора тестов, расчетных коэффициентов и т.п. Нефизические величины, при оценке которых неизбежно влияние субъективного фактора, как и величины идеальные, к области метрологии не относятся.

Метрология как наука занимается физическими величинами. Физические величины разделяют на *измеряемые* и *оцениваемые*. Измеряемая физическая величина имеет свою единицу измерения и может быть выражена количественно в виде определенного числа единиц измерения. Основное уравнение измерения имеет вид

$$Q = q[Q],$$

где Q – истинное значение физической величины;

q – числовое значение физической величины;

$[Q]$ – единица измерения физической величины.

Следует оговориться, что реальный результат измерения X отличается от истинного значения физической величины Q на значение погрешности измерения Δ .

Для определения размера физической величины используют некоторое измерительное преобразование, позволяющее установить однозначное соответствие размера физической величины и ее числового значения.

Измеряемая физическая величина, для которой установлена единица измерения, имеет *линейное измерительное преобразование*. Измерительное преобразование называется линейным, если при увеличении размера физической величины Q на ΔQ результат преобразования (числовое значение) q увеличивается на Δq , а при увеличении ΔQ в n раз Δq увеличивается также в n раз. Другими словами, при увеличении Q на одну единицу измерения $[Q]$ числовое значение физической величины q также увеличивается на одну единицу.

Физические величины, для которых по тем или иным причинам не найдено линейное измерительное преобразование, не имеют единицы измерения и не могут быть измерены. Их размер может быть только оценен. Под оценением в таком случае понимается операция приписывания данной физической величине определенного числа, характеризующего ее размер.

Размеры физических величин как измеряются, так и оцениваются при помощи шкал.

Шкала физической величины – это упорядоченная совокупность значений физической величины, служащая исходной основой для измерений данной величины.

В дальнейшем под термином «величина» будем понимать только физические величины.

1.3. Виды физических величин, измерительные шкалы

Среди множества специфических проявлений свойств физических объектов выделяют три наиболее общих проявления в отношениях эквивалентности, порядка и аддитивности, описываемых простейшими выражениями.

- Отношение эквивалентности – это отношение, в котором данное свойство X у различных объектов оказывается одинаковым или неодинаковым:

$$X(A) \approx X(B) \text{ или } X(A) \neq X(B).$$

- Отношение порядка – это отношение, в котором данное свойство X у различных объектов оказывается больше или меньше:

$$X(A) > X(B),$$

причем если $X(D) > X(B)$ и $X(B) > X(C)$, то $X(A) > X(C)$.

- Отношение аддитивности – это отношение, в котором однородные свойства различных объектов могут суммироваться:

$$X(A) + X(B) = X(C).$$

В зависимости от проявлений свойств физических объектов в отношении эквивалентности, порядка и аддитивности можно выделить три вида физических величин, размер которых определяется по принципиально различным правилам. В четвертую группу входят свойства объектов, не имеющие по тем или иным причинам количественной оценки.

К *первой группе* относят экстенсивные величины, для которых определены операции сложения и вычитания, то есть величины, в результате сложения которых (имеются в виду величины одного свойства) получается качественно та же самая физическая величина. Операция сложения определяет операцию умножения размеров величин на любое рациональное число p . Результат такого умножения есть просто сумма p размеров данной величины.

К подобным величинам относятся, например, длина, масса, сила электрического тока и т. д. Эти величины наиболее удобны в физике. Они входят в основные физические законы и соотношения, поэтому часто только их и называют физическими величинами.

Вторая группа – это интенсивные величины, для которых определены отношения порядка и эквивалентности (больше – меньше, теплее – холоднее, одинаково теплые). Операция сложения для таких величин не имеет физического смысла. Но интервалы этих величин (разница двух

размеров) относятся уже к величинам первой группы (экстенсивные величины) и для них определена операция сложения. В виде разности размеров эти величины входят в физические законы и соотношения.

Величины, относящиеся ко второй группе, имеют единицу измерения, но их шкалы не имеют естественного нуля. К числу таких величин относятся время и электрический потенциал. Сложить две календарные даты, отсчитанные от Рождества Христова, не представляется возможным, но суммируя несколько интервалов времени, например, измеренных секундомером, в результате можно получить физически такой же интервал времени. Взяв разницу двух электрических потенциалов, получим величину первой группы – разность потенциалов, для которой определены операции сложения и умножения.

К *третьей группе* относят величины, для которых определены только отношения порядка и эквивалентности (интенсивные величины). Существование подобных отношений устанавливается теоретически, исходя из общезначимых соображений, или экспериментально, с помощью специальных измерительных преобразований и технических устройств, производящих эти преобразования. Так, мы знаем, что медь тверже резины, но для обнаружения различия в твердости двух образцов необходимы специальные измерительные преобразования и соответствующие технические устройства.

К величинам третьей группы наряду с твердостью относят интенсивность землетрясений, силу ветра и другие величины, единицу измерений для которых ввести не удастся, но которые тем не менее оцениваются с помощью технических устройств по некоторому алгоритму. Часто в качестве числовых значений физических величин используются отвлеченные числа или баллы, характеризующие размер величин в соответствии с выбранным измерительным преобразованием.

Например, оценка интенсивности землетрясений в сейсмических шкалах разных стран различна. В ее основу положены бытовые последствия землетрясений, но на уровне измерительных приборов фиксируются колебания земной коры. Силу ветра оценивают по его скорости. О линейности примененных измерительных преобразований в этих случаях говорить не приходится из-за того, что прямым измерениям подвергаются другие величины, по которым производится оценка интересующих нас физических величин, причем вид косвенной связи между величинами неизвестен. Поэтому единицы измерений у величин третьей группы отсутствуют.

Следует отметить, что определения многих физических величин не являются неизменными, а постоянно уточняются. Уточнение определений происходит в направлении, позволяющем вскрыть новые физические соотношения между величинами и таким образом перевести вели-

чины третьей группы в первую или хотя бы во вторую. И примеры этого в истории имеются.

Так, температуру тел следовало отнести к величинам третьей группы, когда ее определяли интуитивно как степень нагретости тела (теплее – холоднее, одинаково теплые). Определение, связавшее температуру со шкалой термометра, позволило перевести ее во вторую группу величин. Шкалы Цельсия или Фаренгейта уже имеют единицу измерения, что говорит о линейности измерительного преобразования, но ноль шкалы выбран произвольно. Благодаря этому температура вошла в некоторое число уравнений физики, но только в виде интервалов температур. И только определение, которое дал лорд Кельвин, основанное на законе состояния идеальных газов, позволило перевести температуру в разряд величин первой группы и сделать ее равноправной физической величиной. Шкала термодинамической температуры, или шкала Кельвина, имеет не только единицу измерения, но и естественный «ноль» шкалы, то есть температуру, при которой отсутствует тепловое движение частиц.

Выделяют и *четвертую группу* – для свойств физических объектов, которые проявляют себя только в отношении эквивалентности. Эти свойства не относятся к величинам, и термин «размер» для них применить нельзя. Но эти свойства могут быть обнаружены, идентифицированы и классифицированы. Они могут быть как-то названы, им может быть присвоено некоторое число, ничего не говорящее о размере и характеризующее данное свойство с точки зрения предъявляемых к нему требований.

Для обоснования возможности количественного представления, то есть измерения или оценки величин, относящихся к различным группам, необходимо остановиться на понятии «измерительное преобразование». Это такой вид преобразования, при котором устанавливается взаимно однозначное соответствие между размерами двух величин. Измерительное преобразование осуществляется техническими устройствами – средствами измерений. Преобразуемая (измеряемая) величина тогда является входной, а результат преобразования – выходной величиной.

Целью измерения является нахождение размера физической величины, который определяется как количественная определенность физической величины, присущая конкретному материальному объекту, системе, явлению или процессу.

В результате измерения получают значение физической величины – выражение размера физической величины в виде некоторого числа принятых для нее единиц.

Проявления (количественные или качественные) любого свойства реальных объектов образуют в нашем представлении упорядоченные

множества чисел или, в более общем случае, условных знаков, которые называют шкалами измерений.

Шкала физической величины – упорядоченная совокупность значений физической величины, служащая исходной основой для измерений данной величины.

Условная шкала физической величины – это шкала физической величины, исходные значения которой выражены в условных единицах.

В зависимости от вида проявлений свойств физических объектов различают пять основных типов шкал измерений.

Шкала наименований (шкала классификаций)

Шкала наименований – это самый простой тип шкал, основанный на приписывании качественным свойствам объектов чисел или имен. Такие шкалы применяют для свойств, проявляющих себя только в отношении эквивалентности, которые у различных объектов могут совпадать или не совпадать. Измерительное преобразование для этих свойств не найдено либо не требуется по условиям познания данного объекта или явления. В таких шкалах отсутствуют понятия нуля и единицы измерения. Часто по таким шкалам классифицируют свойства, определяемые с помощью органов чувств человека (экспертные оценки).

Шкала порядка (шкала рангов)

Шкалы порядка применяют для оценивания размеров величин третьей группы, которые проявляют себя в отношении эквивалентности и порядка по возрастанию или убыванию количественного проявления данного свойства. В этих шкалах обычно имеется понятие о нуле шкалы, но единицы измерения ввести нельзя в принципе, так как для них не установлена пропорциональность (линейность) изменения размеров величины относительно выбранного измерительного преобразования. Поэтому эти величины не измеряют, а оценивают по заранее выбранным правилам в порядке убывания или возрастания размера величины.

Оценивание может осуществляться двумя способами. Во-первых, может быть использована условная шкала с нанесенными на нее опорными (реперными) точками. К таким шкалам, например, относится шкала Мооса для определения твердости минералов, которая содержит десять опорных минералов с условными числами твердости: 1 – тальк, 2 – гипс, 3 – кальций, 4 – флюорит, 5 – апатит, 6 – ортоклаз, 7 – кварц, 8 – топаз, 9 – корунд, 10 – алмаз. Отнесение минерала к той или иной степени твердости осуществляется на основании царапания испытуемого материала опорным. Если после царапания кварцем (7) на нем остается след, а после царапания ортоклазом (6) – не остается, то твердость испытуемого материала составляет более 6, но менее 7. Более точный ответ в этом случае дать невозможно.

Во-вторых, может быть подобрано измерительное преобразование, переводящее размер изучаемой величины в некоторую совокупность размеров величин первой группы, числовые значения которых и принимают за числовые значения данной величины.

Так, например, твердость по шкале Бринелля определяют, вдавливая стальной закаленный шар в образец с определенным усилием, а числовое значение твердости рассчитывают как отношение этого усилия к площади отпечатка на испытуемом материале. Аналогично определяют твердость по шкале Виккерса, но вместо стального шарика в образец вдавливают алмазную пирамидку.

Как уже отмечалось, линейность преобразований величин третьей группы проверить нельзя. Можно лишь утверждать, что их числовые значения связаны друг с другом некоторым монотонным преобразованием.

Шкала интервалов (шкала разностей)

Измерительные шкалы интервалов применяют для измерений интервалов величин второй группы, которые, в отличие от самих величин, удовлетворяют отношениям эквивалентности, порядка и аддитивности. Шкала интервалов состоит из одинаковых интервалов и, как следствие, линейна и имеет единицу измерения. Ноль такой шкалы принят по соглашению и поэтому является условным.

К таким шкалам относится летоисчисление по различным календарям, в которых за нулевую отметку принимается либо Рождество Христово, либо сотворение мира. К таким же шкалам относятся температурные шкалы Цельсия, Фаренгейта, Реомюра.

Так, во введенной Фаренгейтом температурной шкале первой опорной точкой и началом отсчета служила температура смеси льда, поваренной соли и нашатыря (как наиболее низкая температура, которую можно было достаточно точно воспроизвести в то время), а в качестве второй опорной точки была выбрана температура человеческого тела. Единица температуры определялась как одна девяносто шестая часть полученного таким образом основного интервала и была названа градусом Фаренгейта ($^{\circ}\text{F}$). Температура таяния льда оказалась равной 32°F , а температура кипения воды – 212°F .

В температурной шкале Цельсия началом отсчета является температура таяния льда, второй опорной точкой служит температура кипения воды, а за единицу температуры принят градус Цельсия ($^{\circ}\text{C}$), или одна сотая часть основного интервала.

В шкале измерения времени единица измерения воспроизводится непосредственно как интервал времени, начало отсчета выбирают каждый раз по-разному и в зависимости от конкретных условий изучаемого явления и часто просто связывают с началом этого явления.

Аналогично строится шкала для измерения электрических потенциалов.

В общем случае размер Q физической величины второй группы может быть определен по шкале интервалов на основании уравнения

$$Q = Q_0 + Q[Q],$$

где Q_0 начало отсчета;

$[Q]$ – единица измерения;

q – числовое значение величины.

Шкала отношений

Физические шкалы отношений являются наиболее совершенными из всех перечней так как имеют не только единицу измерения, но и естественный ноль шкалы. Размер величины Q может быть описан уравнением

$$Q = q [Q].$$

С помощью этих шкал измеряются физические величины первой группы, для которых справедливы отношения эквивалентности, порядка и аддитивности и определены все арифметические операции: сложение, вычитание, умножение и деление, что имеет важное значение для измерения этих величин.

Из приведенного уравнения следует, что числовое значение величины первой группы показывает, во сколько раз значение измеряемой величины больше некоторого значения, принятого за единицу, это числовое значение q зависит от размера принятой единицы.

Примерами величин, для которых существуют шкалы отношений, являются масса, длина, термодинамическая температура, сниженная со шкалой Кельвина, сила электрического тока, электрическое напряжение и т.д. Действительно, складывая две массы m_1 и m_2 , и получим в результате физически то же свойство – массу с размером m_3 , причем $m_3 = m_1 + m_2$.

Абсолютные шкалы

Иногда для физических величин, для которых справедливы отношения эквивалентности, порядка и аддитивности, но дополнительно имеющих естественное определение единицы измерения, не зависящее от принятой системы единиц, используют понятие абсолютных шкал. Эти шкалы обладают всеми признаками шкал отношения, но при этом имеют безразмерную единицу измерения. Это относительные величины, такие, как коэффициенты усиления, ослабления, плоский или телесный угол и т.д. Введение таких величин объясняется удобством выражения некоторых физических процессов или явлений, их математического описания и практической реализации в измерительной технике.

1.4. Системы единиц физических величин и принципы их построения

Количественная информация о свойствах изучаемых объектов может быть получена при помощи измерения. Для того чтобы ее можно было получать, то есть устанавливать различия в количественном содержании свойства, отображаемого физической величиной, в метрологии введены понятия размерности и размера. Эти понятия связаны с тем, что любая физическая величина может выделяться качественно и определяться количественно.

Отражением качественного различия между физическими величинами является их размерность. В соответствии с международным стандартом ISO 31/0 размерность следует обозначать \dim . Размерность основных физических величин обозначается прописными латинскими или греческими буквами. Если основными физическими величинами являются длина, масса и время, то они обозначаются L , M , T соответственно.

Совокупность физических величин, образованная в соответствии с принятыми принципами, когда одни величины принимают за независимые, а другие определяют в качестве функций независимых величин, называется системой физических величин. Физическая величина, условно принятая в качестве независимой от других величин системы, называется основной. Физическая величина, входящая в систему величин и определяемая через основные величины этой системы, называется производной.

При определении размерности производных величин используют уравнения связи – уравнения, отражающие связь между величинами, в которых буквенными символами обозначают физические величины. Уравнения связи могут отражать законы природы (например закон Ома $I=U/R$) или быть определениями некоторых величин (например, плотности $\rho = m/V^3$). Чтобы найти размерность производной физической величины в некоторой системе величин, надо в правую часть уравнения связи, используемого для определения этой величины, вместо обозначений величин подставить их размерности. При этом соблюдаются следующие правила:

- Размерности левой и правой частей уравнений должны быть одинаковыми, так как сравниваться между собой могут только одинаковые свойства.
- Алгебра размерностей состоит из одного действия – алгебраического умножения, то есть над размерностями можно производить действия умножения, деления, возведения в степень и извлечение корня.
- Размерность произведения нескольких величин равна произведению их размерностей. Если зависимость между величинами имеет вид $Q = ABC$, то

$$\dim Q = \dim (ABC) = \dim A \dim B \dim C.$$

- Размерность частного при делении одной величины на другую равна отношению их размерностей, то есть если $Q = A/B$, то

$$\dim Q - \dim A/B = \dim A/\dim B.$$

- Для величины, возводимой в степень, то есть $Q = A^n$, размерность возводится в ту же степень:

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

Пример 1.1. Если сила, согласно второму закону Ньютона, $F = ma$, где ускорение $a = v/t$, то $\dim F - \dim m \dim a = ML/V - = LMT^{-2}$.

Таким образом, размерность – это выражение в форме степенного многочлена, отражающее связь данной физической величины с основными физическими величинами:

$$\dim Q = L^{\alpha} M^{\beta} T^{\gamma} \dots,$$

где L, M, T, \dots – размерности соответствующих основных физических величин; α, β, γ – целые или дробные, положительные или отрицательные вещественные числа. Показатели степени, в которую возведена размерность основной величины, называют показателем размерности. Если все показатели размерности равны нулю, то такую величину называют безразмерной. Показатель размерности основной величины в отношении самой себя равен единице и не зависит от других величин, то есть формула размерности основной величины совпадает с ее символом. Теория размерностей широко используется для выяснения зависимости между величинами и оперативной проверки правильности формул.

Пример 1.2. Найдено выражение для определения скорости в момент времени t

$$v_t = v_0 + at^2/2,$$

где v_0 – скорость в начальный момент времени; a – ускорение. На основании алгебры размерностей

$$LT^{-1} = LT^{-1} + LT^2 T^{-2} = LT^{-1} + L,$$

то есть размерности правой и левой частей уравнения не совпадают, значит, в формуле присутствует ошибка. Если изменить показатель степени во втором слагаемом:

$$v_t = v_0 + at/2,$$

то размерности правой и левой частей уравнения совпадут. Но из курса физики известно, что

$$v_t = v_0 + at,$$

то есть правильность введения безразмерного коэффициента следует проверять другим путем, например экспериментально.

Количественной характеристикой (определенностью) измеряемой величины служит ее размер. Получение информации о размере физической величины является содержанием любого измерения. При этом нет иного экспериментального способа получить информацию о каких бы то ни было размерах, как выполнить сравнение их между собой. При измерении по шкале отношений или шкале интервалов выполняется сравнение неизвестного размера с известным, принятым за единицу.

Единица измерения физической величины – физическая величина фиксированного размера, которой условно присвоено числовое значение, равное 1, применяемая для количественного выражения однородных с ней физических величин. Значение физической величины – выражение размера физической величины в виде некоторого числа принятых для нее единиц. Значение измеряемой величины Q определяется числовым значением q , которое является отвлеченным числом, входящим в значение величины, и некоторым размером $[Q]$, принятым за единицу:

$$Q = q[Q].$$

Увеличение или уменьшение $[Q]$ приводит к обратно пропорциональному изменению q . Числовые значения измеряемых величин зависят от того, какие единицы измерения используются. Если допустить произвол в выборе единиц, то результаты измерений окажутся несопоставимыми между собой. Чтобы этого не произошло, единицы измерения физических величин устанавливаются по определенным правилам и закрепляются законодательным путем.

Система единиц физических величин – это совокупность основных и производных единиц физических величин, образованная в соответствии с принципами, принятыми для заданной системы физических величин. На практике широко применяется понятие «узаконенные единицы», которое раскрывается как «система единиц и/или отдельные единицы, установленные для применения в стране в соответствии с законодательными актами».

Основной принцип построения систем единиц заключается в удобстве их использования. Для обеспечения этого принципа в произвольном порядке выбираются основные физические величины, а затем также произвольно выбирают единицы основных физических величин. По этой причине могут быть построены самые разные системы единиц физических величин. Ученые стремятся к созданию теоретически оптимальной системы единиц или по возможности близкой к ней. Однако правила, по которым тот или иной комплекс единиц выбирают в качестве основного, не могут быть обоснованы теоретически. Единственные аргументы в пользу выбора – эффективность и целесообразность использования системы. Для практических целей выполнения измерений в качестве основных величин и их единиц следует выбирать такие, кото-

рые можно воспроизвести с наивысшей точностью и которые удобно использовать для установления единиц производных физических величин.

Исходя из сказанного можно принять следующий порядок построения систем единиц:

1. Выбираются основные физические величины.
2. Устанавливаются единицы основных физических величин.
3. Выбираются уравнения связи и устанавливаются единицы производных физических величин.

Для обеспечения основного принципа построения системы единиц – практической целесообразности – применяются следующие критерии:

- 1) простота образования производных физических величин и их единиц, возможность приравнять к единице коэффициенты пропорциональности в уравнениях связи;
- 2) высокая точность воспроизведения основных и производных единиц и передачи их размеров нижестоящим эталонам и рабочим средствам измерений;
- 3) возможность восстановления эталонов основных единиц в случае утраты;
- 4) преемственность единиц, сохранение их размеров и наименований при введении новой системы единиц;
- 5) близость размеров основных и производных единиц к размерам физических величин, наиболее часто встречающихся на практике;
- 6) выбор в качестве основных минимального числа физических величин, отражающих наиболее общие свойства материи.

Приведенные критерии вступают в противоречие между собой, поэтому путем соглашения выбирается наиболее выгодный для практики вариант.

Производные величины выражаются через основные величины на основе известных уравнений связи между ними, при этом различают уравнения связи между величинами, в которых под буквенными символами понимаются физические величины, и уравнения связи между числовыми значениями физических величин, в которых под буквенными символами понимают числовые значения величин, соответствующих выбранным единицам. Вид уравнения связи между числовыми значениями зависит от выбора единиц.

Пример 1.3. Если в уравнении скорости равномерного движения $v = l/t$ скорость v выразить в километрах в час, длину пути l – в метрах, а время t – в секундах, то получим:

$$v = v_{(\text{км/ч})} (\text{км/ч}); l = l_{\text{м}} (\text{м}); t = t_{\text{с}} (\text{с}); v_{(\text{км/ч})} = l_{\text{м}} / t_{\text{с}}$$

или

$$v_{(\text{км/ч})} = l_{\text{кр}} / t_{\text{с}}$$

Учитывая, что $1 \text{ ч} = 3600 \text{ с}$ и $1 \text{ км} = 1000 \text{ м}$, получим следующее уравнение связи между числовыми значениями:

$$v_{(\text{км/ч})} = 3,6 l_{\text{м}} / t_{\text{с}}$$

Таким образом, выражая скорость в километрах в час, длину пути – в метрах, время – в секундах, получим уравнение связи с числовым коэффициентом 3,6. Если выразить скорость в милях в час, длину пути – в ярдах, время – в секундах, то уравнение между числовыми значениями примет вид

$$v_{(\text{миль/ч})} = 2,045 l_{\text{ярд}} / t_{\text{с}}$$

Пусть производная физическая величина Q образуется путем перемножения двух основных величин A и B : $Q = A \times B$, тогда $q[Q] = a[A]b[B]$, и единица производной величины выражается через единицы основных величин с помощью соотношения

$$[Q] = (ab/q)[A][B].$$

Для случая, когда $Q=A/B$,

$$[Q] = (ab/q)[A][B]^{-1}.$$

В общем случае единицы производных величин выражаются через единицы основных величин с помощью степенного одночлена

$$[Q] = k[A]^a[B]^b[\dots]^y, \dots,$$

где коэффициент пропорциональности k полагается безразмерным, а величины a , b , y, \dots являются уже известными показателями размерности. К коэффициенту k предъявляют еще одно требование: он должен равняться 1. Получаемые при этом условии так называемые когерентные (или согласованные) системы единиц являются наиболее удобными.

Когерентная производная единица физической величины – производная единица физической величины, связанная с другими единицами системы единиц уравнением, в котором числовой коэффициент принят равным 1.

Когерентная система единиц физических величин – система, состоящая из основных единиц и когерентных производных единиц.

Различают кратные и дольные единицы физических величин, системные и внесистемные единицы.

Кратная единица физической величины в целое число раз больше системной или внесистемной единицы.

Дольная единица физической величины в целое число раз меньше системной или внесистемной единицы.

Системная единица физической величины – единица, входящая в принятую систему единиц. Все основные, производные кратные и дольные единицы являются системными.

Внесистемная единица физической величины – единица, не входящая в принятую систему единиц. Внесистемные единицы (по отношению к единицам СИ) разделяются на четыре группы: допускаемые наравне с единицами СИ; допускаемые к применению в специальных областях; временно допускаемые; устаревшие (не допускаемые).

Впервые понятие *системы единиц* было введено немецким математиком К. Гауссом в 1832 г. В дальнейшем по мере развития науки и техники возникали все новые и новые системы, пока их количество не стало тормозом для дальнейшего развития. В этих условиях XI Генеральная конференция по мерам и весам в 1960 г. приняла Международную систему единиц физических величин.

Классом систем единиц физических величин называется совокупность систем единиц, различающихся между собой только размером, но не физической природой основных единиц физических величин. Система СГС и система СИ принадлежат к одному классу, система МКГСС – к другому. Основные единицы системы СГС: сантиметр – единица длины, грамм – единица массы, секунда – единица времени. Основные единицы в системе СИ: метр, килограмм, секунда (подробнее о системе СИ см. в разделе 1.5). Системы СГС и СИ относятся к классу LMT, Система МКГСС относится к классу LFT, ее основные единицы: метр – единица длины, килограмм-сила – единица силы, секунда – единица времени. Размерность определяется классом систем единиц, и в разных классах систем единиц размерность одной и той же физической величины будет различна. Например, размерность силы в классе LTM будет $[F]=LMT^{-2}$, а в классе LFT она будет F как размерность основной единицы.

1.5. Из истории создания систем единиц физических величин

Измерения человек начал производить уже в глубокой древности, но в начальный период старался свести их к счету. Время выражалось в сутках, месяцах, годах; расстояние – в шагах, локтях, выстрелах, днях пути; количество товаров – в штуках, тюках, пачках, дюжинах, головах скота и т.д. Эти измерения были весьма грубы и их результаты зависели как от индивидуальных особенностей наблюдателя, так и от вида товара. Технические устройства – средства измерений – отсутствовали.

По мере развития торговли, а затем и промышленности появилась необходимость иметь более точную количественную оценку различных величин: линейных размеров, расстояний, объемов, массы, времени и т.д. Так появились меры длины, массы (веса), объема и первые технические приспособления: весы, часы и т.д., – пришедшие на смену обычным палке, горшку и камню.

О единстве измерений в нашем понимании речи еще не было, так как в каждом местечке, княжестве или государстве «своим аршином мерили». Многообразие мер одного наименования в пределах некоторого региона могло достигать нескольких десятков. Так, в XVIII в. в Европе существовало до сотни различных футов, около полусотни различных миль, свыше 120 фунтов. Неодинаковые единицы измерения имели не только различные страны, но и отдельные провинции одного и того же государства.

Россия здесь не была исключением. В то время в разных областях России в ходу были различные по размеру вершки и пяди, аршины и локти, сажени и версты. В более поздние времена, когда Россия стала активно участвовать в международной торговле через прорубленное «окно в Европу», в ходу появились европейские наименования мер: футы и дюймы, морская миля и др. Аналогичное состояние наблюдалось для мер массы, площади и объема (вместимости для жидких и сыпучих веществ).

Соотношения между мерами одной величины в истории неоднократно изменялись. Так, верста в разное время и в различных областях России колебалась от 1000 до 500 сажений, сажень приравнивали к трем локтям, а позднее к трем аршинам. Петр I приравнивал сажень к семи английским футам с делением ее на три аршина.

Надзор за мерами в Древней Руси поручался духовенству, которое должно было «торговой веси и всякие мерила блюсти без пакости – ни умножати, ни умалити, за все то дати ему ответ во день страшного суда». В ведении церкви находились весы и меры, служащие для взаимных расчетов при купле и продаже.

Началом регулярного государственного надзора за состоянием мер и весов в России считают 1845 г., когда вступило в действие «Положение о мерах и весах», разработанное комиссией образцовых мер и весов. Положение устанавливало порядок надзора за изготовлением, выпуском, проверкой и клеймением мер и весов. Предусматривались также внезапные проверки находящихся в применении мер и весов, устанавливались пределы допустимой погрешности. Были изготовлены основные образцы русских мер: платиновая сажень и платиновый фунт. Для хранения их на территории Петропавловской крепости в Санкт-Петербурге было построено нестрогое здание – Депо образцовых мер и весов (1842 г.).

Основные задачи Депо – хранение эталонов, составление таблиц русских и зарубежных мер, изготовление образцовых мер и рассылка их в различные регионы страны. Контроль правильности мер и весов на местах входил в обязанности городских дум, управ и казенных палат.

Многообразие мер, применявшихся в разных странах, и недесятичная система образования дольных (меньшего размера) и кратных (большого размера) мер сильно затрудняли пересчет одних единиц в другие. Так, например, 1 аршин = 16 вершкам, 1 пуд = 40 фунтам, 1 золотник¹ = 96 долям, 1 бутылка² = 5 чаркам, 1 фут = 12 дюймам и т.п.

Еще в XVII–XVIII вв. обсуждался вопрос о создании единого для всех народов и устойчивого во времени масштаба измерений, важный шаг в этом направлении был сделан во времена Французской революции в конце XVIII в. Тогда по инициативе шотландского изобретателя и предпринимателя Дж. Уатта во Франции было принято решение о создании метрической системы мер, основанной на естественных и неразрушимых эталонах и построенной по десятичному принципу. В разработке системы принимали участие французские ученые П. Лаплас, Ж. Лагранж, Ж. Деламбре, П. Мешен и др. Было решено в основу системы положить единицу длины – 1 метр, равный одной десятиллионной части четверти земного меридиана, проходящего через Париж. За единицу веса (в те времена масса и вес считались одной и той же величиной) был принят вес одного кубического дециметра чистой воды при температуре ее наибольшей плотности (около $+4^{\circ}\text{C}$).

Тщательные геодезические и астрономические измерения, с риском для жизни выполненные в неспокойной революционной Франции Жаном-Батистом Деламбре и Пьером Мешеном (1792–1798 гг.), позволили определить длину Парижского меридиана и изготовить (1799 г.) эталон метра в виде платиновой меры шириной 25 мм и толщиной 4 мм. Платиновый метр передали на хранение в Национальный архив Франции, где он находится и по сей день. По этой причине первый эталон метра получил название «метр Архива» или «архивный метр».

Первый прототип килограмма, изготовленный на основе тщательных взвешиваний одного кубического дециметра чистой воды при температуре 4°C , представлял собой платиновую цилиндрическую гирю высотой 39 мм и таким же диаметром. Как и прототип метра, он был передан на хранение в Национальный архив Франции и получил название «килограмм Архива».

Принятая французским парламентом метрическая система мер еще не была системой единиц в современном понимании, так как мал был перечень величин, охваченных ею. К числу несомненных достоинств этой системы следует отнести десятичный принцип образования дольных и кратных единиц. В действие эта система во Франции была введена только в 1840 г.

Повторные измерения дуги меридиана, выполненные в XIX в., показали, что длина «метра Архива» несколько короче того, каким он должен быть по определению, а повторные измерения массы одного кубического дециметра чистой воды при температуре 4°C показали, что масса «килограмма Архива» немного превышает эту массу. Так как в дальнейшем при более точных измерениях можно было получить различные значения метра и килограмма, Международная комиссия по прототипам метрической системы, созданная по инициативе Петербургской академии наук, в 1872 г. решила отказаться от «естественных» эта-

лонов метра и килограмма и принять «метр Архива» и «килограмм Архива» в качестве исходных мер метрической системы.

В 1875 г. была созвана дипломатическая конференция, на которой 17 государств, в том числе и Россия, подписали Метрическую конвенцию, в соответствии с которой для стран-участниц были изготовлены образцы метра и килограмма из сплава платины и иридия. Прототип метра представлял собой штриховую меру общей длиной 102 см, на расстояниях 1 см от краев которой были нанесены штрихи, определяющие единицу длины – метр. Прототип килограмма представляет собой гирию в виде прямого цилиндра с закругленными ребрами диаметром и высотой 39 мм. По решению I Генеральной конференции по мерам и весам, состоявшейся в 1889 г. в Париже. Россия получила два прототипа метра (№ 11 и 28) и два прототипа килограмма (№ 12 и 26).

В XIX в. непрерывно укреплялось взаимодействие различных отраслей науки и техники, расширялись международные научные и экономические связи. Это настойчиво требовало единообразия в выражении результатов измерений физических величин. Начались работы по созданию приемлемой для всех системы единиц.

Методику построения такой системы впервые предложил в 1832 г. немецкий ученый К. Гаусс. Его идея заключалась в том, что за основу системы принимают несколько основных независимых друг от друга физических величин, единицы измерения которых выбирают независимо одна от другой и называют основными единицами системы. Все остальные величины называют производными и их единицы измерений устанавливают через основные, используя известные физические законы и соотношения. Эти соотношения в метрологии называют уравнениями связи между величинами.

К. Гаусс по предложенной им методике построил систему на основе трех основных единиц: миллиметра как единицы длины, миллиграмма как единицы массы, секунды как единицы времени. Он назвал свою систему абсолютной. Единицы величин, предложенные К. Гауссом, были неудобны для использования в господствовавших в те времена разделах физики, поэтому его система единиц широкого распространения не получила, но методика построения системы осталась.

В дальнейшем стали появляться системы единиц физических величин, приспособленные для нужд в различных областях науки и техники. В числе других в практике измерений применялись следующие системы.

Система СГС. Была разработана еще в 1861–1870 гг. и введена в мировую практику 1-м Международным конгрессом электриков в 1881 г. Основными единицами системы являются сантиметр, грамм, секунда (СГС). Исторически сложилось так, что в разное время существовало семь разновидностей системы СГС, применявшихся в разных видах измерений. Так, в электрических измерениях применялась систе-

ма СГСЭ, в которой наряду с тремя основными единицами принималась равной безразмерной единице диэлектрическая проницаемость вакуума, что позволяло связать механические величины с электрическими, используя закон Кулона. В магнитных измерениях использовали систему СГСМ, в которой принималась равной безразмерной единице магнитная проницаемость. Размеры электрических и магнитных единиц в этих системах не совпадали друг с другом. Например, единица силы электрического тока в системе СГСЭ имеет значение 1 ед. СГСЭ = $3,33564 \times 10^{-10}$ А, а в системе СГСМ – 1 ед. СГСМ = 10 А. Этому недостатка лишена так называемая симметричная система СГС, в которой одновременно приравнены к единице диэлектрическая и магнитная проницаемости вакуума. Но в «наказание» за это удобство в некоторых уравнениях электромагнетизма появляется дополнительный множитель в виде физической константы – скорости света.

Система СГС (симметричная) отличается стройностью и логичностью построения, она когерентна (согласована) и широко применялась в большинстве областей физики для измерений и расчетов до введения в практику международной системы СИ. Но следует отметить, что многие единицы СГС имеют неудобные для практического использования размеры.

Система МКГСС. Как известно, первый прототип килограмма был принят как единица веса. Применение килограмма как единицы веса, а затем как единицы силы привело в конце XIX в. к созданию системы единиц с тремя основными единицами: метр – единица длины, килограмм-сила – единица силы, секунда – единица времени (система МКГСС). Эта система применялась в механике и в технике. Одной из причин популярности системы явилось удобство выражения сил в единицах веса и удобный для практики размер основной единицы силы.

Основным недостатком системы является ее несогласованность (некогерентность) с единицами электрических и магнитных величин, так что для перехода в расчетах от механических величин к электрическим требуется переходный множитель. Кроме того, единица массы системы МКГСС связана с единицей массы системы СИ через ускорение свободного падения, 1 ед. МКГСС $\approx 9,81$ кг.

Система МТС. Впервые была установлена во Франции. Основными единицами системы МТС являются: метр – единица длины, тонна – единица массы и секунда – единица времени. Выбор тонны в качестве единицы массы казался удачным, так как достигалось соответствие между единицами длины, объема и массы (с точностью, достаточной для многих технических расчетов, 1 т соответствует массе 1 м^3 воды).

Абсолютная практическая система электрических единиц. Была установлена 1-м Международным конгрессом электриков в 1881 г. в качестве производной от системы СГСМ и предназначалась для практических измерений с целью приближения к практике размеров единиц

электрических и магнитных величин. В абсолютной практической системе электрические и магнитные единицы были образованы умножением единиц системы СГСМ на соответствующие степени числа 10. Так появились распространенные ныне единицы электрических величин: вольт, ампер, ом, фарада. На 2-м Международном конгрессе электриков, состоявшемся в 1889 г., к этим единицам добавились джоуль, ватт, квадрант (впоследствии замененный на генри).

Система МКСА. Основными единицами системы являются метр, килограмм, секунда и ампер. Введение в число основных единиц единицы силы тока позволило согласовать механические единицы: метр, килограмм, секунду и др. – с практическими электрическими единицами: вольт, ом, ватт и т.д. В настоящее время система МКСА является составной частью международной системы единиц СИ.

1.6. Международная система единиц

Международная система единиц (международное сокращенное наименование SI, а в русской транскрипции СИ) построена на основе системы величин LMTUJN. Решение о создании практической международной системы единиц было принято в 1948 г. на IX Генеральной конференции по мерам и весам (ГКМВ). В 1960 г. проект Международной системы единиц, основанной на шести основных единицах, был утвержден. В 1971 г. к единицам СИ была добавлена седьмая основная единица – количество вещества – моль. Международная организация по стандартизации (ISO) издала международные стандарты ISO 31: 1992 «Величины и единицы» в 14 частях и ISO 1000: 1992 «Единицы СИ и рекомендации по использованию их кратных и некоторых других единиц».

Принципы построения СИ:

- СИ базируется на семи основных единицах, размеры которых устанавливаются независимо друг от друга.
- Производные единицы образуются с помощью простейших уравнений связи между величинами – определяющих уравнений, в которых размеры величин приняты равными единицам СИ. Для величины каждого вида имеется только одна единица СИ.
- Производные единицы вместе с основными единицами формируют когерентную систему.
- Наряду с единицами СИ к применению допущено ограниченное число внесистемных единиц (вне СИ – внесистемных) из-за их практической важности и повсеместного применения в различных областях деятельности.
- Единицы СИ или внесистемные единицы могут применяться с приставкой, что означает умножение единицы на десять, возведенное в определенную степень. Единицы, содержащие приставку, называются

десятичными кратными или дольными в зависимости от того, является показатель степени положительным или отрицательным.

Основными единицами Международной системы являются:

метр (международное обозначение m ; русское – м; размерность L) – единица длины, равная пути, пройденному в вакууме светом за интервал времени $1/299\,792\,458$ с (одоброено на XVII ГКМВ, 1983 г., резолюция 1);

килограмм (международное обозначение kg ; русское – кг; размерность M) – единица массы, равная массе международного прототипа килограмма (одоброено на III ГКМВ, 1901 г., резолюция 3);

секунда (международное обозначение s ; русское – с; размерность T) – единица времени, равная $9\,192\,631\,770$ периодам излучения, соответствующего переходу между двумя сверхтонкими уровнями основного состояния атома цезия-133 (одоброено на XIII ГКМВ, 1967 г., резолюция 1);

ампер (международное обозначение A ; русское – А; размерность I) – единица силы электрического тока. Ампер равен силе неизменяющегося тока, который при прохождении по двум параллельным прямолинейным проводникам бесконечной длины и ничтожно малой площади кругового поперечного сечения, расположенным в вакууме на расстоянии 1 м один от другого, вызвал бы на каждом участке проводника, длиной 1 м, силу взаимодействия, равную 2×10^{-7} Н (одоброено на IX ГКМВ, 1948 г.);

кельвин (международное обозначение K ; русское – К; размерность θ) – единица термодинамической температуры, равная $1/273,16$ части термодинамической температуры тройной точки воды (одоброено на XIII ГКМВ, 1967 г., резолюция 4);

кандела (международное обозначение cd ; русское – кд; размерность J) – единица силы света. Кандела есть сила света в заданном направлении источника, испускающего монохроматическое излучение частотой 540,1012 Гц, электрическая сила света которого в этом направлении составляет $1/683$ Вт/ср (одоброено на XVI ГКМВ, 1979 г., резолюция 3);

моль (международное обозначение mol ; русское – моль; размерность N) – единица количества вещества. Моль есть количество вещества системы, содержащей столько же структурных элементов, сколько содержится атомов в углероде-12 массой 0,012 кг. При применении моля структурные элементы должны быть специфицированы и могут быть атомами, ионами, электронами и другими частицами или специфицированными группами частиц (одоброено на XIV ГКМВ, 1971 г., резолюция 3).

Несмотря на то, что названия единиц в разных языках различны, их обозначения являются международными, по рекомендациям ISO 31-0:1992 никакие другие обозначения единиц, кроме международных, использовать не следует. Тем не менее, ГОСТ 8.417 установил два вида буквенных обозначений величин: международное (с использованием букв латинского или греческого алфавита) и русское (с использованием букв русского алфавита). Но при договорно-правовых отношениях сотрудничества с зарубежными странами, при участии в деятельности

международных организаций, а также в поставляемой за границу вместе с экспортной продукцией технической и другой документации применяются международные обозначения единиц.

В систему СИ были введены две дополнительные единицы – радиан истерадиан;

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

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

Во всех системах единиц плоский φ и телесный Ω углы вводятся посредством уравнений

$$\varphi = l/R; \Omega = S/R^2,$$

где l – длина дуги, вырезаемой центральным плоским углом на окружности с радиусом R ;

S – площадь, вырезаемая центральным телесным углом на шаре с радиусом R . В соответствии с этими определениями у обоих углов нет размерности в любой системе единиц:

$$\dim \varphi = \dim l / \dim R = L \times L^{-1} = 1; \dim \Omega = \dim S / \dim R^2 = L^2 \times L^{-2} = 1,$$

то есть их единицы не связаны с основными единицами. Поэтому они и были выделены в отдельную группу, но решением XX ГКМВ в 1995 г. радиан и стерадиан перестали быть дополнительными единицами СИ (этот класс ликвидировали) и включены в число безразмерных производных единиц. Дальнейшее развитие метрологии уточнит судьбу радиана и стерадиана.

Система СИ является когерентной. Если уравнение связи содержит числовой коэффициент, отличный от 1, то для образования когерентной производной единицы СИ в правую часть подставляют величины со значениями в единицах СИ, дающими после умножения на коэффициент общее числовое значение, равное 1.

Пример 1.4. Если для образования единицы энергии используют уравнение $E = \frac{1}{2} mv^2$, где E – кинетическая энергия, m – масса материальной точки, v – скорость движения точки, то когерентную единицу СИ образуют, например, следующим образом:

$$[E] = 0,5(2[m][v]^2) = 0,5(2 \text{ кг})(1 \text{ м/с})^2 = 1 \text{ кг} \times \text{м/с}^2 \times \text{м} = 1 \text{ Н} \times \text{м} = 1 \text{ Дж}$$

или

$$[E] = 0,5(1 \text{ кг})(\sqrt{2} \text{ м/с})^2 = 1 \text{ кг} \times \text{м/с}^2 \times \text{м} = 1 \text{ Н} \times \text{м} = 1 \text{ Дж}.$$

Следовательно, единицей энергии СИ является джоуль, равный ньютон-метр. В этих примерах джоуль равен кинетической энергии тела

массой 2 кг, движущегося со скоростью 1 м/с, или же тела массой 1 кг, движущегося со скоростью $\sqrt{2}$ м/с.

Одновременно с принятием Международной системы единиц XI ГКМВ приняла 12 десятичных кратных и дольных приставок, к которым впоследствии были добавлены новые. Приставка, объединенная с единицей, означает, что единица умножена на десять в целой степени. Новая единица называется кратной или дольной. В табл. 1.1 приведены 20 приставок, которые используются в СИ.

Таблица 1.1

Множители и приставки для образования десятичных кратных и дольных единиц и их наименований

Множитель	Приставка, СИ			
	Наименование		Обозначение	
	русская	международная	русское	международное
10^1	дека	deca	да	da
10^2	гекто	hecto	г	h
10^3	кило	kilo	к	k
10^6	мега	Mega	М	M
10^9	гига	Giga	Г	G
10^{12}	тера	Tera	Т	T
10^{15}	пета	Peta	П	P
10^{18}	экса	Exa	Э	E
10^{21}	зетта	Zetta	З	Z
10^{24}	иотта	Yotta	И	Y
10^{-1}	деци	deci	д	d
10^{-2}	санти	centi	с	c
10^{-3}	милли	milli	м	m
10^{-6}	микро	micro	мк	μ
10^{-9}	нано	nano	н	n
10^{-12}	пико	pico	п	p
10^{-15}	фемто	femto	ф	f
10^{-18}	атто	atto	а	a
10^{-21}	зепто	zepto	з	z
10^{-24}	иокто	yocto	и	y

Приставки используются для того, чтобы избежать больших или малых числовых значений, но следует обращать внимание на то, что дольные и кратные единицы не являются когерентными единицами СИ. Чтобы использовать только когерентные единицы, в процессе вычислений все величины необходимо выражать в единицах СИ, а кратные и дольные единицы рекомендуется подставлять только в конечный результат.

Из многообразия кратных и дольных единиц, которые могут быть образованы при помощи приставок, выбирают единицу, позволяющую получить числовые значения, приемлемые на практике. Кратные и дольные единицы выбирают таким образом, чтобы числовые значения величины находились в диапазоне 01–1000.

Приставки «гекто», «деци», «дека», «санتي» должны использоваться, когда применение других приставок неудобно. Присоединение к наименованию единицы двух и более приставок подряд не допускается. Например, вместо наименования единицы микромикрофарад следует писать пикофарад.

В связи с тем, что наименование основной единицы – килограмма – содержит приставку «кило», для образования кратных и дольных единиц массы используется дольная единица грамм и приставки необходимо присоединять к слову «грамм»: например, миллиграмм (мг) вместо микрокилограмм (мккг). Дольную единицу массы – грамм – допускается применять без присоединения приставки.

Единицы СИ охватывают практически все области науки и техники. Однако ГКМВ было признано использование некоторых внесистемных единиц наравне с единицами СИ из-за их практической важности. Некоторые единицы, допускают к применению наравне с единицами СИ (табл. 1.2).

Таблица 1.2

Внесистемные единицы, допускаемые к применению наравне с единицами СИ

Единица				Наименование величины
Наименование	Обозначение		Соотношение с единицами СИ	
	Международное	Русское		
1	2	3	4	5
тонна	t	т	10 ³ кг	масса
минута	min	мин	60 с	время
час	h	ч	3600 с	
сутки	d	сут	86 400 с	

1	2	3	4	5
градус минута секунда	...° ...' ..."	...° ...' ..."	($\rho/180$)рад ($\rho/10\ 800$)рад ($\rho/648\ 000$)рад	Плоский угол
литр	л	л	10^{-3} м^3	Объём
непер бел	Np B	Np B	$1Np=1$ $1B=(1/2)\ln 10Np$	Уровень

Если единица, к которой присоединяется приставка, образована как произведение или отношение единиц, приставку присоединяют к наименованию первой единицы. Например, единицу паскаль-секунда на метр ($\text{Па}\cdot\text{с}/\text{м}$) с приставкой правильно писать так: килопаскаль-секунда на метр ($\text{кПа}\cdot\text{с}/\text{м}$) – и неправильно паскаль*килосекунда на метр ($\text{Па}\cdot\text{кс}/\text{м}$). Для ряда единиц, получивших широкое распространение, делается исключение и приставка применяется во втором множителе, например, тонна-километр ($\text{т}\cdot\text{км}$), ампер на квадратный миллиметр ($\text{А}/\text{мм}^2$).

При образовании производных единиц СИ, как правило, полученная единица имеет наименование, состоящее из наименований соответствующих основных единиц, например: метр в секунду ($\text{м}/\text{с}$), метр в секунду в квадрате ($\text{м}/\text{с}^2$). Из практических соображений некоторым производным единицам дали специальные наименования и обозначения по именам ученых, сокращенное наименование таких единиц пишут с прописной буквы, например: один ампер – 1 А. При склонении наименований производных единиц, состоящих из произведения единиц, изменяют только последнее наименование и относящееся к нему прилагательное, например: килограмм-метра в квадрате, ньютон-секунды и т.д.

Нельзя в тексте давать обозначение единицы без указания числового значения величины. Например, будет неверным выражение: «Вычисления ведутся в %». Правильно: «Вычисления ведутся в процентах».

1.7. Другие системы единиц, используемые в практике измерений. Внесистемные единицы

Несмотря на то, что Международная система единиц имеет несомненные преимущества по сравнению со всеми существовавшими до нее системами, так как она охватывает все области измерений и позволяет образовывать единицы для любых физических величин во всех

областях науки и техники, тем не менее в ряде случаев удобнее на практике использовать другие системы единиц.

В некоторых разделах теоретической физики применяют системы единиц, основанные на атомных постоянных, называемые системами естественных единиц (системы Планка, Хартри, релятивистская система единиц). Подобную систему впервые предложил М. Планк. В его системе в качестве основных единиц выбраны четыре физические константы: гравитационная постоянная, скорость света, постоянная Больцмана и постоянная Планка, – которым по определению придано значение, равное единице. Система Планка не получила распространения, причем не потому, что входящие в нее единицы очень далеки от практики, а потому, что в этой системе уравнения теоретической физики не получают упрощения.

В настоящее время в теоретической физике применяют систему Хартри (система атомных единиц) и релятивистскую систему единиц. Система Хартри, как и система Планка, содержит четыре основные единицы: заряд и массу электрона, постоянную Планка, радиус первой бортовской орбиты атома водорода – и применяется преимущественно в нерелятивистской квантовой механике при решении задач, связанных со структурой атомов и молекул и процессами их взаимодействия. Основное преимущество этой системы заключается в значительном упрощении ряда основных уравнений квантовой механики, например, уравнения Шредингера.

В релятивистской системе единиц скорость света, масса электрона и постоянная Планка приравнены к единице. Эта система используется преимущественно в квантовой электродинамике.

Следует упомянуть еще одну систему, построенную на физических константах и предложенную польским ученым Б. Людовичи. В его системе за основу приняты три разных поля: гравитационное, электрическое и магнитное. В соответствии с этим в качестве основных единиц выбраны следующие три константы: гравитационная постоянная, диэлектрическая проницаемость вакуума и магнитная проницаемость вакуума. В качестве четвертой основной единицы выбрана атомная константа – электрический заряд электрона.

Системы естественных единиц опираются на естественные, природные, а не условные, выбранные научной общественностью, единицы. По этой причине они неразрушимы, неизменны во времени и независимы от местоположения. Они применяются в соответствующих областях физики, однако мало пригодны для применения в макромире. Так, в системе Хартри единица длины равна $5,292 \times 10^{-11}$ м, а единица массы $9,109 \times 10^{-31}$ кг, в системе Людовичи единица длины составляет $4,88 \times 10^{-36}$ м, единица массы $6,60 \times 10^{-9}$ кг.

С метрологической точки зрения эти системы обладают еще одним недостатком, заключающимся в том, что значения некоторых физических констант известны с недостаточной точностью и их уточнение может привести к существенному изменению соотношений между размерами единиц.

В англоязычных странах традиционно применяется (и будет применяться еще долгие годы) система единиц «фут – фунт – секунда», основными единицами которой являются следующие: фут, равный 0,3048 м; фунт, равный 0,45359237 кг; секунда; ампер; градус Ренкина ($^{\circ}\text{Ra} = 5/9\text{ K}$); кандела. Определение секунды, ампера и канделы в этой системе совпадают с определениями, принятыми в Международной системе СИ.

Кроме отмеченных систем единиц физических величин, отличных от Международной системы единиц СИ, на практике (в быту и в некоторых видах измерений) применяют большое количество внесистемных единиц, как допущенных к применению системой СИ, так и не допущенных.

Значение атмосферного давления чаще всего указывают в миллиметрах ртутного столба, хотя в СИ существует единица давления паскаль, равный ньютону на квадратный метр. В нашей стране в середине 80-х гг. прошлого века делалась попытка передавать по радио атмосферное давление в гектопаскалях, и уже многие привыкли к тому, что нормальное атмосферное давление составляет 1013 гПа. Попытка вскоре была «временно отложена» из-за большого количества протестов со стороны широких кругов населения и даже специалистов. Как оказалось, в миллиметрах ртутного столба измеряют не только атмосферное давление, но и кровяное давление человека, и всем знакомые «120 на 80» очень сложно перевести в другие единицы не только больным, но и специалистам-медикам.

Такой же неудачей закончилась попытка революционной Франции конца XVIII в. ввести в обращение новый календарь и новые часы. В то время, наряду со введением новых единиц – метра и килограмма, было предложено ввести десятичную систему и при исчислении времени: год разделить на десять месяцев, неделю – на 10 дней, день – на 10 часов, час – на 100 минут и минуту – на 10 секунд. Были изготовлены новые календари и часы, показывающие новое «метрическое» время. Тем не менее традиция делить сутки на 24 часа, а час – 60 минут, заведенная еще в Древнем Вавилоне, благодаря психологической инерции людей победила. Переход к стоминутному часу означал бы для всего мира переделку всех географических, топографических, морских и звездных карт, астрономических и морских инструментов, переработку справочников, расписаний, замену всех часов и т.д.

Таким образом, не все единицы измерений, применяемых на практике, соответствуют десятичной метрической системе. Мощность двигателей автомобилей указывают в лошадиных силах, а не в киловаттах, скорость движения – в километрах в час, а не в метрах в секунду, показания счетчика электроэнергии записывают в киловатт-часах, а не в кило- или мегаджоулях.

В астрономии для выражения расстояний используют астрономическую единицу, парсек и световой год, в физике элементарных частиц энергию указывают в электрон-вольтах, в технике применяют единицу давления атмосферу, в оптике – диоптрию как единицу оптической силы, ювелиры – карат как единицу массы, моряки – узел и милю как единицы скорости и длины и т.п. Для технических и бытовых измерений широко применяют единицы дольные или кратные от единиц системы СИ, но имеющие собственное наименование, такие, как единица объема литр, единицы длины микрон и ангстрем, единицы площади ар и гектар, единицы массы центнер и тонна.

Внесистемные единицы приходят в наш язык из зарубежных стран. Мы уже привыкли к тому, что количество нефти указывают в баррелях, бензина – в галлонах, драгоценных металлов – в унциях. Даже размер экрана телевизора стали указывать в английских дюймах вместо привычных когда-то сантиметров.

1.8. Классификация измерений

В литературе по метрологии встречается довольно большое количество вариантов классификации видов измерений. Приведем лишь основные из них.

По числу выполненных наблюдений или снятых показаний средств измерений все измерения делят на однократные и многократные.

Однократным называют измерение, выполненное один раз. Во многих случаях на практике выполняются именно однократные измерения, если результат измерений удовлетворяет условиям конкретной измерительной задачи.

Многократным называют измерение физической величины одного размера, результат которого получен из нескольких следующих друг за другом измерений, то есть состоящее из ряда однократных измерений.

Многократное измерение выполняют в случае, когда случайная составляющая погрешности однократного измерения может превысить требуемое по условиям задачи значение. Выполнив ряд последовательных отдельных измерений (наблюдений или показаний), получают одно многократное измерение, погрешность которого может быть уменьшена методами математической статистики.

В зависимости от способа получения результата измерений или числового значения измеряемой величины все измерения делят на **прямые, косвенные, совместные и совокупные**.

Прямыми называют измерения, в которых искомое значение физической величины находят непосредственно из опытных данных сравнением данной величины с мерой этой величины или из отсчета показаний средства измерений, градуированного в единицах этой величины.

Примерами прямых измерений могут быть измерения длины линейкой, массы – при помощи весов, электрического напряжения – вольтметром и т.д. Прямые измерения являются основой для более сложных измерений.

Косвенными называют измерения, в которых значение величины находят на основании известной зависимости между этой величиной и другими величинами, подвергаемыми прямым измерениям.

Косвенные измерения выполняют тогда, когда прямые измерения данной физической величины по каким-либо причинам затруднены или даже невозможны или когда косвенные измерения дают более точный результат по сравнению с прямыми.

В качестве примеров косвенных измерений можно привести нахождение объема тела путем прямых измерений его геометрических размеров или определение температуры в некотором объеме по изменению значения сопротивления терморезистора. Более точный результат косвенные измерения дают, например, при нахождении очень малых значений электрического сопротивления (микроомы) прямыми измерениями силы тока и падения напряжения на сопротивлении и дальнейшим расчетом его значения по известному закону Ома.

Совместными называют производимые одновременно (прямые или косвенные) измерения двух или нескольких разноименных величин для установления функциональной зависимости между ними (или нахождения значения измеряемой величины при известной зависимости между этой величиной и другими величинами, влияющими на ее размер).

Примерами совместных измерений могут быть измерения длины физического объекта в зависимости от температуры окружающего воздуха или сопротивления изоляции в зависимости от температуры и влажности среды. Во многих видах измерений следует контролировать условия применения средств измерений, влияющие на их метрологические характеристики. Так, в электрических измерениях высокой точности следует контролировать температурный режим в термостате с установленными в нем нормальными элементами или мерами сопротивления, на измерения магнитных характеристик вещества могут повлиять внешние электромагнитные поля и т.д.

Для обеспечения требуемой точности измерений физической величины в таких случаях следует одновременно с основной величиной измерять влияющие на результат измерения величины.

Совокупными называют измерения, в которых значения измеряемых величин находят решением системы уравнений, составленной по данным повторных измерений нескольких одноименных величин при различных сочетаниях этих величин.

Для определения значений искомых величин число уравнений должно быть не меньше числа величин. Так, совокупными являются измерения, при которых массы отдельных гирь набора находят по известной массе одной из них и по результатам прямых сравнений масс различных сочетаний гирь. Совокупными являются также измерения при передаче размера единицы электродвижущей силы (ЭДС) групповой мере ЭДС на основе насыщенных нормальных элементов по известным значениям ЭДС некоторых из них.

По характеру зависимости измеряемой величины от времени все измерения разделяют на **статические** и **динамические**.

Статическими называют измерения, при которых измеряемая физическая величина принимается за неизменную, по крайней мере на время, необходимое для измерений.

Статическими являются измерения размеров объекта, его массы, измерения режимов и параметров электрической цепи в установившемся режиме. Статическими считают все измерения, при которых скорость изменения величины не вносит в результат измерения дополнительную составляющую погрешность, обусловленную инерционными свойствами средства измерений.

Динамическими называют измерения, при которых измеряемая величина изменяется со скоростью, превышающей возможности средства измерений отслеживать изменение входной измеряемой величины.

В этом случае возникает дополнительная динамическая составляющая погрешности, обусловленная инерционными свойствами измерительного прибора. Примерами динамических измерений являются измерения мгновенных значений быстро протекающих процессов: пульсаций, вибраций, импульсов, переходных процессов в электрических цепях.

Следует отметить, что измерение одной и той же величины различными средствами измерений, имеющими различные инерционные свойства, может оказаться как динамическим, так и статическим.

По уровню точности все измерения делят на измерения **максимально возможной точности, контрольные и технические**.

Измерения **максимально возможной точности**, достижимой при существующем уровне науки и техники, выполняют, прежде всего, в

метрологических центрах при создании и эксплуатации исходных эталонов, определяющих точность всех нижестоящих эталонов и рабочих средств измерений. Такие измерения необходимы также при некоторых физических экспериментах, например, при определении значений физических констант, многих стандартных справочных данных и т.д.

Контрольные (контрольно-поверочные, метрологические) измерения, погрешность которых не должна превышать некоторое заранее заданное контрольное значение, выполняют, например, при поверке или калибровке средств измерений. В этом случае погрешность эталона должна быть в определенное число раз меньше погрешности поверяемого или калибруемого средства измерений. Соотношения погрешностей поверяемого прибора и эталона устанавливаются в поверочных схемах и методиках поверки.

Технические (рабочие) измерения выполняют в промышленности и в технике – везде, где погрешность измерений определяется применяемыми средствами измерений. Такие средства измерений называют рабочими и значения их метрологических характеристик достаточны для решения поставленной перед ними задачи.

По особенностям обработки результатов все измерения делят на **равноточные** и **неравноточные**.

Равноточными измерениями называют ряд измерений какой-либо величины, выполненных одинаковыми по точности средствами измерений в одних и тех же условиях и с одинаковой тщательностью.

Неравноточными измерениями называют ряд измерений какой-либо величины, выполненных различающимися по точности средствами измерений и/или в разных условиях.

Прежде чем обрабатывать ряд измерений, сначала следует убедиться в том, что все измерения из данного ряда являются равноточными. Если установлено, что ряд измерений является неравноточным, обрабатывать такой ряд следует с учетом веса отдельных измерений, входящих в ряд.

Следует также рассмотреть **принцип** и **метод** измерений.

Принцип измерений – физическое явление или совокупность физических явлений, положенные в основу измерения.

Метод измерений – совокупность приемов сравнения измеряемой физической величины с ее единицей в соответствии с выбранным принципом измерений.

Метод измерений обычно обусловлен устройством средства измерений. Так, измерение массы тела с использованием силы тяжести путем взвешивания – это принцип измерения, а взвешивание тела с помощью пружинных или рычажных весов – это методы измерения.

Какой из этих двух методов измерений может быть применен на Луне, если учесть различие в значениях силы тяжести и то, что весы градуированы в земных условиях? Очевидно, что в тех условиях могут быть использованы только рычажные весы, ведь жесткость пружины в пружинных весах не изменилась и в условиях другого значения силы тяжести пружинные весы будут давать другие показания. И еще один вопрос: какой метод измерений может быть использован в безвоздушном пространстве в условиях невесомости? Нетрудно догадаться, что в невесомости отсутствует сила тяжести и там невозможно применить не только оба метода, но и сам принцип измерений. В таких условиях следует найти другой принцип измерений.

Контрольные вопросы

1. Чем отличается физическая величина от нефизической?
2. Приведите основное уравнение измерения.
3. Какие физические величины не могут быть измерены?
4. Что такое шкала физических величин?
5. Дайте определение отношению эквивалентности, отношению порядка и отношению аддитивности.
6. Дайте определение размерности физической величины.
7. Что называется системой физических величин?
8. Чем отличаются основные физические величины от производных?
9. Как определяется размерность производных физических величин?
10. Что такое единица измерения физической величины?
11. Чем отличается когерентная система единиц от некогерентной?
12. Чем отличается системная единица физической величины от внесистемной?
13. Что называется классом систем единиц физических величин?
14. Приведите примеры построения Международной системы единиц.
15. Перечислите основные единицы Международной системы.
16. В каких случаях выполняется многократное измерение физической величины?
17. Какие измерения называют прямыми?
18. В каких случаях используют косвенные измерения?
19. В каких случаях используют совместные измерения?
20. В чем отличие совокупных измерений от совместных?
21. В чем отличие статических измерений от динамических?
22. Как делятся измерения по уровню точности?
23. Сформулируйте постулаты теории измерений.

Практическая работа Единицы физических величин

Цель работы: освоить перевод основных и производных единиц в кратные, дольные единицы и наоборот.

Выполнение работ

В соответствии с вариантом задания (см. Приложение) перевести заданные единицы. Результат занести в табл. 1.

Таблица 1

Результаты выполнения работы

Задано	Перевести в единицы
1.	
2.	
3.	
4.	
5.	

Содержание отчета

1. Наименование и цель работы.
2. Таблица.
3. Ответы на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы

1. Какая метрическая система единиц измерения используется в настоящее время в большинстве стран мира?
2. Укажите достоинства используемой в России метрической системы единиц физических величин.
3. Что такое единица физической величины?
4. Перечислите основные единицы системы СИ.
5. Назовите производные единицы системы СИ.
6. Какие дополнительные единицы включены в систему СИ? Сколько их?
7. Какой способ образования кратных и дольных единиц принят в используемой в России метрической системе единиц?
8. Наименования каких единиц пишутся с заглавной буквы?
9. Наименования каких единиц пишутся с маленькой буквы?
10. Наименование каких приставок пишется с заглавной буквы и почему?
11. Наименование каких приставок пишется с маленькой буквы?

12. Какую степень (положительную или отрицательную) имеют кратные единицы?

13. Какую степень (положительную или отрицательную) имеют дольные единицы?

В приложении приведены варианты заданий по практической работе.

Приложение

Вариант	ДАНО	Перевести
1	2	3
1	$136 \cdot 10^8$ мкВт	кВт
	$14,7 \cdot 10^{-4}$ нФ	пФ
	$2,48 \cdot 10^4$ пс	нс
	0,0015 ГГц	МГц
	$0,41 \cdot 10^{-7}$ ГОм	кОм
2	$1,09 \cdot 10^4$ кГц	МГц
	$0,421 \cdot 10^{-2}$ Гн	мГн
	$0,004 \cdot 10^{-2}$ кВ	мВ
	$3,88 \cdot 10^{-8}$ с	нс
	$0,56 \cdot 10^7$ Ом	МОм
3	$18100 \cdot 10^{-7}$ МГц	Гц
	$0,143 \cdot 10^{-2}$ мкФ	нФ
	$3020 \cdot 10^{-8}$ мГн	нГн
	$0,0091 \cdot 10^5$ Ом	кОм
	$120,1 \cdot 10^{-7}$ с	мкс
4	$0,0024 \cdot 10^{-2}$ мА	мкА
	$0,042 \cdot 10^3$ В	кВ
	$0,051 \cdot 10^{-8}$ ГГц	Гц
	$0,53 \cdot 10^7$ нГн	мГн
	$0,0025 \cdot 10^{-4}$ с	мкс
5	$8,1 \cdot 10^{-8}$ ГГц	Гц
	$2,302 \cdot 10^{-10}$ кВ	мкВ
	$1350 \cdot 10^8$ Ом	ГОм
	$4,02 \cdot 10^{-7}$ А	мкА
	$0,031 \cdot 10^{-4}$ Вт	мкВт

1	2	3
6	$32,5 \cdot 10^{-8}$ МВт	мВт
	$4,15 \cdot 10^{-4}$ нФ	пФ
	$0,217 \cdot 10^{-3}$ ГОм	кОм
	$9,31 \cdot 10^{-5}$ кВ	мВ
	1,41 м	мм
7	$7,35 \cdot 10^{-5}$ ГГц	кГц
	$5,42 \cdot 10^{-7}$ МВт	мВт
	$7,35 \cdot 10^5$ кОм	ГОм
	$0,024 \cdot 10^4$ кГц	МГц
	$3,28 \cdot 10^{-4}$ мГн	мкГн
8	$485,2 \cdot 10^{-8}$ В	мкВ
	$1852 \cdot 10^2$ мм	км
	$22,5 \cdot 10^{-7}$ МГц	Гц
	1 рад	град
	$8,1 \cdot 10^4$ мГн	Гн
9	$2300 \cdot 10^{-7}$ МГц	Гц
	932·108 пс	с
	$0,785 \cdot 10^{-5}$ А	мкА
	$41,3 \cdot 10^5$ мм	км
	180 град	рад
10	$62 \cdot 10^4$ нс	мкс
	$53 \cdot 10^{-5}$ МГц	Гц
	$0,065 \cdot 10^{-4}$ МВт	Вт
	$2400 \cdot 10^2$ мВ	кВ
	90 град	рад
11	10445 пФ	мкФ
	$0,982 \cdot 10^{-7}$ МВт	мВт
	$0,314 \cdot 10^5$ нс	мкс
	360 град	рад
	$2400 \cdot 10^{-8}$ мВт	Вт

Продолжение прил.

1	2	3
12	$8,1 \cdot 10^{-8}$ мГн	нГн
	$4800 \cdot 10^{-3}$ мс	пс
	$0,053 \cdot 10^4$ МГц	ГГц
	$28100 \cdot 10^7$ Ом	ТОм
	$36 \cdot 10^2$ мс	с
13	$495 \cdot 10^{-5}$ кВт	мВт
	$9,7 \cdot 10^4$ пФ	нФ
	$0,007 \cdot 10^{-7}$ ТГц	кГц
	$171,5 \cdot 10^{-8}$ км	мм
	$285,1 \cdot 10^2$ мс	с
14	$5,32 \cdot 10^2$ МВт	ГВт
	$0,47 \cdot 10^{-7}$ мкФ	пФ
	$0,36 \cdot 10^{-5}$ кОм	МОм
	3,14 рад	град
	$0,27 \cdot 10^{10}$ нс	с
15	$4530 \cdot 10^{-8}$ ГГц	кГц
	$0,051 \cdot 10^4$ МОм	ГОм
	$2500 \cdot 10^{-7}$ с	мкс
	$47 \cdot 10^2$ пФ	нФ
	$0,32 \cdot 10^{-4}$ мА	мкА
16	$18 \cdot 10^4$ мкс	нс
	$23 \cdot 10^5$ кГц	ГГц
	$8,31 \cdot 10^{-7}$ МВт	мВт
	$0,49 \cdot 10^8$ кОм	ГОм
	$6,25 \cdot 10^{-7}$ мкФ	пФ
17	$0,075 \cdot 10^{-4}$ мА	нА
	$34,1 \cdot 10^5$ пФ	мкФ
	$0,49 \cdot 10^{-8}$ кВ	мкВ
	$8,76 \cdot 10^7$ мкс	с
	90 град	рад

Окончание прил.

1	2	3
18	$76,1 \cdot 10^{-7}$ кВт	мВт
	$138 \cdot 10^2$ нФ	мкФ
	$56 \cdot 10^{-5}$ МОм	кОм
	$7451 \cdot 10^5$ нс	с
	$0,023 \cdot 10^{-2}$ м	мм
19	$133 \cdot 10^{-5}$ МГц	кГц
	$47 \cdot 10^4$ нГн	мкГн
	1,57 рад	град
	$0,251 \cdot 10^{-7}$ МВт	мВт
	$0,006 \cdot 10^{-2}$ А	мкА
20	$38,7 \cdot 10^5$ мВт	МВт
	$0,0042 \cdot 10^{-7}$ кВ	нВ
	$129,1 \cdot 10^{-4}$ нс	пс
	$0,0045 \cdot 10^{-2}$ мВ	мВ
	135 град	рад

Глава 2. ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ

- 2.1. Классификация погрешностей.
- 2.2. Правила округления результатов измерений и значений погрешности.
- 2.3. Случайные погрешности и их вероятностное описание. Понятие случайной величины.

2.1. Классификация погрешностей

К настоящему времени наибольшее развитие получила теория измерений, основанная на понятии «погрешность» и являющаяся основой для подавляющего количества действующих в России нормативных документов в области метрологии.

Любое измерение есть процесс сравнения. Процедура нахождения отношения размера физической величины к размеру той же величины, принятому за единицу, может быть записана в математической форме:

$$\frac{Q}{[Q]} = x,$$

где Q – размер измеряемой физической величины; $[Q]$ – размер физической величины, принятый за единицу. Уравнение называют уравнением измерения.

Теоретически отношение двух размеров должно быть вполне определенным неслучайным числом q . На практике сравнение этих размеров между собой происходит в условиях влияния множества случайных и неслучайных обстоятельств, точно учесть которые невозможно. Поэтому при измерении одной и той же величины постоянного размера результат сравнения x получается все время разным. Значение физической величины, полученное в результате сравнения, является оценкой физической величины в принятых для измерения данной величины единицах. Истинное значение измеряемой величины существует, но определить его невозможно. Однако это понятие введено в теорию измерений, при этом различают истинное и действительное значения измеряемой физической величины и результат измерения. Далее будут приводиться термины и определения, установленные в РМГ 29-99 «ГСИ. Метрология. Основные термины и определения.

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

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

Результат измерения – значение величины, полученное путем ее измерения. Результат измерения представляет собой приближенную оценку истинного значения величины.

Качество средств и результатов измерений характеризуют, указывая их погрешности. **Погрешность результата измерения** – это разница между результатом измерения X и истинным (действительным) значением Q измеряемой величины:

$$\Delta = X - Q.$$

Погрешность указывает границы неопределенности значения измеряемой величины. Истинное значение применяют при решении теоретических задач метрологии. На практике пользуются действительным значением величины. За действительное значение при однократных измерениях часто принимают значение, полученное с помощью более точного, эталонного средства измерений, при многократных измерениях – среднее арифметическое ряда отдельных измерений (показаний), входящих в данный ряд. В зависимости от решаемой задачи могут использоваться и другие значения.

Погрешность средства измерений – разность между показанием средства измерений (значением величины, полученным при помощи этого средства) и истинным (действительным) значением. Поскольку истинное значение величины неизвестно, на практике вместо него пользуются значением величины (действительным), полученным при помощи более точного средства измерений.

По способу выражения различают абсолютную, относительную и приведенную погрешность. **Абсолютная погрешность** – это погрешность, выраженная в единицах измеряемой величины и определяемая согласно выражению. Абсолютная погрешность сама по себе не может служить показателем точности измерений, так как одно и то же ее значение, например $\Delta = 0,05$ мм, при $X = 100$ мм соответствует довольно высокой точности измерений, а при $X = 1$ мм – низкой. Поэтому вводится понятие относительной погрешности.

Относительная погрешность – это погрешность, выраженная отношением абсолютной погрешности к действительному значению. Во многих случаях она является более наглядной характеристикой оценки

качества результата измерения. Относительную погрешность δ находят из выражения

$$\delta = \frac{x - Q}{Q} = \frac{\Delta}{Q}$$

и выражают в относительных единицах или в процентах (в последнем случае в формуле к правой части добавляется множитель 100 %).

Приведенная погрешность – это относительная погрешность, в которой абсолютная погрешность средства измерений отнесена к условно принятому значению Q_n , постоянному на всем диапазоне измерений или его части:

$$\gamma = \frac{\Delta}{Q_n}$$

Условно принятое значение величины Q_n называют нормирующим значением. За нормирующее значение часто принимают верхний предел измерений. Указание погрешности измерений в виде относительной приведенной погрешности говорит о том, что абсолютная погрешность измерений Δ постоянна на всем диапазоне (поддиапазоне) измерений.

Из определения погрешности не следует, что она состоит из каких-либо составляющих. Деление погрешности на составляющие введено для удобства обработки результатов измерений.

Погрешность не является постоянной величиной. Установлено, что одна ее часть проявляется как постоянная величина, а другая – изменяется непредсказуемо. Эти части назвали систематической и случайной погрешностями.

По характеру проявления следует также выделить грубые погрешности (промахи). В упрощенном виде классификация погрешностей по характеру их проявления приведена на рис. 2.1.



Рис. 2.1. Классификация погрешностей измерений по характеру их проявления

Грубые погрешности (промахи) – это такие погрешности, которые при исправных средствах измерений и корректных действиях экспериментатора (оператора) не должны появляться. Проявляются они в том, что результаты отдельных измерений резко отличаются от остальных. При однократном измерении промах может быть обнаружен только путем логического анализа или сопоставления результата с априорным представлением о нем. Если причина промаха установлена, то результат однократного измерения следует признать ошибочным и повторить измерение. При многократном измерении одной и той же величины постоянного размера промахи проявляются в том, что результаты отдельных измерений, входящих в один ряд, резко отличаются от остальных результатов этого ряда.

Промахи возникают из-за ошибок или неправильных действий оператора вследствие резких кратковременных изменений условий проведения измерений (сбой в работе аппаратуры, скачки напряжения в сети, вибрация и т.п.), других аналогичных причин.

Если промахи обнаруживаются в процессе измерений, то результаты, их содержащие, отбрасывают. Чаще всего промахи выявляют при окончательной обработке результатов измерений с помощью специальных критериев, которые будут рассмотрены далее.

Случайная погрешность – составляющая погрешности результата измерения, изменяющаяся случайным образом (по знаку и значению) в серии повторных измерений физической величины постоянного размера, проведенных с одинаковой тщательностью в одинаковых условиях. В появлении таких погрешностей не наблюдается какой-либо закономерности, они проявляются при повторных наблюдениях в виде некоторого разброса полученных результатов. Случайные погрешности неустранимы и всегда присутствуют в результате измерения. Описание случайных погрешностей возможно на основе теории случайных процессов и математической статистики. Уменьшение случайных погрешностей возможно путем увеличения числа наблюдений.

Систематическая погрешность – составляющая погрешности результата измерения, остающаяся постоянной для данного ряда измерений или же закономерно изменяющаяся при повторных измерениях физической величины постоянного размера. Систематические погрешности могут быть предсказаны, обнаружены и исключены (уменьшены) из результата измерений введением поправок. Поправки всегда определяются и вычисляются с некоторой погрешностью, часть систематических погрешностей так или иначе оказывается необнаруженной, поэтому существует понятие «исключенная систематическая погрешность» (НСП).

Иногда этот вид погрешности называют не исключенными остатками систематической погрешности, остающимися после введения поправок и содержащимися в результате измерений. Особую опасность

представляют постоянные систематические погрешности, поскольку их присутствие бывает чрезвычайно трудно обнаружить. В отличие от переменных, прогрессирующих или являющихся функциями определенных параметров погрешностей, постоянные систематические погрешности внешне никак не проявляются и могут долгое время оставаться незамеченными. Систематические погрешности, закономерно изменяющиеся при повторных измерениях физической величины постоянного размера, являются не изменяющимися по времени функциями вызывающих их влияющих величин (температуры, часто ты, напряжения и пр.). Особое место среди погрешностей занимают прогрессирующие (дрейфовые) погрешности. Их особенностью является то, что они могут быть скорректированы и учтены только в данный момент времени, а в дальнейшем вновь непредсказуемо изменяются.

2.2. Правила округления результатов измерений и значений погрешности

Значение погрешности при пользовании вычислительной техникой может быть получено с большим числом знаков. Однако погрешности измерения дают предположение о том, какие цифры в числовом значении, полученном в результате измерения, являются сомнительными. Поэтому нет смысла выражать погрешность большим числом значащих цифр, и в окончательном значении рассчитанной погрешности оставляют одну-две значащие цифры.

Округлять числовое значение результата измерения следует в соответствии с числовым разрядом значащей цифры погрешности, то есть числовое значение результата измерения должно оканчиваться цифрой того же разряда, что и значение погрешности. В итоге можно сформулировать правила округления рассчитанного значения погрешности и полученного экспериментального результата измерения.

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

Результат измерения округляется до того же десятичного разряда, которым оканчивается округленное значение абсолютной погрешности.

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

Наряду с изложенными правилами округления используются и более сложные и обоснованные. Недостаток правила 1 состоит в том, что относительная погрешность от округления изменяется скачком при переходе, например, от числа 0,29 к числу 0,3, когда она составляет $(0,30 - 0,29)/0,30 = 3\%$, до $(0,4 - 0,3)/0,3 = 30\%$ при переходе от числа 0,3 к числу 0,4. Для устранения столь резкого скачка относительной по-

грешности округления существуют правила, в которых предлагая каждую декаду возможных значений округляемой погрешности делить на части: от 0,1 до 0,2, от 0,2 до 0,5 и от 0,5 до 1,0. В каждой из этих частей используется свой шаг округления, равный 0,02, 0,05 и 0,1 соответственно. Тогда ряд разрешенных к употреблению округленных значений погрешностей получает следующий вид:

$$0,10 - 0,12 - 0,14 - 0,16 - 0,18 - 0,20 - 0,25 - 0,30 - 0,35 - \\ - 0,40 - 0,45 - 0,50 - 0,60 - 0,70 - 0,80 - 0,90 - 1,0.$$

Преимущество такого ряда состоит в том, что погрешность от округления на границах участков изменяется лишь от 5 до 10%.

Пример 2.1. Значение силы электрического тока, полученное при измерении, 2,65 А, погрешность $\pm 0,06145$ А. В результате округления результат должен быть записан в виде $(2,65 \pm 0,06)$ А. Если погрешность составляет $\pm 0,006145$ А, то результат представляют в виде $I = (2,650 \pm 0,006)$ А.

Более наглядно указывать пределы интервала неопределенности измеренной величины в виде $2,59 \text{ А} < I < 2,71 \text{ А}$.

2.3. Случайные погрешности и их вероятностное описание. Понятие случайной величины

О природе случайных погрешностей, их источниках и путях возникновения известно мало, можно лишь сказать, что существует много причин, вызывающих появление этих погрешностей. Каждая из них незаметно воздействует на результат измерения, но суммарное их воздействие может вызывать заметные погрешности. В каждый данный момент эти причины проявляют себя по-разному, без закономерной связи между собой, независимо друг от друга. Как следствие, заметные погрешности появляются без закономерной связи с предыдущими и последующими погрешностями.

Теория вероятностей разрабатывает математические методы изучения свойств случайных событий в больших совокупностях. Теория погрешностей, использующая математический аппарат теории вероятностей, основывается на аналогии между появлением случайных погрешностей при многократно повторяемых измерениях и совершением случайных событий. Недостаточное знание природы и происхождения случайных погрешностей ни в коей мере не ограничивает эффективность применения вероятностных методов.

Случайной называют такую величину, которая в результате опыта может принять то или иное значение, неизвестно заранее – какое именно. Случайные величины, принимающие только отделенные друг от друга значения, которые можно заранее перечислить, называются пре-

рными, или дискретными, случайными величинами. Такими величинами являются, например, возможное число очков при бросании кости, возможное число попаданий при ста выстрелах, возможное число горошин в одном килограмме. Величины, возможные значения которых не отделены друг от друга и непрерывно заполняют некоторый промежуток, называются непрерывными случайными величинами. Промежуток, который заполняют подобные величины, может иметь как резко выраженные границы, так и границы неопределенные, расплывчатые. Непрерывными случайными величинами являются длина отрезка линии, промежуток времени, интервал температуры и т.д.

Необходимо отметить, что граница между дискретными и непрерывными величинами далеко не так четко определена, как это может показаться на первый взгляд. Некоторое количество воды в стакане может рассматриваться как величина непрерывная. Но вода состоит из отдельных молекул, количества ее могут отличаться одно от другого на целое число молекул, то есть при возможности подсчета отдельных молекул количество воды можно было бы рассматривать как дискретную величину. Обычно при измерении принимают допущение о том, что измеряемые величины являются непрерывными. Часто это связано с недостаточной чувствительностью имеющихся средств измерения, которые не дают возможности привести измерения к счету частиц, как в примере с водой. В большинстве случаев такая точность и не требуется. Измеряемую величину можно считать непрерывной, если известно о существовании более точного метода (методики) измерения. С другой стороны, непрерывные величины иногда представляются искусственно как дискретные, то есть изменяющиеся равными ступенями, и измерения производят подсчетом этих ступеней.

Дискретные и непрерывные случайные величины

Для полной характеристики дискретной случайной величины необходимо и достаточно знать все возможные ее значения и вероятность появления каждого из этих значений.

Предположим, что при помощи цифрового омметра с дискретностью отсчета 1 Ом получены десять значений: 26, 24, 26, 28, 23, 24, 25, 24, 26, 25 Ом. Для лучшего восприятия информации полученные значения располагают в порядке возрастания: 23, 24, 24, 24, 25, 25, 26, 26, 26, 28 Ом.

Затем можно просто указать, что значение 24 было получено три раза и т.д. Другими словами, можно записать различные полученные значения x_k случайной величины X вместе с числом, указывающим, сколько раз получено каждое значение, как это сделано в табл. 2.1. В ней введен символ nk ($k = 1, 2, \dots, t$), чтобы обозначить полученные значения: $x_1 = 23$; $x_2 = 24$; $x_3 = 25$ и т. д. Величины nk ($k = 1', 2, \dots, t$) обозначают числа, показывающие, сколько раз было получено соответствующее значение.

Значения случайной величины с учетом повторяемости

Значение X_k , Ом	23	24	25	26	27	28
Число реализаций L_k	1	3	2	3	0	1
Вероятность $p_k(F_k)$	0,1	0,3	0,2	0,3	0	0,1

На основе полученных данных может быть вычислено среднее арифметическое значение для дискретной случайной величины

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N} = \frac{23 + 24 + 24 + 24 + 25 + \dots + 28}{10}.$$

В другой форме записи оно будет выглядеть так:

$$\bar{x} = \frac{23 + 24 + 24 + 24 + 25 + 25 + \dots + 28}{10} = \frac{\sum_{r=1}^N X_r n_r}{N}.$$

В варианте суммировались результаты всех полученных значений. Сумма, подобная, иногда называется взвешенной суммой, поскольку каждое значение x_k умножается на весовой множитель n_k , показывающий, сколько раз это значение реализовывалось. При этом

$$\sum_{k=1}^m n_k = N$$

Вместо использования n_k числа, показывающего, сколько раз было получено показание x_k , вводят относительные частоты $F_k = n_k / N$, которые при N , стремящемся к бесконечности, стремятся к вероятностям p_k появления конкретных значений дискретной случайной величины. Значения p_k и F_k приведены в третьей строке табл. 2.1.

Законом распределения (законом распределения вероятности) случайной величины называется всякое соотношение, устанавливающее связь между возможными значениями случайной величины и соответствующими им вероятностями. Про случайную величину говорят, что она подчинена данному закону распределения.

Простейшей формой задания закона распределения является таблица, аналогичная табл. 2.1, которая часто называется рядом распределения случайной величины X .

X	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	...
P	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	...

При этом сумма вероятностей равна единице:

$$\sum_{i=1}^N p_i = 1. \quad (2.1)$$

Считается, что если сумма какого-то набора чисел равна 1, то эти числа нормированы. Поэтому выражение 2.1) называется условием нормировки.

Ряд распределения может быть представлен в графическом виде. На графике по оси абсцисс откладывают возможные значения случайной величины, а по оси ординат вероятности этих значений (рис. 2.2).

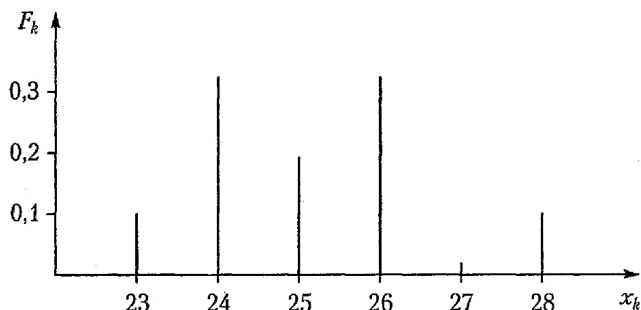


Рис. 2.2. График распределения дискретной случайной величины

Во многих случаях наряду с распределением случайной величины или вместо него информацию об этой величине могут дать числовые параметры, получившие название числовых характеристик случайной величины. Для дискретной случайной величины наиболее употребительными являются:

- *Математическое ожидание*, которое вычисляется как сумма произведений всех возможных ее значений на вероятность этих значений

$$M(X) = x_1 p_1 + x_2 p_2 + \dots + x_N p_N = \sum_{i=1}^N x_i p_i$$

На практике при ограниченном числе наблюдений пользуются оценкой математического ожидания, которой является среднее арифметическое. Значения X_N получаются в результате измерительного эксперимента.

- *Дисперсия*, которая является математическим ожиданием квадрата отклонения случайной величины от ее математического ожидания

$$D(X) = M[X - M(X)]^2 = \sum_{i=1}^N [x_i - M(X)]^2 p_i.$$

- Дисперсия имеет размерность квадрата случайной величины, поэтому вводят понятие среднего квадратического отклонения (СКО), под которым понимают квадратный корень из дисперсии. СКО имеет размерность самой случайной величины:

$$\sigma_x = \sqrt{D(X)}.$$

Дисперсия и СКО служат для оценки степени разброса случайной величины относительно ее среднего значения.

Непрерывная случайная величина имеет бесчисленное множество возможных значений, поэтому ее нельзя задать тем же законом распределения, что и дискретную случайную величину. Составить таблицу, в которой были бы перечислены все возможные значения непрерывной случайной величины, невозможно. Для количественной характеристики распределения вероятности в этом случае пользуются не вероятностью события $X = x$, а вероятностью события $X < x$, где x – некоторая текущая переменная. Вероятность этого события зависит от x и является некоторой функцией от x . Эта функция называется функцией распределения вероятности случайной величины X и обозначается $F(x)$:

$$F(x) = P(X < x).$$

Функцию распределения $F(x)$ иногда называют интегральной функцией распределения или интегральным законом распределения. Функция распределения вероятности является универсальной характеристикой и существует для всех случайных величин как дискретных, так и непрерывных.

Некоторые общие свойства функции распределения можно сформулировать следующим образом:

Функция распределения $F(x)$ есть неубывающая функция своего аргумента, то есть при $x_2 > x_1$, $F(x_2) > F(x_1)$.

При $x = -\infty$ $F(-\infty) = 0$, то есть на минус бесконечности функция распределения равна нулю.

При $x = +\infty$ $F(+\infty) = 1$, то есть на плюс бесконечности функция распределения равна единице.

Для непрерывной случайной величины с непрерывной и дифференцируемой функцией распределения вероятности $F(x)$ можно найти дифференциальный закон распределения вероятностей, выражаемый как

$$p(x) = F'(x).$$

Эта функция иначе называется плотностью распределения вероятности или дифференциальной функцией распределения. Она всегда неотрицательна и подчинена условию нормирования в виде

$$\int_{-\infty}^{+\infty} P(dx) = 1,$$

что непосредственно следует из свойств интегральной функции распределения. При практическом определении дифференциального закона распределения той или иной случайной величины всегда должно проверяться их нормирование.

В измерительной практике часто используется равномерный закон, при котором возможные значения непрерывной случайной величины находятся в пределах некоторого конечного интервала, причем в пределах этого интервала все значения случайной величины обладают одной и той же плотностью вероятности (рис. 2.3).

Аналитически равномерное распределение случайной величины записывается в виде

$$\begin{cases} p(x) = \frac{1}{x_2 - x_1} \text{ при } X_1 < x < X_2 \\ p(x) = 0 \text{ при } x < X_1 \text{ и } x > X_2 \end{cases}$$

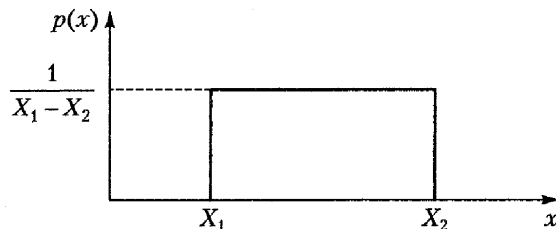


Рис. 2.3. Равномерный закон распределения плотности вероятности

Другим законом, который имеет большое значение в метрологической практике, является нормальный закон распределения случайной величины.

Результат измерений при непрерывном отсчете зависит от влияния многих возмущающих факторов (воздействий). В случае, когда независимых возмущающих факторов много, но влияние каждого из них в отдельности мало и примерно одинаково, применимы две аксиомы:

Аксиома симметрии: при очень большом числе отсчетов случайные отклонения от среднего значения, равные по величине, но различные по знаку, встречаются одинаково часто.

Аксиома монотонного убывания плотности вероятностей: чаще всего встречаются меньшие отклонения, а большие отклонения встречаются тем реже, чем они больше.

Если эти аксиомы соблюдаются, то при неограниченном увеличении числа независимых влияющих факторов закон распределения плотности вероятности можно представить как

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

где \bar{x} – среднее значение; σ – среднее квадратическое отклонение. Такой закон носит название нормального закона распределения случайной величины. Общий вид дифференциальной $p(x)$ и интегральной $F(x)$ функций распределения для нормального закона приведен на рис. 2.4 и 2.5 соответственно.

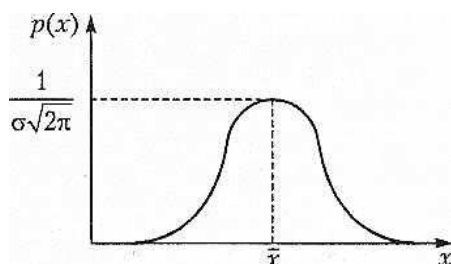


Рис. 2.4. Дифференциальная функция распределения для нормального закона

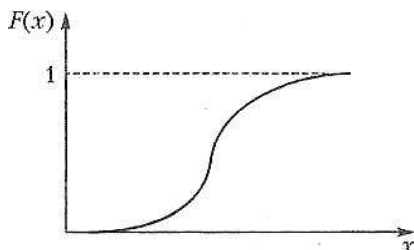


Рис. 2.5. Интегральная функция распределения для нормального закона

Закон распределения суммы двух независимых случайных величин, каждая из которых имеет свое распределение, называется композицией. Примеры образования композиций законов распределения приведены на рис. 2.6. При суммировании двух равномерно распределенных случайных величин x_1 и x_2 образование композиции, то есть закон распределения $p(x_1+x_2)$, можно представить как «размыв» резко ограниченных концов более широкого распределения (шириной a) на величину протяженности b менее широкого распределения (рис. 2.6,а). Поэтому композиция имеет форму трапеции с верхним основанием, равным $a - b$, и нижним основанием, равным $a + b$.

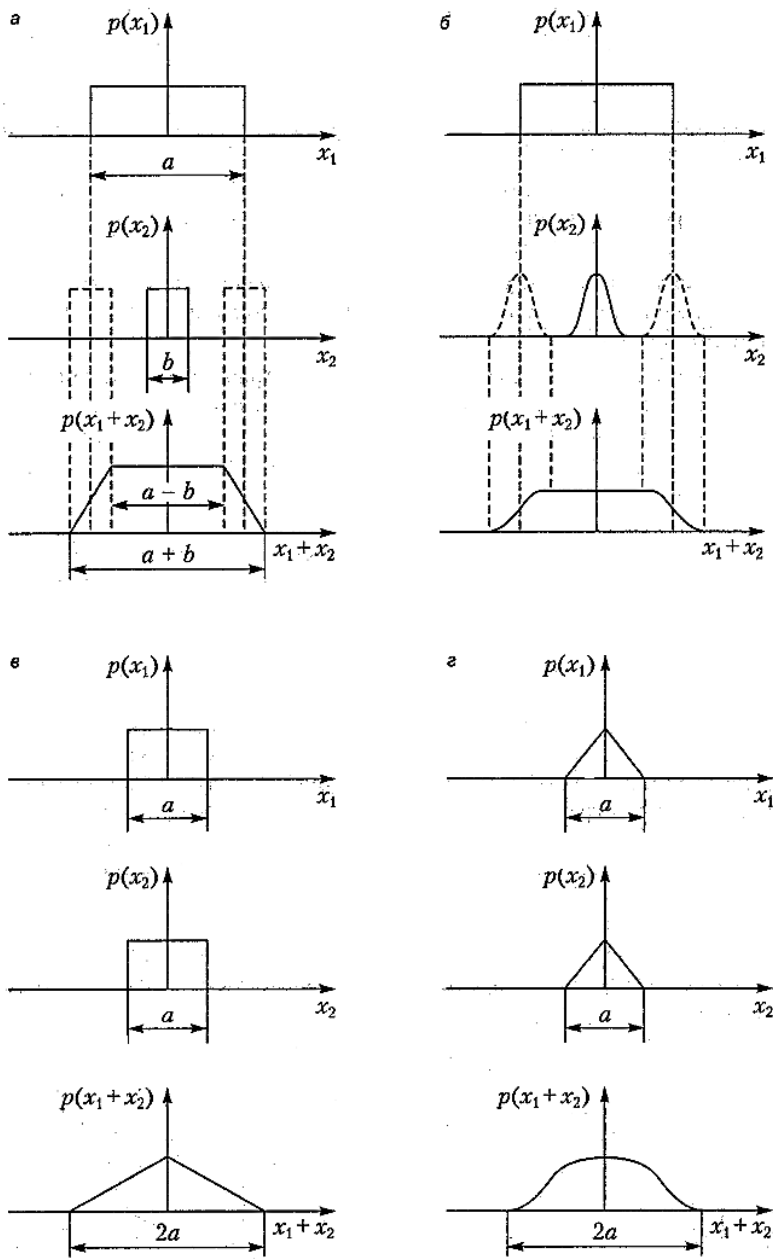


Рис. 2.6. Примеры образования композиций законов распределения

Математическое ожидание отклонения случайной величины от ее математического ожидания равно нулю:

$$M[x - M(x)] = 0.$$

Если начало координат перенесено в центр закона распределения вероятности, то такое распределение называется центрированным. Общее правило образования центральных моментов записывается следующим образом:

$$\overline{(x - \bar{x})^r} = \int_{-\infty}^{+\infty} (x - \bar{x})^r p(x) dx.$$

Из формулы видно, что первый центральный момент равен нулю (пятое свойство математического ожидания).

Второй центральный момент называется дисперсией σ_x^2 :

$$\sigma_x^2 = \overline{(x - \bar{x})^2} = \int_{-\infty}^{+\infty} (x - \bar{x})^2 p(x) dx.$$

Иногда дисперсию обозначают символом $D(x)$.

Основные свойства дисперсии.

Дисперсия неслучайного числа равна нулю:

$$D(a) = 0, a = const.$$

Постоянный множитель можно выносить за знак дисперсии, возводя его при этом в квадрат:

$$D(ax) = a^2 D(x).$$

Дисперсия алгебраической суммы независимых случайных величин равна арифметической сумме их дисперсий:

$$D(x + y - z) = D(x) + D(y) + D(z).$$

Дисперсия случайной величины равна разности между математическим ожиданием ее квадрата и квадратом математического ожидания:

$$D(x) = M(x^2) - M^2(x).$$

Чем больше дисперсия, тем значительнее рассеяние результатов сравнения относительно среднего значения (рис. 2.7).

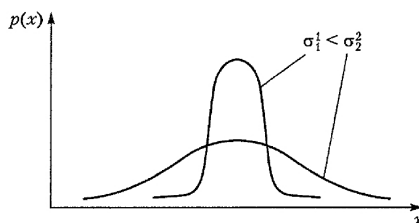


Рис. 2.7. Графики плотности распределения вероятности при различных значениях дисперсии

Для количественной оценки и установления границ случайной погрешности результата измерения используются: предельная погрешность, интервальная оценка, оценки числовых характеристик закона распределения. Выбор конкретной оценки определяется необходимой полнотой сведений об источниках погрешности, назначением измерений и характером использования их результатов.

Предельная погрешность – это максимальная погрешность, которая может явиться в конкретном измерительном эксперименте. Теоретически такая оценка погрешности правомерна только для распределений, границы которых четко выражены и существует такое значение $\pm\Delta_{\max}$, которое ограничивает возможные значения случайной погрешности с двух сторон от центра распределения (например равномерного). Такая оценка не содержит информации о характере закона распределения, часто бывает завышенной и в настоящее время применяется редко.

Более информативными являются квантильные оценки. Площадь, заключенная под всей кривой плотности распределения вероятности, по условиям нормирования равна единице. Эту площадь можно разделить вертикальными линиями на части. Абсциссы таких линий называют квантилями (рис. 2.8).

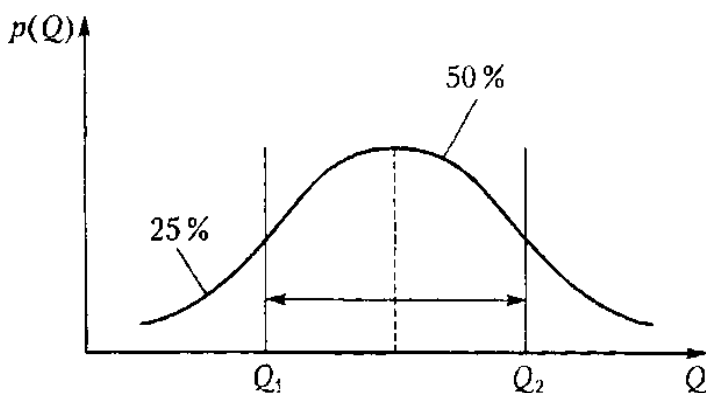


Рис. 2.8. Квантильные оценки

Q_1 есть 25%-ная квантиль, так как площадь под кривой $p(Q)$ слева от нее составляет 25 % всей площади. Абсцисса Q_2 соответствует 75%-ной квантили. Между Q_1 и Q_2 заключено 50% всех возможных значений случайной величины (результатов единичных измерений). Квантильная оценка результата измерений позволяет найти вероятность, с которой значение случайной величины (результата измерения) находится в интервале от Q_1 до Q_2 . Такой интервал называется доверительным интер-

валом, а соответствующая ему вероятность – доверительной вероятностью.

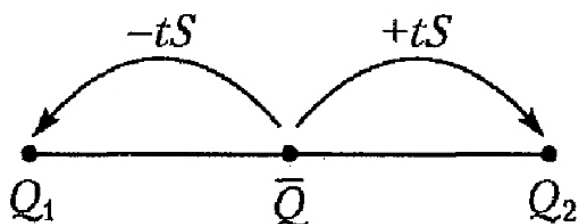


Рис. 2.9. Доверительный интервал

Доверительные границы случайной погрешности находят по формуле

$$e = \pm tS,$$

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

Квантили, ограничивающие доверительный интервал, могут быть выбраны различными, поэтому при интервальном оценивании случайной погрешности необходимо указывать значение принятой доверительной вероятности, например $U = (3,0 \pm 0,2)B$ при $P = 0,95$.

В общем случае можно вычислить вероятность P того, что искомое значение измеряемой величины лежит в пределах $Q \pm tS$ для любого положительного числа t . В таблице 2.2 приведены доверительные вероятности при различных значениях t для нормального закона распределения при числе независимых наблюдений $N > 50$ (при $N < 50$ используются коэффициенты Стьюдента). Более точные таблицы для значений t приводятся в специальной литературе по метрологии.

Таблица 2.2

Зависимость коэффициента t от доверительной вероятности P для нормального закона распределения

t	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,50	3,00	4,00
p, %	38	55	68	79	87	92	95,4	98,8	99,7	99,99

В целях единообразия оценивания случайных погрешностей интервальными оценками при технических измерениях доверительная вероятность принимается равной 0,95. В случаях особо точных и/или ответственных измерений допускается применять другую доверительную вероятность.

Контрольные вопросы

1. Чем действительное значение физической величины отличается от истинного значения?
2. Как получают действительные значения измеряемой физической величины на практике?
3. В чем преимущества относительной погрешности измерения от абсолютной?
4. В каких случаях используют приведенную погрешность?
5. Как классифицируют погрешности по причинам их возникновения?
6. Как классифицируют погрешности по характеру их проявления?
7. Как обнаруживаются грубые погрешности (промахи) при проведении измерений?
8. Как проявляются и оцениваются погрешности при проведении измерений?
9. Как определяется систематическая погрешность при обработке результатов измерений?
10. Какими методами можно уменьшить влияние систематических погрешностей на результат измерения?
11. Что надо знать для полной характеристики дискретной случайной величины?
12. Перечислите числовые характеристики дискретной случайной величины.
13. Какие характеристики используют для количественного описания непрерывной случайной величины?
14. В чем отличие функции распределения вероятности от функции плотности распределения вероятности непрерывной случайной величины?
15. В каких случаях в измерительной практике используется равнономерный закон распределения плотности вероятности?
16. Почему в измерительной практике наибольшее значение имеет нормальный закон распределения случайной величины?
17. Перечислите требования к оценкам случайных величин при ограниченном числе опытов.
18. Какие оценки используются для установления границ случайной погрешности результатов измерения?
19. Дайте определение доверительного интервала и доверительной вероятности.
20. По каким критериям выбираются доверительные интервалы и доверительная вероятность в технических измерениях?

Практическая работа. Расчёт методических погрешностей

Общие сведения

Методические погрешности возникают из-за:

- несовершенства метода измерений,
- некорректности алгоритмов или формул (по которым производятся вычисления результатов измерений),
- отличия принятой модели объекта измерения от той, которая правильно описывает его свойство, определяемое путем измерения,
- влияния выбранного средства измерения на измеряемые параметры сигналов.

Пример. Рассчитать методологическую погрешность измерения напряжения и тока в нагрузке для приведенной электрической цепи.

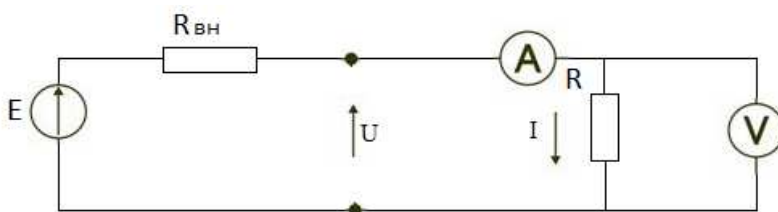


Рис. 1. К появлению методической погрешности: E – ЭДС источника, R_{вн} – внутреннее сопротивление ЭДС, R – сопротивление нагрузки, A – Амперметр, V – Вольтметр

Пример: E= 20В; R_{вн}= 0,5кОм; R=19,5 кОм; R_a= 0,05 кОм; R_v= 200 кОм.

Для определения действительных значений тока и напряжения исключим из схемы амперметр и вольтметр (у идеального амперметра R_a=0, у вольтметра R_v=∞).

Тогда действительное значение тока в цепи:

$$I = E / (R_{вн} + R)$$

$$I = 20 / (0,5 + 19,5) = 1 \text{ мА}$$

Напряжение на нагрузке:

$$U = E - (I * R_{вн})$$

$$U = 20 - (1 * 0,5) = 19,5 \text{ В}$$

Рассмотрим два способа подключения амперметра и вольтметра к нагрузке.

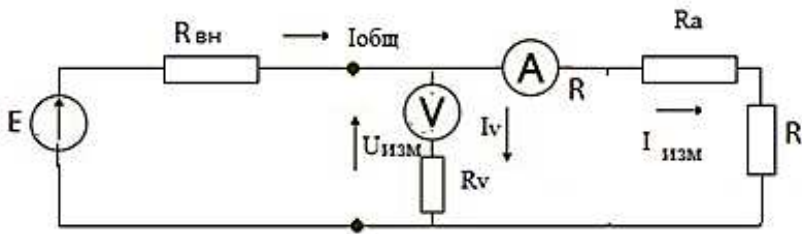


Рис. 2. Первый способ подключения вольтметра и амперметра

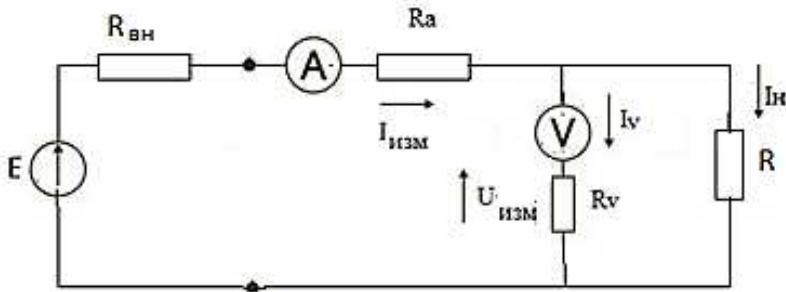


Рис. 3. Второй способ подключения амперметра.

Для схемы приведенной на рисунке 2 общий ток источника ЭДС:

$$I_{\text{общ}} = \frac{E}{R_{\text{вн}} + \frac{R_v(Ra + R)}{R_v + Ra + R}}$$

$$I_{\text{общ}} = \frac{20}{0,5 + \frac{200(0,05 + 19,5)}{200 + 0,05 + 19,5}} = 1,07 \text{ мА}$$

Измененное напряжение на нагрузке:

$$U_{\text{изм}} = E - I_{\text{общ}} * R_{\text{вн}}$$

$$U_{\text{изм}} = 20 - 1,07 * 0,5 = 19,465 \text{ В}$$

Абсолютная погрешность измерения напряжения:

$$\Delta u = U_{\text{изм}} - U$$

$$\Delta u = 19,465 - 19,5 = -0,035 \text{ В}$$

Относительная погрешность измерения напряжения:

$$\delta u = \Delta u / U$$

$$\delta u = 0,035 / 19,5 = -0,002 \text{ или } \delta u = -0,2\%$$

Измерение значения тока:

$$I_{изм} = U_{изм} / (Ra + R)$$

$$I_{изм} = 19,465 / (0,05 + 19,5) = 0,996 \text{ мА}$$

Абсолютная погрешность измерения тока:

$$\Delta I = I_{изм} - I$$

$$\Delta I = 0,996 - 1 = 0,004 \text{ мА}$$

Относительная погрешность изменения тока:

$$\delta I = \Delta I / I$$

$$\delta I = 0,004 / 1 = 0,004 \text{ или } -0,4\%$$

Для схемы приведенной на рис. 3 измеренное значение тока:

$$I_{изм} = E / [R_{вн} + Ra + ((Rv * R) / (Rv + R))]$$

$$I_{изм} = 20 / [0,5 + 0,05 + ((200 * 19,5) / (200 + 19,5))] = 1,08 \text{ мА}$$

Абсолютная погрешность изменения тока:

$$\Delta I = I_{изм} - I$$

$$\Delta I = 1,08 - 1 = 0,08 \text{ мА}$$

Относительная погрешность изменения тока:

$$\delta I = \Delta I / I$$

$$\delta I = 0,08 / 1 = 0,08 \text{ или } 8\%$$

Измененное напряжение на нагрузке:

$$U_{изм} = E - I_{изм} (R_{вн} + Ra)$$

$$U_{изм} = 20 - 1,08 (0,5 + 0,05) = 19,406 \text{ В}$$

Абсолютная погрешность измерения напряжения:

$$\Delta u = U_{изм} - U$$

$$\Delta u = 19,406 - 19,5 = -0,094 \text{ В}$$

Относительная погрешность измерения напряжения:

$$\delta u = \Delta u / U$$

$$\delta u = 0,094 / 19,5 = -0,005 \text{ или } \delta u = -0,5\%$$

Таким образом, подключение приборов вторым способом увеличивает методическую погрешность измерения тока в 20 раз, а напряжение в 2,5 раза.

Выполнение работы

Рассчитать абсолютную и относительную погрешность измерения напряжения и тока в нагрузке для электрической цепи, где: E – э.д.с. источника; $R_{вн}$ – внутреннее сопротивление источника э.д.с.; R – сопротивление нагрузки; Rv – сопротивление вольтметра; Ra – сопротивление амперметра.

Данные вариантов

Вариант	Е, В	$R_{вн}, \text{кОм}$	$R, \text{кОм}$	$R_v, \text{кОм}$	$R_a, \text{кОм}$
1	12	0,1	11,9	100	0,05
2	15	0,5	14,5	150	0,1
3	18	0,3	8,7	120	0,08
4	20	0,3	19,7	300	0,1
5	24	0,2	11,8	200	0,08
6	24	0,5	23,5	300	0,15
7	27	0,4	8,6	120	0,05
8	27	1	26	400	0,1
9	30	0,3	9,7	180	0,04
10	30	0,5	14,5	250	0,06
11	32	0,2	7,8	110	0,03
12	36	0,3	8,7	130	0,05
13	36	0,5	11,5	180	0,07
14	36	0,7	17,3	300	0,1
15	40	0,2	9,8	150	0,05
16	40	0,5	19,5	250	0,1
17	40	1	39	500	0,2

Содержание отчёта.

1. Данные варианта;
2. Порядок расчёта: формула в общем виде → подстановка значений → результат;
3. Выводы.

Лабораторный практикум.

Многократные измерения и их метрологическая обработка

Цель работы: ознакомление с методами метрологической обработки результатов многократных измерений, расчет основных погрешностей измерений.

1. Общие положения

Причины возникновения погрешностей измерений

Причины возникновения погрешностей – это несовершенство методов измерений, технических средств, применяемых при измерениях, органов чувств наблюдателя. В отдельную группу следует объединить причины, связанные с влиянием условий проведения измерений. Последние проявляются двояко. С одной стороны, все физические величины, играющие какую-либо роль при проведении измерений, в той или иной степени зависят друг от друга. Поэтому с изменением внешних условий изменяются истинные значения измеряемых величин. С другой стороны, условия проведения измерений влияют и на характеристики средств измерений и физиологические свойства органов чувств наблюдателя и через их посредство становятся источником погрешностей измерения.

Описанные причины возникновения погрешностей определяются совокупностью большого числа факторов, под влиянием которых складывается суммарная погрешность измерения. Их можно объединить в две основные группы:

1. Факторы, проявляющиеся весьма нерегулярно и столь же неожиданно исчезающие или проявляющиеся с интенсивностью, которую трудно предвидеть. К ним относятся, например, перекосы элементов приборов в их направляющих, нерегулярные изменения моментов трения в опорах, малые флуктуации влияющих величин, изменения внимания операторов и др.

Доля, или составляющая, суммарной погрешности измерения, определяемая действием факторов этой группы, называется случайной погрешностью измерения. Ее основная особенность в том, что она случайно изменяется при повторных измерениях одной и той же величины.

При создании измерительной аппаратуры и организации процесса измерения в целом интенсивность проявления большинства факторов данной группы удастся свести к общему уровню, так что все они влияют более или менее одинаково на формирование случайной погрешности. Однако некоторые из них, например внезапное падение напряжения в сети электропитания, могут проявиться неожиданно сильно, в результате чего погрешность примет размеры, явно выходящие за границы,

обусловленные ходом эксперимента в целом. Такие погрешности в составе случайной погрешности называются грубыми. К ним тесно примыкают промахи – погрешности, зависящие от наблюдателя и связанные с неправильным обращением со средствами измерений, неверным отсчетом показаний или ошибками при записи результатов.

2. Факторы, постоянные или закономерно изменяющиеся в процессе измерительного эксперимента, например, плавные изменения влияющих величин или погрешности применяемых при измерениях образцовых мер. Составляющие суммарной погрешности, определяемые действием факторов этой группы, называются систематическими погрешностями измерения. Их отличительная особенность в том, что они остаются постоянными или закономерно изменяются при повторных измерениях одной и той же величины. До тех пор, пока систематические погрешности больше случайных, их зачастую можно вычислить или исключить из результатов измерений надлежащей постановкой опыта.

Таким образом, мы имеем два типа погрешностей измерения:

- случайные (в том числе грубые погрешности и промахи), изменяющиеся случайным образом при повторных измерениях одной и той же величины;
- систематические погрешности, остающиеся постоянными или закономерно изменяющимися при повторных измерениях.

2. Обработка многократных измерений

Если проведено N измерений величины R и получены независимые результаты r_1, r_2, \dots, r_n , каждый из которых содержит систематическую погрешность θ и случайную погрешность ε и если в качестве оценки измеряемой величины принято среднеарифметическое полученных значений, то

$$\bar{r} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (R + \theta + \varepsilon_i) = R + \theta + \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \varepsilon_i \quad (1)$$

где среднеарифметическое r_i

$$R = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N r_i \quad (2)$$

Отсюда следует, что измерения с многократными наблюдениями не приводят к изменению систематической погрешности. Отдельные значения случайной погрешности могут иметь разные знаки, поэтому при суммировании некоторые значения могут взаимно компенсироваться. Можно показать, что дисперсия третьего слагаемого, являющегося слу-

чайной погрешностью результата измерений R , уменьшается с ростом N .

Пусть результаты измерений подчинены гауссовскому закону, статически независимы и не содержат систематической погрешности, отсюда среднеквадратичное отклонение /СКО/ $\left[\delta_x^2 = \sum (r_i - R)^2 \right]$

$$\delta_R^2 = \frac{1}{N^2} \cdot N \cdot \delta_x^2 = \frac{\delta_x^2}{N}. \quad (3)$$

При расчетах используют несмещенную оценку:

$$S^2 = \frac{N}{N-1} \cdot \delta_R^2 = \frac{1}{N-1} \cdot \sum_{i=1}^N (r_i - R)^2. \quad (4)$$

Подставим полученную оценку в (3), получим оценку СКО среднеарифметического

$$S_R = \frac{S}{\sqrt{N}} = \left[\frac{1}{N \cdot (N-1)} \cdot \sum_{i=1}^N (r_i - R)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (5)$$

и оценку относительного значения СКО:

$$\delta_{SR} = \pm \frac{S_R}{R} \cdot 100\%. \quad (6)$$

Среднеарифметическое абсолютное и относительное отклонения:

$$\Delta_R = \pm \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N (r_i - R), \quad (7)$$

$$\delta_R = \pm \frac{\Delta_R}{R} \cdot 100\%. \quad (8)$$

Поскольку число измерений мало, то для правильной обработки экспериментальных данных необходимо использовать t – распределение Стьюдента, корректирующие результаты:

$$C = t(p, k), \quad (9)$$

где C – значение случайной величины T , имеющей распределение Стьюдента с степенями свободы.

$$k = N - 1. \quad (10)$$

Значение C зависит от объема выборки N (степеней свободы k) и вероятности p , и определяется по табл. 1 значений $C = t(p, k)$.

Коэффициенты Стьюдента

k	p				
	0,50	0,80	0,95	0,98	0,99
1	1,00	3,08	12,71	31,82	63,66
2	0,82	1,89	4,30	6,97	9,93
3	0,77	1,64	3,18	4,54	5,84
4	0,74	1,53	2,78	3,75	4,60
5	0,73	1,48	2,57	3,36	4,03
6	0,72	1,44	2,45	3,14	3,71
7	0,71	1,42	2,37	3,00	3,50
8	0,71	1,40	2,31	2,90	3,35
9	0,70	1,38	2,26	2,82	3,25
10	0,70	1,37	2,23	2,76	3,17
11	0,70	1,36	2,20	2,72	3,11
12	0,69	1,36	2,18	2,68	3,05
13	0,69	1,35	2,16	2,65	3,01
14	0,69	1,34	2,14	2,62	3,00
15	0,69	1,34	2,13	2,60	2,95
16	0,69	1,34	2,12	2,58	2,92
17	0,69	1,33	2,11	2,57	2,90
18	0,68	1,33	2,10	2,55	2,88
19	0,68	1,33	2,10	2,54	2,86
20	0,68	1,32	2,09	2,53	2,84
25	0,68	1,32	2,06	2,49	2,79
30	0,68	1,31	2,04	2,46	2,75
∞	0,67	1,28	1,96	2,33	2,58

Доверительный интервал абсолютный:

$$e = \pm t S_R . \quad (11)$$

Доверительный интервал относительный:

$$\delta_e = \pm \frac{e}{R} \cdot 100\% \cdot \quad (12)$$

3. Гистограмма

Гистограмма – это способ представления статистических данных в графическом виде – в виде столбчатой диаграммы. Она отображает распределение отдельных измерений параметров изделия или процесса. Иногда ее называют частотным распределением, так как гистограмма показывает частоту появления измеренных значений параметров объекта.

Высота каждого столбца указывает на частоту появления значений параметров в выбранном диапазоне, а количество столбцов – на число выбранных диапазонов.

Важное преимущество гистограммы заключается в том, что она позволяет наглядно представить тенденции изменения измеряемых параметров качества объекта и зрительно оценить закон их распределения. Кроме того, гистограмма дает возможность быстро определить центр, разброс и форму распределения случайной величины. Строится гистограмма, как правило, для интервального изменения значений измеряемого параметра.

Порядок построения гистограммы

1. Собираются статистические данные – результаты измерений параметра объекта. Для того чтобы гистограмма позволяла оценить вид распределения случайной величины, предпочтительно иметь не менее тридцати результатов измерений.

2. Выявляется наибольшее и наименьшее значение показателя среди полученных результатов измерений.

3. Определяется ширина диапазона значений показателя – из наибольшего значения показателя вычитается наименьшее значение.

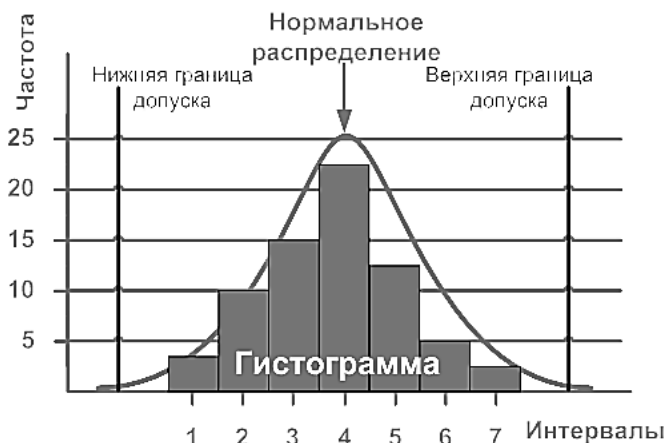
4. Выбирается надлежащее число интервалов, в пределах которых необходимо сгруппировать результаты измерений.

5. Устанавливаются границы интервалов. Границы интервалов необходимо установить так, чтобы значения данных не попадали ни на одну из границ интервала. Например, если были выбраны интервалы с границами от 0,5 до 5,5 от 5,5 до 10,5 и т.д., то значение данных 5,5 будет попадать как в первый, так и во второй интервал. Чтобы избежать этой проблемы, можно изменить интервалы от 0,51 до 5,50 от 5,51 до 10,50 и так далее, таким образом, ни одно значение данных не попадет на границу интервала.

6. Подсчитывается число попаданий значений результатов измерений в каждый из интервалов.

7. Строится гистограмма – на оси абсцисс (горизонтальной оси) отмечаются интервалы, а на оси ординат (вертикальной оси) отмечается

частота попаданий результатов измерений в каждый интервал. Интервалы можно устанавливать в натуральных единицах (если позволяет масштаб), т.е. в тех единицах, в которых проводились измерения, либо каждому интервалу можно присвоить порядковый номер и отмечать на оси абсцисс номера интервалов. В результате получается столбчатая диаграмма, представленная на рисунке.



Если на контролируемый параметр существует поле допуска, то гистограмма может содержать верхнюю и нижнюю границы поля допуска. Это позволяет увидеть, в какую сторону и как смещается значение контролируемого показателя относительно поля допуска. Границы наносятся по оси абсцисс.

Гистограмма, представленная на рисунке, имеет форму нормального распределения, что говорит о стабильности процесса, но часто бывает, что форма распределения отклоняется от нормального. Это свидетельствует о нарушениях в процессе и необходимости применения управляющих воздействий. Некоторые, часто встречающиеся отклонения и их причины представлены ниже.

Полигон представляет собой ломаную кривую, соединяющую середины верхних оснований столбцов гистограммы.

4. Выполнение работы

1. В соответствии с техническим описанием прибора и его инструкцией по эксплуатации подготовить прибор к измерениям.
2. Измерить значения сопротивлений 50 резисторов ($N=50$).
3. Рассчитать среднеарифметическое R измеренных значений r_i по (2).

4. Рассчитать среднеарифметическое отклонение $|r_i - R|$ и среднеквадратичное (СК) отклонение $(r_i - R)^2$ для каждого измеренного значения r_i .

5. Рассчитать среднеарифметическое абсолютное отклонение Δ_R по (7).

6. Рассчитать сумму $\sum_{i=1}^N (_)$ среднеарифметических и среднеквадратических отклонений.

7. Результаты занести в табл. 2.

8. Рассчитать оценку СКО среднеарифметического (5), оценку относительного значения СКО (6), доверительный интервал абсолютный (11), доверительный интервал относительный (12).

9. Результаты расчётов занести в табл. 3.

10. Построить графически доверительный интервал, на котором численно отметить нижний и верхний допуски измеренной группы резисторов, указанные в паспортных данных.

11. Построить гистограмму и полигон распределения погрешности, выбрав интервал:

$$\Delta r = \frac{r_{\max} - r_{\min}}{10}$$

На гистограмме отметить абсолютный доверительный интервал, а также нижнюю и верхнюю границу допуска группы резисторов.

Таблица 2

Результаты измерений и расчётов

№ измерения	Величина r_i , кОм	Отклонение $ r_i - R $, кОм	СК отклонение $(r_i - R)^2$
1			
2			
3			
4			
.....			
$\sum_{i=1}^N (_)$	-		

R , кОм		-	-
Δ_R		-	-

Таблица 3

Результаты расчётов

R , кОм	$\pm \delta_{S_R}$, %	$\pm S_R$, кОм	$\pm \delta_{e_s}$, %	$\pm e$, кОм

Содержание отчета

1. Теория работы;
2. Технические данные измерительного прибора;
3. Данные измерений и расчетов (в виде таблиц 2 и 3);
4. Доверительный интервал, гистограмма и полигон;
5. Выводы.

Контрольные вопросы

1. Как различаются погрешности по причинам их возникновения?
2. Какие законы распределения применяются при метрологической обработке результатов измерений?
3. Как связан класс точности средств измерений с основной погрешностью?
4. Что такое косвенные измерения?
5. Опишите методику расчета погрешностей косвенных измерений?
6. Каков порядок построения гистограммы и полигона?

Лабораторный практикум.

Исследование погрешностей аналогового вольтметра

Цель работы: изучить методику определения основной погрешности измерительных приборов на примере аналогового вольтметра постоянного тока.

Получить навыки проведения многократных измерений и обработки полученных данных.

1. Используемые приборы

Комбинированный прибор (тестер) заданного типа (исследуемый вольтметр).

Вольтметр универсальный цифровой типа В7-27А/1 или В7-16А (эталонный вольтметр).

Источник регулируемого постоянного напряжения от 0 до 5В.

2. Лабораторное задание

1. Оценить систематическую и случайную составляющие основной погрешности и суммарную погрешность аналогового вольтметра.

2. Сравнить суммарную погрешность, полученную экспериментально, с нормируемым значением основной погрешности вольтметра данного типа.

3. Оценить вариацию показаний аналогового вольтметра.

3. Подготовка к работе

1. Изучить теоретический материал, относящийся к данной работе и конспект лекций.

2. Изучить описание данной работы и заготовить в рабочей тетради формы таблиц в соответствии с требованиями к содержанию отчета, приведенному в конце данного описания.

3. Подготовить ответы на контрольные вопросы, которые могут быть заданы при допуске к работе и ее защите.

Используя техническое описание исследуемых приборов, заполнить табл. 1.

Таблица 1

Основные метрологические характеристики используемых вольтметров (при измерении постоянного напряжения)

Характеристика	Аналоговый вольтметр тип	Цифровой вольтметр тип
1	2	3
Верхние пределы измерения, используемые в данной работе, В	2,5	1; 10

1	2	3
Цена деления шкалы, В		-
Цена единицы младшего разряда используемых пределов, В	-	
Нормируемая погрешность (указать, какая), %		
Класс точности		
Входное сопротивление, МОм		

4. Выполнение работы

1. Расчет областей значений основной погрешности вольтметров

1.1. Построить области допускаемых основных абсолютных погрешностей аналогового и цифрового вольтметров (табл. 1) в диапазоне от 0 до 2,5 В. Пример построения показан на рис. 1. Предел измерения исследуемого вольтметра выбрать равным 2,5 В. Тогда пределы измерения эталонного вольтметра следует выбрать равными 1 или 10 В.

Указание. Для простых электроизмерительных приборов основную погрешность обычно нормируют в форме *предельно допустимой приведенной* погрешности – числом γ , выраженным в %. Число γ , записанное без указания %, определяет класс точности такого вольтметра. Область значений допускаемой *основной абсолютной* погрешности такого прибора можно определить с помощью простой одночленной формулы:

$$\Delta = \frac{\pm \gamma}{100} U_k = \pm a, \quad (1)$$

где U_k – значение установленного предела измерения.

Видно, что эта погрешность не зависит от значения измеряемого напряжения – носит чисто аддитивный характер.

Основную погрешность более сложных и точных цифровых вольтметров обычно нормируют в форме предельно допустимой *относительной* погрешности, %, по двучленной формуле вида:

$$\delta = \pm \left[c + d \left(\frac{U_k}{U} - 1 \right) \right]. \quad (2)$$

Значения коэффициентов c (%) и d (%), записанные через косую черту (c/d), определяют класс точности цифрового вольтметра.

Область допускаемой основной **абсолютной** погрешности такого вольтметра можно вычислить по формуле:

$$\Delta = \pm \left(\frac{d \cdot U_k + c - d}{100} \cdot U \right), \quad U = [0, U_k]. \quad (3)$$

Эта погрешность растет с увеличением измеряемого напряжения, т.е. имеет, кроме аддитивной, еще и мультипликативную составляющую.

Специфической особенностью используемого в данной работе цифрового вольтметра В7-27 является возможность измерения напряжения до 0,999 В, при установке предела $U_k = 2$ В и напряжения до 19,9 В при установке предела $U_k = 10$ В. Изготовитель гарантирует, что при измерении напряжений $U > U_k$ относительная погрешность будет находиться в соответствии с (1.2) в пределах $\pm c$ (%).

Поскольку абсолютная погрешность эталонного прибора должна быть, по крайней мере, в 3 раза меньше погрешности исследуемого прибора, не следует без необходимости использовать в цифровом вольтметре В7-27 предел 10 В.

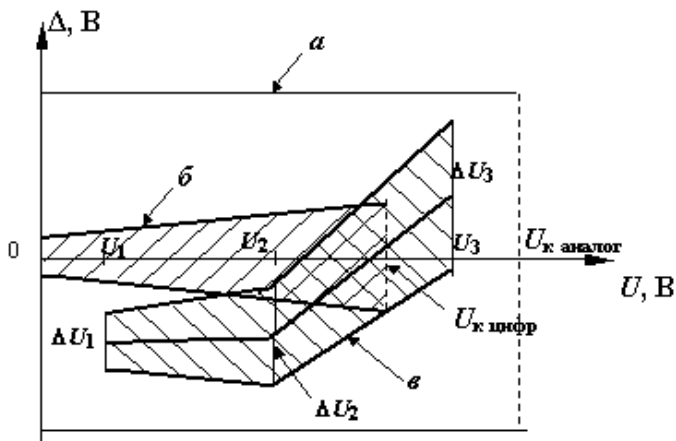


Рис. 1. Области значений абсолютной погрешности:
 а – нормируемая для аналогового прибора,
 б – нормируемая для цифрового прибора,
 в – полученная экспериментально для аналогового прибора по п. 3;
 $\Delta U_m, m = 1, 2, 3$.

1.2. Сравнить значения абсолютных погрешностей аналогового и цифрового вольтметров в диапазоне от 0 до 2,5 В, сделать вывод о возможности использования цифрового вольтметра в качестве эталонного на пределах 1 и 10 В.

2. Оценка систематической и случайной составляющих основной погрешности исследуемого вольтметра

Исследование провести для трех точек установленного на исследуемом вольтметре диапазона измерения 2,5В – для трех значений напряжения: $U_1=(0,3-0,7)\text{В}$ – в начале шкалы, $U_2=(0,8-1,5)\text{В}$ – в середине и $U_3=(1,5-1,9)\text{В}$ – в конце.

2.1. Ознакомиться с кратким описанием и органами управления вольтметров и источника постоянного напряжения. Включить питание источника постоянного напряжения и цифрового вольтметра. Через 20 минут проверить установку нуля аналогового и цифрового вольтметров.

2.2. Собрать схему измерения, согласно рис. 2.

2.3. Установить требуемые пределы измерения U_k на обоих вольтметрах.

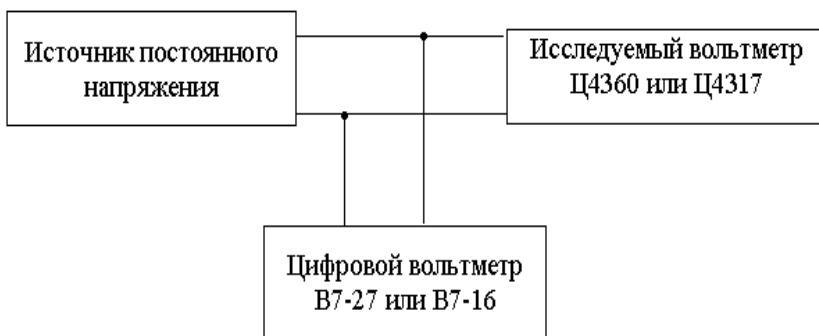


Рис. 2. Схема для исследования погрешностей вольтметра

2.4. Выбрать отметку на шкале исследуемого вольтметра, соответствующую выбранному значению напряжения U_1 . Регулируя напряжение источника, установить показание, равное U_1 , измерить действительное значение напряжения источника по показаниям эталонного вольтметра U_{1i} и записать в табл. 1 (столбец 2). Всего выполнить n измерений действительных значений напряжения U_{1i} , $i=1, \dots, n$ ($8 \leq n \leq 16$), каждый раз заново устанавливая показания исследуемого вольтметра на выбранную отметку шкалы.

2.5. Повторить измерения п. 2.4 для выбранных значений U_2 и U_3 . Измеренные действительные значения U_{2i} и U_{3i} , $i=1, \dots, n$ записать в 6 и 10-й столбцы табл. 2 соответственно.

2.6. Вычислить для каждого значения напряжения U_1, U_2, U_3 следующие величины:

2.6.1. Абсолютную погрешность каждого однократного измерения

$$\Delta_{mi} = U_m - U_{mi}, m = 1, 2, 3, i = 1, \dots, n \quad (4)$$

и записать их значения в 3, 7 и 11-й столбцы, внизу каждого столбца поместить алгебраическую сумму $\sum_{i=1}^n \Delta_{mi}$.

2.6.2. Оценку систематической составляющей погрешности Δ_{cm} , вычислив ее значение как среднее значение погрешности $\bar{\Delta}_m$:

$$\bar{\Delta}_{cm} = \bar{\Delta}_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta_{mi} \quad (5)$$

2.6.3. Случайные составляющие погрешности каждого измерения:

$$\overset{\circ}{\Delta}_{mi} = \Delta_{mi} - \bar{\Delta}_{cm} \quad (6)$$

и записать их значения в 4, 8 и 12-й столбцы.

2.6.4. Оценки среднего квадратического отклонения случайной составляющей погрешности (среднюю квадратическую погрешность) однократного измерения для трех выбранных точек шкалы исследуемого вольтметра:

$$\tilde{\sigma}_m = \left[\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n \overset{\circ}{\Delta}_{mi}^2 \right]^{1/2}, m = 1, 2, 3. \quad (7)$$

Для этого найти квадраты случайных составляющих $\overset{\circ}{\Delta}_{mi}^2$, $m = 1, 2, 3, i = 1, \dots, n$ и полученные числа занести в 5, 9 и 13-й столбцы, а внизу каждого из них поместить суммы этих квадратов $\sum_{i=1}^n \overset{\circ}{\Delta}_{mi}^2 = 1, 2, 3$. Найденные значения оценок $\tilde{\sigma}_1, \tilde{\sigma}_2, \tilde{\sigma}_3$ также поместить в табл. 2.

Таблица 2

Результаты измерений и расчета составляющих основной погрешности исследуемого вольтметра

i	$U_1 = B$				$U_2 = B$				$U_3 = B$			
	U_i	Δ_i	$\overset{\circ}{\Delta}_i$	$\overset{\circ}{\Delta}_i^2$	U_i	Δ_i	$\overset{\circ}{\Delta}_i$	$\overset{\circ}{\Delta}_i^2$	U_i	Δ_i	$\overset{\circ}{\Delta}_i$	$\overset{\circ}{\Delta}_i^2$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1												
2												
.												
.												
.												
i												
.												
.												
.												
n												
	$\Sigma =$		$\Sigma =$		$\Sigma =$		$\Sigma =$		$\Sigma =$		$\Sigma =$	
	$\bar{\Delta}_{c1} = (B)$				$\bar{\Delta}_{c2} = (B)$				$\bar{\Delta}_{c3} = (B)$			
	$\sigma_{1} = (B)$				$\sigma_{2} = (B)$				$\sigma_{3} = (B)$			
	$P_{дог} =$, $n =$, $t =$											
	$\Delta_{дог1} = \pm (B)$				$\Delta_{дог2} = \pm (B)$				$\Delta_{дог3} = \pm (B)$			

2.6.5. Доверительные интервалы случайной погрешности однократного измерения в предположении, что закон распределения этой случайной погрешности – нормальный:

$$\Delta_{дог m} = t \cdot \sigma_m, \quad m=1,2,3, \quad (8)$$

где t – коэффициент Стьюдента, значение которого зависит от заданного значения доверительной вероятности $P_{дог}$ и числа проведенных изме-

рений n . При обработке результатов простых технических измерений доверительную вероятность обычно выбирают в пределах от 0,8 до 0,9.

3. Сравнение основной погрешности исследуемого вольтметра с ее нормированным значением для вольтметров данного типа

3.1. Для каждого из выбранных напряжений U_1, U_2, U_3 вычислить оценку суммарной основной абсолютной погрешности вольтметра

$$\Delta U_m = \bar{\Delta}_{ct} \pm \Delta_{дов m}, \quad m=1,2,3.$$

Значения $\bar{\Delta}_{ct}$ и $\Delta_{дов m}$ взять из табл. 2.

3.2. На рисунке 1, построенном при выполнении п. 1.1, отобразить область значений основной погрешности ΔU_m (рис.1), полученную экспериментально в точках шкалы U_1, U_2, U_3 :

$$\bar{\Delta}_{ct} - \Delta_{дов m} \leq \Delta U_m \leq \bar{\Delta}_{ct} + \Delta_{дов m}, \quad m=1,2,3. \quad (9)$$

3.3. Сделать вывод о соответствии погрешности, полученной экспериментально, нормируемой погрешности исследуемого прибора. Если экспериментальные оценки погрешности выходят за границы нормируемой погрешности, сделать вывод, какая из составляющих суммарной погрешности (случайная или систематическая), обуславливает этот выход.

4. Оценка вариации показаний аналогового вольтметра

Указание. Вариацией показаний b называют модуль разности значений измеряемой величины при установлении показаний прибора в данной точке его шкалы при плавном подходе к этой точке со стороны меньших и со стороны больших значений. Возникновение такой погрешности может быть обусловлено наличием «люфта» в механической системе, трением в опорах подвижных узлов, эффектами типа гистерезиса при перемагничивании и др. факторами. В итоге, указатель (стрелка) аналогового измерительного прибора может занять различное положение на шкале при одном и том же установившемся значении измеряемой величины, в зависимости от того, произошло ли это установление путем увеличения или путем уменьшения предыдущих показаний. При медленном и плавном перемещении указателя вариацию можно считать систематической погрешностью. Однако в обычной практике использования приборов показания могут изменяться и быстро, и медленно, путем увеличения и уменьшения предыдущих значений. Поэтому принято считать, что погрешность измерения, обусловленная вариацией показаний, имеет случайный характер, и закон ее распределения – равномерный на интервале $[0, \bar{b}]$.

$$\sigma_{вар} = \frac{\bar{b}}{\sqrt{12}}. \quad (10)$$

4.1. Использовать схему измерения (рис. 2), исследование выполнить на отметке шкалы U_2 .

4.2. Установить стрелку исследуемого прибора на выбранную отметку шкалы, медленно приближаясь к этому значению со стороны меньших значений, и записать соответствующее показание U_{1M} образцового цифрового вольтметра в табл. 3. Установить то же значение U_2 , медленно приближаясь к нему со стороны больших значений, и записать показание U_{16} .

Всего выполнить 10 таких измерений: 5 при подходе со стороны меньших значений (1,2,...,5M) и 5 – со стороны больших (1,2,...,56).

4.3. Вычислить разности показаний исследуемого и эталонного вольтметров для каждого измерения:

$$\Delta_{iM} = U_2 - U_{iM}, \quad \Delta_{i6} = U_2 - U_{i6}, \quad i = 1, \dots, 5.$$

4.4. Найти средние арифметические значения разностей показаний

$$\bar{\Delta}_M = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 \Delta_{iM} \quad \text{и} \quad \bar{\Delta}_6 = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 \Delta_{i6}.$$

Таблица 3

Результаты измерений и расчета вариации показаний

$U_2 = \quad (B)$										
i	1M	2M	3M	4M	5M	16	26	36	46	56
U_i, B										
Δ_i, B										
$\bar{\Delta}_M = \quad (B); \quad \bar{\Delta}_6 = \quad (B); \quad \tilde{\sigma} = \quad (B); \quad \sigma_{\tilde{\sigma}} = \quad (B)$										

4.5. Вычислить оценку вариации показаний

$$\tilde{\sigma} = \left| \bar{\Delta}_M - \bar{\Delta}_6 \right|.$$

4.6. Найти оценку среднеквадратического значения случайной погрешности прибора (1.10), обусловленной наличием вариации показаний. Сравнить значение $\sigma_{вар}$ со значениями σ_1 , σ_2 , σ_3 из табл.2. Если $\sigma_{вар}$ соизмеримо со значением σ_1 , σ_2 , или σ_3 , то следует

учесть влияние вариации при расчете сравнительного интервала случайной составляющей погрешности.

4.7. Записать результаты расчетов в табл. 3.

Содержание отчёта

1. Номер и наименование лабораторной работы.
2. Цель работы.
3. Схему подключения приборов.
4. Заполненные табл. (1–3) с заголовками.
5. Области значений абсолютных погрешностей, построенные по результатам выполнения пунктов. 1.1 и 3.2 (рис. 1).
6. Выводы о соотношении составляющих основной погрешности исследуемого вольтметра (Δ_C , σ , σ_δ) и соответствии его погрешности нормируемым значениям.

Контрольные вопросы

1. Дать определения:
 - абсолютной, относительной и приведенной погрешностей,
 - систематической и случайной составляющих погрешности,
 - доверительной вероятности и доверительного интервала случайной погрешности,
 - основной и дополнительной погрешностей,
 - аддитивной и мультипликативной погрешностей.
2. Как оценить систематическую составляющую погрешности прибора?
3. Как оценить доверительный интервал случайной погрешности однократного измерения при заданной доверительной вероятности и нормальном законе распределения?
4. В каких случаях при определении доверительного интервала для случайной погрешности с нормальным законом распределения следует использовать распределение Стьюдента?
5. Как правильно представить результат измерения?
6. Перечислить основные нормируемые метрологические характеристики средств измерений.
7. Каким образом нормируют погрешности средств измерений?
8. Что такое класс точности средств измерений? Какие существуют способы задания класса точности?
9. Каким образом можно оценить абсолютную погрешность результата измерений, если известен класс точности используемого прибора?
10. Что такое вариация показаний аналогового прибора и как можно ее оценить?

Глава 3. СРЕДСТВА И МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЙ

3.1. Классификация средств измерений.

3.2. Метрологические характеристики средств измерений, классы точности.

3.3. Методы измерений.

3.4. Поверочные схемы.

3.1. Классификация средств измерений

Технические средства, специально предназначенные для измерений, называют средствами измерительной техники. К средствам измерительной техники относят средства измерений и их совокупности, измерительные принадлежности и измерительные устройства.

Средствами измерений называют технические средства, которые используются при измерениях и имеют нормированные метрологические характеристики. К метрологическим характеристикам относят такие характеристики, которые влияют на результат измерений и на его погрешность. Средство измерений является обобщенным понятием, объединяющим самые разнообразные конструктивно законченные устройства, которые реализуют одну из двух функций:

1) воспроизводят величину заданного (известного) размера: например, гиря – заданную массу, магазин сопротивлений – ряд дискретных значений сопротивления;

2) вырабатывают сигнал (показание), несущий информацию о значении измеряемой величины. Показания средства измерений либо непосредственно воспринимаются органами чувств человека (например, показания стрелочного или цифрового прибора), либо являются недоступными для восприятия человеком и используются для преобразования другими техническими средствами.

По конструктивному исполнению, форме предоставления измерительной информации, функциональному назначению средства измерений подразделяют на меры, измерительные преобразователи, измерительные приборы, измерительные установки, измерительные системы.

Мера – средство измерений, предназначенное для воспроизведения и/или хранения физической величины одного или нескольких размеров, значения которых выражены в установленных единицах и

известны с необходимой точностью. Различают следующие разновидности мер:

- однозначная мера – мера, воспроизводящая физическую величину одного размера (например гири 1 кг);
- многозначная мера – мера, воспроизводящая физическую величину разных размеров (например штриховая мера длины);
- набор мер – комплект мер разного размера одной и той же физической величины, предназначенных для применения на практике как по отдельности, так и в различных сочетаниях (например, набор концевых мер длины).

Измерительный преобразователь – это средство измерений, предназначенное для преобразования сигналов измерительной информации в форму, удобную для дальнейшего преобразования, передачи, обработки, хранения. Измерительный преобразователь предназначен для выполнения измерительного преобразования – операции, при которой устанавливается взаимно однозначное соответствие между размерами преобразуемой и преобразованной физических величин, которые в общем случае являются неоднородными. Если входная и выходная величины измерительного преобразователя являются однородными, то он называется масштабным преобразователем, предназначенным для изменения размера величины или измерительного сигнала в заданное число раз.

По местоположению в измерительной цепи преобразователи делят на первичные и промежуточные.

Первичный измерительный преобразователь – преобразователь, на вход которого непосредственно воздействует измеряемая физическая величина, то есть первый преобразователь в измерительной цепи средства измерения. Конструктивно обособленные первичные преобразователи часто называют датчиками. Датчик может быть вынесен на значительное расстояние от средства измерений, принимающего от него сигналы измерительной информации. Промежуточные измерительные преобразователи располагаются в измерительной цепи после первичного преобразователя. Измерительные преобразователи очень разнообразны по конструктивному решению и принципам действия. К измерительным преобразователям относятся термодатчики, измерительные трансформаторы тока и напряжения, измерительные усилители, электромеханические измерительные механизмы, аналого-цифровые преобразователи и т.д.

Измерительный прибор – это средство измерений, предназначенное для получения значений измеряемой физической величины в установленном диапазоне ее измерения и выработки сигнала измерительной информации в форме, доступной для непосредственного восприятия наблюдателем. Измерительный прибор представляет собой совокупность преобразовательных элементов, образующих измерительную цепь, и **отсчетного устройства** – элемента средства измерений, преоб-

разующего измерительный сигнал в форму, доступную восприятию органами чувств человека.

По форме индикации измеряемой величины различают измерительные приборы:

- показывающие, которые допускают только отсчитывание показаний при измерении величины, например, стрелочный или цифровой вольтметр;
- регистрирующие, предусматривающие регистрацию показаний на каком-либо носителе информации. Регистрация может проводиться в аналоговой или цифровой форме; различают самопишущие и печатающие измерительные приборы.

По форме преобразования используемых измерительных сигналов измерительные приборы подразделяют на аналоговые и цифровые.

Аналоговые приборы – это приборы, показания или выходной сигнал которых является непрерывной функцией изменения измеряемой величины.

Цифровые приборы – это приборы, принцип действия которых основан на квантовании измеряемой или пропорциональной ей величины. Наличие операции квантования приводит к появлению у цифровых приборов специфических свойств, обуславливающих существенные отличия методов выбора, анализа, описания и нормирования метрологических характеристик от методов аналоговых приборов.

Измерительная установка – совокупность функционально объединенных средств измерений и вспомогательных устройств, предназначенная для измерений одной или нескольких физических величин и расположенная в одном месте.

Измерительная система – совокупность функционально объединенных средств измерений и вспомогательных устройств, размещенных в разных точках контролируемого объекта и соединенных между собой каналами связи, предназначенных для измерений одной или нескольких физических величин. И в установках, и в системах выходной сигнал измерительной информации может иметь форму, удобную как для непосредственного восприятия, так и для автоматической обработки, передачи и использования в автоматизированных системах управления. Измерительные системы разделяют на измерительные информационные, измерительные контролирующие, измерительные управляющие. Особо выделяют измерительно-вычислительные комплексы – функционально объединенную совокупность средств измерений, ЭВМ и вспомогательных устройств, предназначенных для выполнения в составе измерительной системы конкретной измерительной задачи.

Классификация средств измерений по роли в процессе измерения и выполняемых» функций, элементы которой были рассмотрены ранее, представлена на рис. 3.1.

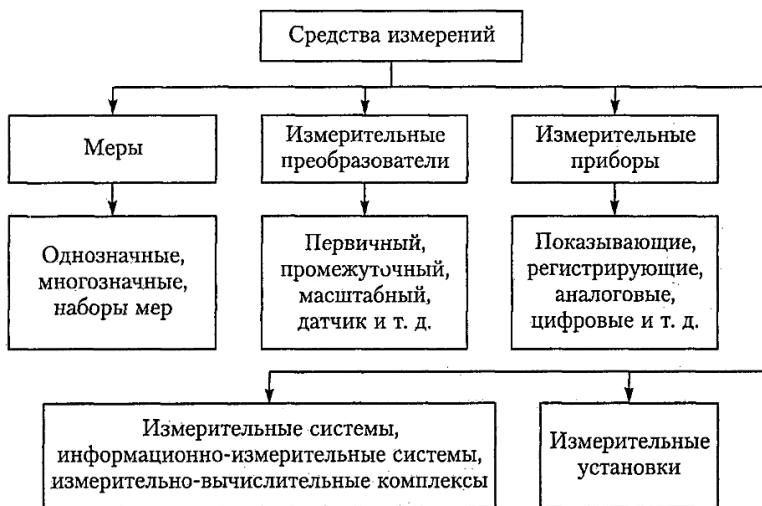


Рис. 3.1. Классификация средств измерений по роли в процессе измерения и выполняемым функциям

К измерительной технике относятся также средства сравнения – технические средства или специально создаваемая среда, посредством которых возможно сравнивать друг с другом меры однородных величин или показания измерительных приборов. Средство сравнения, предназначенное для сличения мер однородных величин, называют компаратором. Примерами таких устройств могут служить рычажные весы и компаратор для сличения нормальных элементов.

По роли, выполняемой в системе обеспечения единства измерений, средства измерений делят на:

- средства измерений, предназначенные для воспроизведения, хранения и передачи информации о размере единиц рабочим средствам измерений (эталон);
- средства измерений, предназначенные для получения измерительной информации в процессе измерения и не связанные с передачей информации о размере единицы (рабочие средства измерений).

По уровню автоматизации средства измерений подразделяют на три группы:

- неавтоматические средства измерений;
- автоматизированные средства измерений, выполняющие в автоматическом режиме часть операций, связанных с выполнением измерительной процедуры;

- автоматические средства измерений, выполняющие в автоматическом режиме все операции, связанные с выполнением измерительной процедуры и обработкой результатов.

По отношению к измеряемой физической величине средства измерений делят на основные и вспомогательные:

- основные – это средства измерений той физической величины, значение которой необходимо получить в соответствии с поставленной измерительной задачей;

- вспомогательные – это средства измерений той физической величины, влияние которой на основное средство измерений или объект измерения необходимо учесть для получения результатов измерения требуемой точности.

Особое место в измерительной технике занимают **индикаторы** – технические устройства, предназначенные для обнаружения (индикации) физических величин. Электрическая лампочка – индикатор электрического напряжения в сети, лакмусовая бумага – индикатор активности ионов водорода в растворах, вольтметр или амперметр в диагонали одинарного уравновешиваемого моста – индикатор наличия разности потенциалов между вершинами мостовой цепи. С помощью индикаторов устанавливается только наличие какой-либо физической величины или превышение уровня ее порогового значения, поэтому они не относятся к средствам измерений. Важнейшей технической характеристикой индикаторов является порог чувствительности (иногда его называют порогом реагирования). Чем меньше порог реагирования, тем более слабое проявление величины регистрируется индикатором. В ряде случаев нулевые индикаторы с грубым порогом реагирования не позволяют достичь высокой точности измерений. При выполнении измерения с использованием одинарного моста постоянного тока методом полного уравновешивания отсчетным (информативным) является плечо R3. Собственно отсчет снимают в тот момент, когда отсутствует ток в цепи нулевого указателя (индикатора). При использовании грубого нулевого указателя можно провести лишь грубое уравновешивание моста при помощи плеча R3 независимо от его собственных метрологических характеристик.

3.2. Метрологические характеристики средств измерений, классы точности

Важнейшими свойствами средств измерений являются те, от которых зависит качество (точность) получаемой с их помощью измерительной информации. С этой целью для каждого средства измерений вводятся и нормируются определенные метрологические характеристики

ки. Согласно РМГ 29-99, метрологические характеристики – это характеристики свойств средств измерений, влияющие на результат измерений и на его погрешность.

Характеристики, устанавливаемые в нормативной документации, называются нормированными, характеристики, определяемые экспериментально – действительными.

Метрологические характеристики (МХ) средств измерений позволяют:

- определять результаты измерений и рассчитывать оценки характеристик инструментальной составляющей погрешности измерения в реальных условиях применения средств измерений (инструментальной называется составляющая погрешности измерения, обусловленная погрешностью применяемого средства измерений);
- рассчитывать МХ каналов измерительных систем, состоящих из ряда средств измерений с известными МХ;
- производить оптимальный выбор средств измерений, обеспечивающих требуемое качество измерений при известных условиях их применения;
- сравнивать средства измерений различных типов с учетом условий применения.

Основным условием возможности решения перечисленных задач является наличие однозначной связи между нормированными МХ и инструментальными погрешностями. Эта связь устанавливается посредством математической модели инструментальной составляющей погрешности, в которой нормируемые МХ используются в качестве аргументов. Номенклатура МХ и способы их выражения должны быть оптимальными. Как показал опыт эксплуатации различных средств измерений, целесообразно нормировать комплекс МХ.

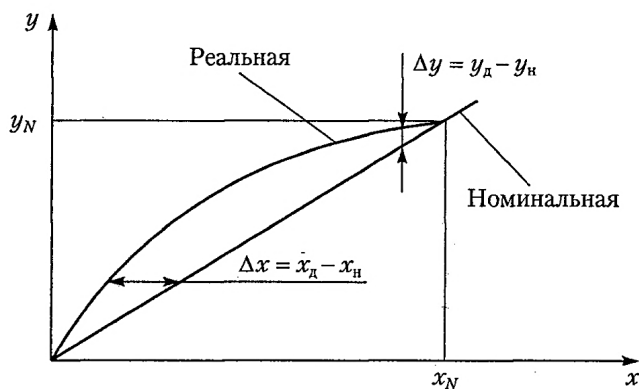


Рис. 3.2. Номинальная и реальная градуировочные характеристики

Учет всех нормируемых МХ средств измерений при оценивании погрешности результата измерений является сложной и трудоемкой процедурой, оправданной при измерениях повышенной точности. При измерениях на производстве и в обиходе такая точность не всегда нужна. В то же время определенная информация о возможной инструментальной составляющей погрешности измерений необходима. Такая информация дается указанием класса точности средства измерений.

Под **классом точности** понимают обобщенную характеристику точности средств измерений данного типа, определяемую пределами допускаемой основной погрешности. Классы точности присваивают средствам измерений при их разработке на основании исследований и испытаний представительной партии средств измерений данного типа. При этом пределы допускаемых погрешностей нормируют и выражают в форме абсолютных, приведенных или относительных погрешностей в зависимости от характера изменения погрешности в пределах диапазона измерения.

Основное различие в способах нормирования обусловлено разным соотношением аддитивной и мультипликативной составляющих погрешности тех или иных средств измерений. При чисто мультипликативной полосе погрешностей средства измерений (рис. 3.3,а) абсолютная погрешность A_x возрастает прямо пропорционально текущему значению x измеряемой величины. Поэтому относительная погрешность такого прибора или преобразователя оказывается постоянной величиной при любом значении x и ее удобно использовать для нормирования погрешностей средства измерений и указания его класса точности. Таким образом, например, нормируются погрешности масштабных преобразователей (делителей напряжения, шунтов и т.п.), при этом указываются границы рабочего диапазона, в которых такая оценка остается приблизительно справедливой.

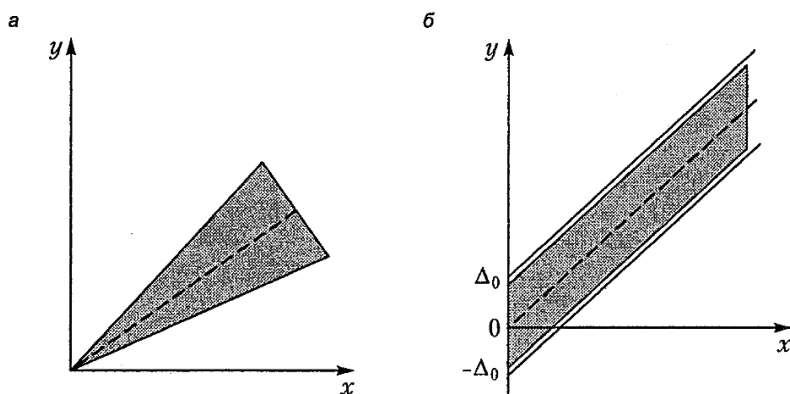


Рис. 3.3. Полосы погрешностей: а – мультипликативная; б – аддитивная

При чисто аддитивной полосе погрешностей (рис. 3.3,б) остается неизменной для любых значений x граница абсолютной погрешности нуля, $A_x = A_0 = const$. Но нормировать абсолютное значение не всегда удобно, поэтому на практике нормируют приведенное значение. Если нулевая отметка находится на краю или вне шкалы, нормирующее значение принимают равным верхнему пределу диапазона измерений, $X_k = X_k$. Если нулевая отметка находится посередине шкалы, то XN равно протяженности диапазона измерений. Например, для амперметра со шкалой от $-0,5$ до $+1,5$ А значение XN равно $2,0$ А.

Значение, выраженное в процентах, используется для обозначения класса точности таких средств измерений с аддитивной полосой погрешностей. Однако полагать, что вольтметр класса точности $0,1$ обеспечивает на всем диапазоне измерений получение результатов с относительной погрешностью не более $\pm 0,1\%$, является ошибкой. В действительности текущее значение относительной погрешности растет обратно пропорционально x и изменяется по гиперболе (рис. 3.4). Относительная погрешность равна классу точности, указанному в виде приведенной погрешности лишь на последней отметке шкалы ($x = X_k$), да и то если $XN = X_k$. При $x = 0,1X_k$ она в 10 раз больше, а при дальнейшем уменьшении стремится к бесконечности. При уменьшении измеряемой величины относительная погрешность результата измерений достигает 100% .

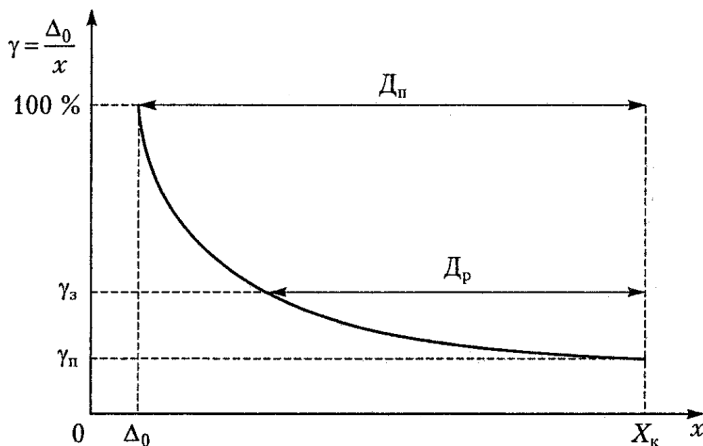


Рис. 3.4. Относительная погрешность при аддитивной полосе погрешностей

Полный диапазон значений измеряемой величины для любого преобразователя ограничивается снизу порогом чувствительности, а сверху — пределом измерений. Поскольку в области малых значений x относительная погрешность измерений велика, то рабочий диапазон ограни-

чивают снизу таким значением, при котором относительная погрешность не превосходит некоторого заранее заданного значения равного, например, 4, 10, 20%. Таким образом, рабочий диапазон может назначаться произвольно и составлять только некоторую часть полного диапазона средства измерений. Следует помнить, что для приборов с нормированной приведенной погрешностью предел абсолютной погрешности измерений остается постоянным на всем рабочем диапазоне, даже тогда, когда предел относительной погрешности достигает очень больших значений.

Если предел допускаемой погрешности средства измерений выражается в форме приведенной или относительной погрешности, то его класс точности всегда указывается в процентах. Если прибор имеет чисто мультипликативную полосу погрешностей, обозначаемое на шкале прибора значение класса точности обводится кружком, например предел допускаемой относительной погрешности $\pm 2\%$.

Если полоса погрешностей принята аддитивной, то класс точности указывается без каких-либо дополнительных обозначений, например просто 1,5 (установлен предел допускаемой приведенной погрешности $\pm 1,5\%$).

При одновременном присутствии аддитивной и мультипликативной составляющих при назначении класса точности используются более сложные зависимости. Например, обозначение класса точности 2,5 дается в виде дроби 0,02/0,01.

Еще одно обозначение класса точности применяется для измерительных приборов с существенно неравномерной шкалой, для которых установлен предел допускаемой приведенной погрешности. Нормирующее значение для таких приборов устанавливают равным длине шкалы или ее части, соответствующей диапазону измерений. В этом случае предел абсолютной погрешности выражают, как и длину шкалы, в единицах длины, а на шкалу прибора наносится обозначение класса точности в виде цифры, под которой находится знак v . Например, обозначение класса точности означает, что для данного прибора установлен предел допускаемой приведенной погрешности, составляющий 2,5% от длины шкалы, или действительное значение измеряемой величины должно находиться в пределах $\pm 2,5\%$ от длины шкалы, отсчитанных от установившегося положения стрелки.

Необходимо еще раз подчеркнуть, что класс точности является обобщенной характеристикой средств измерений данного типа. Значение его позволяет не определить погрешность конкретного измерения, а лишь указать пределы, в которых находится погрешность при измерении физической величины.

3.3. Методы измерений

При любом измерении происходит сравнение размера измеряемой величины с известной мерой. По способу применения меры различают методы непосредственной оценки и методы сравнения с мерой.

В методах непосредственной оценки (методах отклонения для электромеханических приборов) измеряемая величина предварительно преобразуется (в промежуточную величину, которая затем сравнивается с мерой этой величины).

Например, в электромеханических приборах сравнение измеряемой величины с мерой приводит к отклонению механизма сравнения, что используется для индикации значения измеренной величины. Измеряемая величина преобразуется во вращающий момент, который сравнивается с противодействующим моментом. В результате подвижная часть измерительного механизма поворачивается на определенный угол, соответствующий размеру измеряемой величины. Значение измеренной величины определяется по шкале, предварительно отградуированной с помощью образцовой меры этой величины.

С точки зрения получения результата измерения методы непосредственной оценки делятся на прямые и косвенные. Прямые методы характеризуются тем, что искомое значение физической величины определяют непосредственно в результате измерения, примером может служить измерение электрического сопротивления с помощью омметра. При косвенных методах искомое значение находят по известной зависимости между этой величиной и величинами, непосредственно измеряемыми. Так, электрическое сопротивление может быть рассчитано также по закону Ома, связывающему эту физическую величину с напряжением и током, значения которых могут быть измерены прямыми методами.

Методы отклонения имеют два существенных недостатка.

При возрастании отклонения увеличивается сила, действующая в механизме сравнения. При этом размер элементов механизма выбирается для условий максимального отклонения. В свою очередь, это приводит к увеличению погрешности измерения, особенно вблизи нижнего предела, и к нелинейности статической характеристики.

Энергия, необходимая для измерения, относительно велика и отбрасывается от исследуемого процесса, искажая размер измеряемой величины, то есть наблюдается воздействие средства измерений на измеряемую величину. Для измерения электрических величин с высокой точностью и высокой чувствительностью в большой группе средств измерений реализуется метод сравнения с мерой, при котором сравниваются размер измеряемой величины и размер, воспроизводимый мерой. В подавляющей большинстве случаев отличительной чертой методов срав-

нения является непосредственное участие в процессе измерения меры величины известного размера, однородной с измеряемой. Измерение при этом заключается в установлении равенства или определенного соотношения между размерами измеряемой величины и меры. Однако в некоторых случаях может быть использована и мера, неоднородная с измеряемой величиной. Например, при измерении индуктивности с помощью моста переменного тока в качестве меры можно использовать емкость конденсатора. В этих случаях значение измеряемой величины определяется на основании известной математической зависимости между измеряемой величиной и мерой, которая реализована в средстве измерений.

Все известные методы сравнения по характеру самой операции сравнения можно разделить на методы одновременного и разновременного сравнения.

При методах разновременного сравнения измерение проводится в два этапа, а результат определяется по двум измерениям: с участием измеряемой величины на первом этапе и меры – на втором. К разновременному сравнению относится метод замещения, при котором на вход прибора поочередно подключаются измеряемая величина и величина известного размера, воспроизводимого мерой, и по двум показаниям прибора определяется значение неизвестной величины.

К методам одновременного сравнения относятся методы совпадения, дифференциальный и нулевой (компенсационный).

При методе совпадения сравнивают размеры измеряемой величины и величины, воспроизводимой мерой, используя совпадение отметок шкал или периодических сигналов.

При дифференциальном методе разность размеров измеряемой величины и величины известной, воспроизводимой мерой, измеряется с помощью измерительного прибора. Размер неизвестной величины определяется как сумма размера известной величины и измеренной разности.

При нулевом методе разность между размерами измеряемой и известной величин в процессе измерения сводится к нулю, что фиксируется высокочувствительным прибором – нуль-индикатором.

Высокая точность измерений методами сравнения достигается благодаря высокой точности мер, воспроизводящих размеры известной величины, и высокой чувствительности измерительных приборов.

В процессе измерения измерительная информация передается с помощью сигналов. В зависимости от характера связи между измеряемой величиной и сигналами измерительной информации различают аналоговые и цифровые методы измерений. При аналоговом методе любому значению измеряемой величины (в пределах диапазона измерений) соответствует определенное значение сигнала измерительной информации. Примерами применения этого метода могут служить электромеха-

нические приборы (отсчетное устройство в виде шкалы со стрелкой) или регистрирующие самописцы с непрерывной формой записи.

Цифровой метод характеризуется тем, что результат измерения (числовое значение) формируется в измерительном устройстве. При этом вырабатываются дискретные сигналы измерительной информации, которые обрабатываются числовым способом. В качестве примеров применения этого метода приведем цифровые приборы (отсчетное устройство в виде цифрового табло), а также цифропечатающие устройства.

Каждый из этих методов имеет свои преимущества и недостатки. Так, точность отсчета обычно существенно выше при цифровом методе измерения. (При отсчете аналогового показания его точность зачастую зависит от способности оператора к интерполяции и ограничивается двумя-тремя десятичными разрядами.) С другой стороны, аналоговый вывод измеряемого значения имеет большую наглядность: например, наблюдать за стрелочным прибором существенно проще, чем за цифровыми показаниями.

3.4. Поверочные схемы

Единство измерений не может быть обеспечено без специальных мер, осуществляемых в рамках всего государства. В Российской Федерации существует система метрологического обеспечения имеющихся в стране средств измерений, то есть сеть государственных и негосударственных метрологических служб, деятельность которых направлена на обеспечение единства измерений и единообразия средств измерений. Эту сеть долгие годы возглавлял Комитет Российской Федерации по стандартизации, метрологии и сертификации (Госстандарт России).

Достижение единства измерений и единообразия средств измерений обеспечивается, прежде всего, их первичной поверкой или калибровкой при выпуске из производства, а в период эксплуатации – периодической поверкой или калибровкой, в процессе которых определяется соответствие метрологических характеристик установленным в документации нормам. Для поверки или калибровки измерительной техники используются более точные средства измерений, которые передают размер единицы физической величины рабочим средствам измерений. Эти более точные средства измерений называют эталонами единиц величин.

Эталон единицы величины – средство измерений, предназначенное для воспроизведения и хранения единицы величины (или кратных либо дольных значений единицы величины) с целью передачи ее размера другим средствам измерений данной величины.

Эталон единицы величины также периодически получает размер единицы (периодическая поверка) от более точного средства измере-

ний – эталона более высокого разряда. А тот, в свою очередь, от еще более точного, и так до тех пор пока «цепочка» передачи единицы не придет к средству измерений, имеющему высшую точность воспроизведения единицы в стране, – государственному эталону единицы величины.

Государственный эталон единицы величины – это эталон единицы величины, признанный решением уполномоченного на то государственного органа и качестве исходного на территории Российской Федерации.

Согласно Закону РФ «Об обеспечении единства измерений», государственные эталоны единиц величин являются исключительной федеральной собственностью, подлежат утверждению Госстандартом России и находятся в его ведении.

Государственные эталоны единиц величин используются в качестве исходных для воспроизведения и хранения единиц величин с целью передачи их размеров всем средствам измерений данных величин на территории Российской Федерации. Поскольку число рабочих средств измерений по каждому из видов измерений может достигать сотен тысяч и даже миллионов экземпляров (вольтметры, амперметры, манометры, термометры и т. д.), государственный эталон не в состоянии обеспечить передачу размера воспроизводимой единицы даже небольшой части рабочих средств измерений. Единица физической величины передается от государственного эталона другим средствам измерений с помощью «многоэтажной» системы эталонов, называемой поверочной схемой.

Поверочная схема для средств измерений – нормативный документ, устанавливающий соподчинение средств измерений, участвующих в передаче размера единицы от эталона рабочим средствам измерений (с указанием методов и погрешности при передаче).

В общем виде поверочную схему можно представить в виде пирамиды, в основании которой находится вся совокупность рабочих средств измерений одной и той же физической величины, вершину занимает исходный эталон, а на промежуточных этажах расположены рабочие эталоны различных разрядов в соответствии с их точностью. Такая схема позволяет проследить последовательность передачи размера единицы и представить количественную сопоставимость эталонов различных разрядов и рабочих средств измерений.

Различают государственные и локальные поверочные схемы.

Государственная поверочная схема – поверочная схема, распространяющаяся на все средства измерений данной физической величины, имеющиеся в стране.

Локальная поверочная схема – поверочная схема, распространяющаяся на средства измерений данной физической величины, применяемые в регионе, отрасли, в ведомстве или на отдельном предприятии (в организации).

В период существования СССР поверочные схемы были обязательны для исполнения на всех уровнях распространения. Государственные поверочные схемы утверждались государственными стандартами (ГОСТами) и действовали на территории всей страны. Ведомственные поверочные схемы устанавливались отраслевыми стандартами (ОСТАми) и действовали в отрасли. На предприятиях действовали локальные поверочные схемы, вводимые стандартом предприятия (СТП). При этом поверочная схема более низкого ранга не должна была противоречить поверочной схеме, действующей в более широкой области.

Достоинством такой системы было рациональное использование парка образцовых приборов (образцовые приборы сейчас называют эталонами), использовавшихся для поверки других средств измерений. Недостаток жесткой системы соблюдения предписаний поверочной схемы – это необходимость иметь во всех центрах поверки большое количество образцовых средств измерений, так как нельзя было доверять рабочие средства измерения низкой точности с помощью образцовых средств измерений высокого разряда, предназначенных для поверки более точных приборов.

Контрольные вопросы

1. В чем отличие средств измерений от индикаторов?
2. Какие функции реализуют средства измерений?
3. Дайте классификацию средств измерений по конструктивному исполнению, форме представления измерительной информации и функциональному назначению.
4. Приведите примеры однозначных и многозначных мер.
5. В чем отличие первичных измерительных преобразователей от промежуточных?
6. Как называются преобразователи для однородных физических величин?
7. Что такое датчик?
8. Чем измерительный прибор отличается от измерительного преобразователя?
9. Как различают измерительные приборы по форме индикации?
10. Как различают измерительные приборы по форме преобразования измерительных сигналов?
11. В чем отличие измерительной установки от измерительной системы?
12. Приведите примеры информационных контролирующих и управляющих измерительных систем.
13. В чем отличие автоматизированного средства измерений от автоматического?

14. В чем отличие основных средств измерений от вспомогательных средств измерений?
15. В чем отличие нормированных метрологических характеристик от действительных?
16. Какие задачи решаются с учетом метрологических характеристик средств измерений?
17. Перечислите основные группы метрологических характеристик.
18. Чем отличается мультипликативная и аддитивная полосы погрешностей?
19. Приведите примеры обозначения классов точности для относительной и приведенной погрешностей.
20. Как обозначается класс точности при одновременном присутствии аддитивной и мультипликативной составляющих?
21. Приведите количественные характеристики метрологической надежности.
22. Укажите цели метрологической аттестации средств измерений.
23. Как осуществляется контроль за разработкой изготовлением и эксплуатацией нестандартизированных средств измерений?
24. Укажите правовую основу обеспечения единства измерений.
25. Укажите техническую основу обеспечения единства измерений.
26. В каких случаях возможно децентрализованное воспроизведение единиц измерений?
27. В чем отличие первичных, вторичных, и рабочих эталонов?
28. Приведите схему передачи информации о размере единицы от государственного эталона к рабочим средствам измерений.
29. Перечислите виды средств поверок измерения.
30. В каких случаях проводится калибровка средств измерений?
31. Приведите структуру государственной метрологической службы РФ.
32. В каких сферах деятельности обязательен метрологический контроль и надзор?

Лабораторный практикум. Измерение частоты и временных интервалов

Цель работы: овладеть основными (наиболее часто встречающимися на практике) методами измерения частоты и временных интервалов.

1. Краткая теория

Неотъемлемой составной частью любого универсального осциллографа является генератор развертки, структурно принадлежащий каналу «X». Существует несколько видов разверток. Рассмотрим некоторые из них.

Линейная развертка является наиболее распространенным видом развертки. 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.

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 (рис. 1).

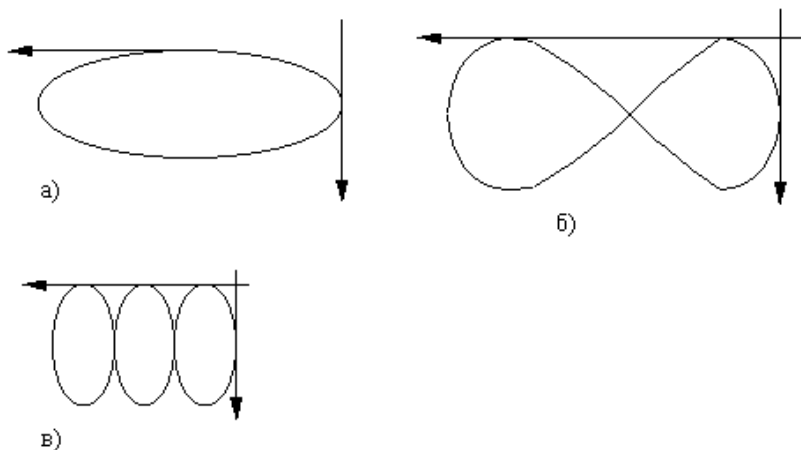


Рис. 1. Фигуры Лиссажу, получающиеся при разном соотношении частот:
 а) $F_x/F_y=1/1$; б) $F_x/F_y=1/2$; в) $F_x/F_y=1/3$

2. Приборы и оборудование

Осциллограф С1-64А, звуковой генератор ГЗ-102 (2 шт.), частотомер ЧЗ-36 или ЧЗ-57.

Технические данные

1. Электронный частотомер ЧЗ-36.

Экстремальные значения (в диапазоне 10 Гц – 50 МГц) при входном напряжении:

0.1 – 10 В – для синусоидального сигнала в диапазоне 10 Гц – 30 МГц

0.2 – 10 В – для синусоидального сигнала в диапазоне 30 – 50 Гц

0.5 – 10 В – для импульсного сигнала.

2. Осциллограф универсальный С1-64А.

Минимальная частота следования линии развертки, при которой обеспечивается наблюдение и измерение предельно быстрого исследования сигнала 20 Гц.

Предел допускаемой основной погрешности измерения напряжения $\pm 5\%$ при измеряемом размере изображения от 2 до 8 делений.

3. Генератор сигналов низкочастотный ГЗ-102.

I поддиапазон ($\times 1$) от 20 до 200 Гц

II поддиапазон ($\times 10$) свыше 200 Гц до 2 кГц

III поддиапазон ($\times 10^2$) свыше 2 до 20 кГц

IV поддиапазон ($\times 10^3$) свыше 20 до 200 кГц

Погрешность по техническим данным:

$$\pm \left(1 + \frac{50}{f_H} \right) \% \quad (1^*)$$

в диапазоне частот свыше 200 Гц до 20 кГц (II – IV диапазоны)

$$\pm \left(2 + \frac{50}{f_H} \right) \% \quad (1^{**})$$

в диапазоне частот свыше 20 до 200 Гц (I диапазон)

3. Выполнение работы

1. Соединить приборы по схеме, приведенной на рис. 2.
2. Устанавливая частоту поверяемого генератора, указанную в таблице, подбирается частота генератора-эталона по фигурам Лиссажу для отношения частот 1:1. В таблицу заносятся частота поверяемого генератора по показаниям частотомера и генератора-эталона.

Таблица 1

Результаты поверки

f генератора поверки (f _{ген}), Гц	f частотомера, Гц (f _{уч})	f генератора эталона, Гц (f _{оцт})	δ f _z , %	δ f _o , %	δ f _{оцт тех} , %
20					
50					
100					
200					
500					
1000					
2000					
5000					
10 000					
20 000					
50 000					
100 000					

3. Рассчитать погрешности измерений $\delta f_{\text{осц тех}}$ по формуле (1*) и (1**), а погрешности δf_z и δf_o – по формуле (2) и (3).

$$\delta f_z = \frac{f_{\text{ген}} - f_{\text{ун}}}{f_{\text{ун}}} \cdot 100 \% \quad (2)$$

$$\delta f_o = \frac{f_{\text{осц}} - f_{\text{ун}}}{f_{\text{ун}}} \cdot 100\% \quad (3)$$



Рис. 2. Схема соединения приборов

Содержание отчёта

Отчет по лабораторной работе должен содержать технические данные приборов, схемы всей измерительной установки, рисунки фигур Лиссажу, результаты измерений, расчеты и выводы.

Контрольные вопросы

1. Что такое фигуры Лиссажу?
2. Какие виды разверток вы знаете?
3. Известно какой вид имеет фигура Лиссажу при соотношении частот генераторов $1/2$. Почему для поверки генераторов используют фигуру Лиссажу, которая получается при соотношении частот $1/1$?

Список литературы

1. Дворяшин, Б.В. Основы метрологии и радиоизмерения: учеб. пособие для вузов / Б.В. Дворяшин. – М.: «Радио и связь», 1993.
2. Винокуров, В.И. Электрорадиоизмерения / В.И. Винокуров, С.И. Каплин, Н.Г. Петелин. – М., 1986.
3. Кузнецов В.А. Основы метрологии / В.А. Кузнецов, Г.В. Ялунина. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 1998. – 336 с.

Глава 4. ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

- 4.1. Масштабные измерительные преобразователи.
- 4.2. Электромеханические измерительные преобразователи и приборы.
- 4.3. Электронные аналоговые приборы.
- 4.4. Электронно-лучевые осциллографы.
- 4.5. Цифровые измерительные преобразователи и приборы.
- 4.6. Измерительные информационные системы.

4.1. Масштабные измерительные преобразователи

Масштабным называется измерительный преобразователь, входная и выходная величины которого однородны и который изменяет значение электрической величины в заданное число раз.

К масштабным измерительным преобразователям относятся шунты, добавочные сопротивления, делители напряжения, измерительные усилители, измерительные трансформаторы тока и напряжения. Применение этих преобразователей позволяет изготавливать приборы для разных пределов измерений, расширять пределы измерений уже существующих приборов.

Токовые шунты применяются для расширения пределов измерений амперметров путем уменьшения в определенное число раз силы электрического тока, проходящего через амперметр. Это бывает необходимо, когда значение измеряемого тока превосходит диапазон измерений измерительного прибора (амперметра).

Шунт представляет собой резистор, включаемый параллельно входу измерительного прибора (рис. 4.1). В этом случае измеряемый ток, распределится между шунтом и измерительным прибором обратно пропорционально значениям их сопротивлений.

$$I_1 = I_2 \left(1 + \frac{R_{III}}{R_{III}} \right) = nI_2,$$

где $n = I_1/I_2$ – коэффициент шунтирования.

Шунты могут быть многопредельными. В амперметрах, предназначенных для измерения небольших значений токов (до 30 А), шунты помещают, как правило, в корпус прибора; в приборах для измерения

больших значений применяют наружные шунты как самостоятельные средства измерений, которые имеют две пары зажимов: токовые и потенциальные. Токовые зажимы служат для включения шунта в измерительную цепь, к потенциальным зажимам, сопротивление между которыми равно $R_{ш}$, подключают измерительный прибор. Классы точности выпускаемых шунтов лежат в пределах от 0,02 до 0,5. Они позволяют расширить пределы измерения токов до 15 000 А и более.

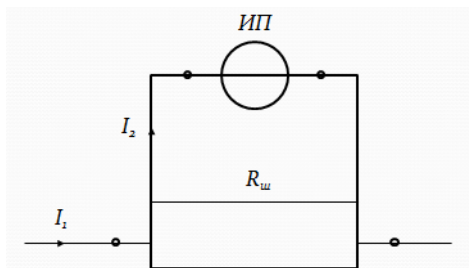


Рис. 4.1. Схема включения шунта для расширения пределов измерения амперметра

Токовые шунты, выпускаемые как отдельное средство измерений, имеют нормированное номинальное значение падения напряжения между потенциальными зажимами, соответствующее номинальному значению тока. В эксплуатации имеются шунты постоянного тока с номинальными значениями напряжения 60, 75, 150 мВ. По этой причине к токовому шунту можно непосредственно подключать не амперметр, а милливольтметр.

Шунты применяют в основном в цепях постоянного тока. В цепях переменного тока возникает дополнительная составляющая погрешности, обусловленная реактивной составляющей сопротивления шунта, и с увеличением частоты значения сопротивления шунта и амперметра изменяются неодинаково.

Для измерения импульсных токов до 100 кА изготавливаются так называемые безреактивные шунты. Вольтметры, изготовленные на основе измерителей тока (например магнитоэлектрической или электромагнитной системы), имеют встроенное добавочное сопротивление, включенное последовательно с измерительным механизмом. Обозначив через I_{max} ток, вызывающий отклонение стрелки механизма на полную шкалу, увидим, что $I_{max} = U_{max} / (R_{ин} + R_0)$, где R_0 – значение добавочного сопротивления. Отсюда находим верхний предел измерений полученного вольтметра: $U_{max} = I_{max}(R_{ин} + R_0)$. Из формулы видно, что механизм, стрелка которого отклоняется на полную шкалу при значении тока I_{max} , можно использовать как вольтметр с верхним пределом измерений I_{max} .

Таким образом, подобрав соответствующее добавочное сопротивление, можно получить необходимый предел измерений напряжения.

Переносные вольтметры, как правило, делают многопределными. Это означает, что в их конструкции предусмотрены добавочные сопротивления для каждого предела измерений. Добавочные сопротивления встраивают в корпус вольтметра с верхним пределом измерений до 300–1000 В. Для измерений более высоких напряжений (до 100 кВ и выше) добавочные сопротивления изготавливаются в виде отдельного средства измерений.

Добавочное сопротивление для вольтметров переменного тока должно иметь как можно меньшее значение реактивной составляющей, чтобы его полное сопротивление меньше зависело от частоты. Это достигается путем биполярной намотки сопротивлений или намотки на плоских пластинках.

Для намотки сопротивлений используют сплавы с высоким удельным сопротивлением и малым значением температурного коэффициента: манганин, нихром, константан и т.д. Для приборов невысокой точности применяют также серийные радиотехнические неметаллические сопротивления.

Классы точности добавочных сопротивлений, изготовленных как отдельное средство измерений, лежат в пределах от 0,02 до 1,0. Номинальный ток, соответствующий номинальному напряжению, составляет 0,1–30 мА. Добавочные сопротивления, изготовленные как отдельное средство измерений, как правило, применяют на постоянном токе и включают последовательно с мили- или микроамперметром.

Для добавочных сопротивлений и токовых шунтов класс точности обозначает предел допускаемой относительной погрешности, выраженной в процентах.

Для уменьшения напряжения в определенное число раз применяются делители напряжения, представляющие собой в общем случае последовательное соединение двух сопротивлений (называемых высоковольтным и низковольтным плечом), подключаемых к двум точкам электрической цепи, напряжение между которыми необходимо измерить. Коэффициент деления определяется из выражения:

$$K_D = \frac{z_B + z_H}{z_H}; z_B \text{ и } z_H - \text{значения полных сопротивлений высоковольтного и низковольтного плеча делителя соответственно.}$$

К выходу делителя (к низковольтному плечу) подключают вольтметр, по показаниям которого U_n определяют искомое значение измеряемого напряжения $U = K_n U_B$.

В зависимости от рода измеряемого напряжения делители могут быть выполнены на чисто активных, емкостных, индуктивных элемен-

тах или смешанного типа, изготовленные на комбинации активных, емкостных и индуктивных элементов. Делители напряжения либо встраиваются в средства измерений, либо изготавливаются как отдельное средство измерений.

Делители напряжения могут быть предназначены для измерений самых разных сигналов. От этого зависят их конструкция и метрологические характеристики.

Так, для масштабного преобразования постоянных напряжений применяют делители напряжения на чисто активных сопротивлениях классов точности от 0,001 до 0,1 и классов напряжений от 100 В до 300 кВ и выше.

4.2. Электромеханические измерительные преобразователи и приборы

Электромеханические измерительные преобразователи (измерительные механизмы) и приборы относятся к аналоговым устройствам, показания которых являются непрерывной функцией изменений измеряемой величины. Электромеханический прибор состоит из двух основных частей: измерительной цепи и электромеханического измерительного преобразователя (измерительного механизма). Измерительная цепь, обычно представляющая собой масштабный измерительный преобразователь, преобразует измеряемую величину в другую величину, непосредственно воздействующую на измерительный механизм. В измерительном механизме, состоящем из подвижной и неподвижной частей, электромагнитная энергия этой величины преобразуется в механическую энергию перемещения подвижной части относительно неподвижной. Поскольку обычно применяется угловое перемещение, то в дальнейшем будут рассматриваться не силы, действующие в приборе, а моменты.

На основании второго закона Ньютона запишем для подвижной части измерительного механизма уравнение для вращающихся тел, учитывающее наиболее важные моменты, действующие на подвижную часть:

Нарастающий момент возникает и однозначно определяется измеряемой величиной γ , но и в общем случае может зависеть также от угла поворота подвижной части то есть – коэффициента успокоения. Знак «минус» показывает, что момент успокоения, как и противодействующий, направлен навстречу вращающему моменту. Задачей является обеспечение плавного и аperiodического движения подвижной части измерительного механизма. От него в значительной степени зависит важный эксплуатационный параметр прибора – время успокоения. Момент успокоения создается либо применением специальных уст-

ройств, называемых демпферами, или успокоителями, либо без них. В зависимости от конструкции приборов в них применяются магнитоиндукционные, жидкостные или воздушные успокоители.

Несмотря на то, что электромеханические приборы существенно различаются по своему устройству, имеется ряд деталей и узлов, общих для всех таких приборов.

Корпус прибора защищает измерительный механизм от внешних воздействий (механических повреждений, пыли, в отдельных случаях – воды и газов) и чаще всего выполняется из пластмассы.

Для определения числового значения измеряемой величины приборы имеют отсчетное устройство, состоящее из шкалы и указателя. Шкала прибора обычно представляет собой пластину белого цвета, на которую нанесены черные отметки, соответствующие определенным значениям измеряемой величины, и условные обозначения. Номенклатура, изображение и место расположения условных обозначений устанавливаются нормативными документами. В соответствии с ними на шкалу наносят единицу измерения измеряемой величины, класс точности прибора, род тока, товарный знак предприятия изготовителя, заводской номер, год изготовления или заменяющий его шифр, знак государственного реестра, испытательное напряжение изоляции, используемое положение прибора (горизонтальное, вертикальное или под углом, если это положение имеет значение), символ, указывающий принцип действия прибора.

Указатели применяются стрелочные и световые. В первом случае стрелка, жестко соединенная с подвижной частью измерительного механизма, перемещается над шкалой прибора. При световом способе отсчета на оси подвижной части закрепляется зеркальце, освещаемое специальным осветителем; отраженный от зеркальца световой луч падает на шкалу и образует на ней световое пятно с темной нитью посередине. Применение светового указателя увеличивает чувствительность прибора, поскольку при этом масса и момент инерции подвижной части существенно уменьшаются, кроме того, меняя расстояние между шкалой и осью подвижной части, можно сделать длину луча довольно большой, что при одном и том же угловом перемещении увеличивает линейное перемещение.

Основной составной частью магнитоэлектрических приборов является магнитоэлектрический измерительный механизм (преобразователь), в котором вращающий момент создается в результате взаимодействия магнитного поля постоянного магнита и проводника с током, выполняемого обычно в виде рамки (катушки), по которой протекает измеряемый ток.

Основными узлами магнитоэлектрического измерительного механизма являются магнитная система и подвижная часть. Конструктивно

различают магнитоэлектрические механизмы с подвижной рамкой и с подвижным магнитом. Наиболее широко распространен механизм с подвижной рамкой. В свою очередь измерительные механизмы с подвижной рамкой делятся на механизмы с внешним магнитом и с внутренним магнитом.

По способу создания противодействующего момента магнитоэлектрические измерительные механизмы подразделяются на измерительные механизмы с механическим противодействующим моментом и с электрическим противодействующим моментом (логометры).

Момент успокоения создается магнитоиндукционным путем (без применения специальных успокоителей) за счет взаимодействия токов, наводимых в дюралюминиевом каркасе подвижной рамки и в цепи самой рамки, с полем постоянного магнита.

По существовавшей до недавнего времени классификации в названии типа приборов используется буква М (например М4263). В современных условиях возможны и другие обозначения.

Магнитоэлектрический измерительный механизм с механическим противодействующим моментом приведен на рис. 4.2, где показано устройство магнитоэлектрического измерительного механизма с подвижной рамкой (катушкой) и внешним магнитом, где 1 – постоянный магнит, 2 – магнитопровод, 3 – полюсные наконечники, 4 – неподвижный сердечник, 5 – спиральная пружина, 6 – подвижная рамка, 7 – рабочий воздушный зазор, 8 – указатель. Ток к подвижной рамке подводится через две спиральные пружины. При протекании через нее тока i возникает вращающий момент. Рамка перемещается в узком воздушном зазоре толщиной 1...2 мм, в котором создается радиальное магнитное поле с постоянной магнитной индукцией B .

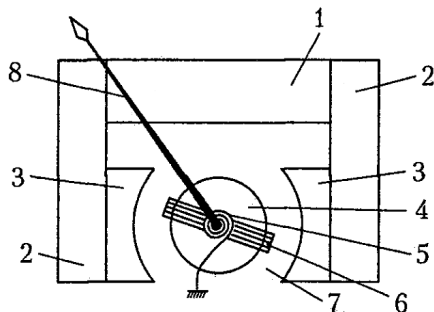


Рис. 4.2. Устройство магнитоэлектрического измерительного механизма с подвижной рамкой

Энергия электромагнитного поля, сцепляющегося с подвижной рамкой, с учетом энергии, запасаемой в самой рамке.

Для установившегося угла поворота подвижной части измерительного механизма:

$$\alpha = \frac{BS\omega i}{W} = S_I i,$$

где $S_I = \frac{BS\omega}{W}$ – чувствительность измерительного механизма к току,

S – площадь рамки, ω – число витков обмотки рамки, W – удельный противодействующий момент, зависящий от свойств упругого элемента.

Из выражения следует, что магнитоэлектрический измерительный механизм с механическим противодействующим моментом непосредственно является измерителем тока. Кроме того, поскольку величина постоянная, не зависящая от измеряемой величины и угла поворота подвижной части, прибор будет иметь равномерную шкалу.

Учитывая, что у магнитоэлектрических измерительных механизмов период собственных (свободных) колебаний подвижной части приблизительно 1с (частота собственных колебаний $\omega_0 = 6,28 \text{ с}^{-1}$), на частотах свыше 10 Гц рамка в силу своей инерционности не будет успевать реагировать на изменения тока.

Вследствие этого угол поворота подвижной части будет определяться средним за период – T значением вращающего момента.

Таким образом, при синусоидальном токе, соответственно, угол поворота подвижной части, равен нулю. Поэтому для измерений на синусоидальном токе магнитоэлектрические измерительные механизмы не применяют.

Периодический ток с периодом T несинусоидальной формы аналитически может быть представлен в виде разложения в ряд Фурье по гармоническим составляющим.

Магнитоэлектрические измерительные механизмы с механическим противодействующим моментом применяются главным образом в амперметрах и вольтметрах постоянного тока, гальванометрах, а также в некоторых типах омметров.

Магнитоэлектрические амперметры и вольтметры. В амперметрах измерительный механизм включается в цепь непосредственно или с помощью шунта. Непосредственное включение (без шунта) применяется при измерении токов, допустимых для токоподводящих пружинок (или растяжек) и обмотки рамки подвижной части измерительного механизма. Значение таких токов не превышает 30 мА, то есть непосредственное включение характерно только для микро и миллиамперметров. В остальных случаях в амперметрах используют шунты. В многопредельных амперметрах используют многопредельные шунты.

В вольтметрах последовательно с измерительным механизмом включается добавочный резистор, и это соединение подключается к тем точкам схемы, между которыми необходимо измерить напряжение. В многопредельных вольтметрах используют несколько добавочных резисторов.

Магнитоэлектрические амперметры и вольтметры имеют весьма широкий диапазон измеряемых величин – от сотых долей микроампера и десятых долей милливольт до десятков килоампер и сотен киловольт. Этот диапазон определяется высокой чувствительностью измерительного механизма (при измерениях малых токов и напряжений) и возможностями применяемых шунтов и добавочных резисторов (при измерении токов и напряжений больших значений).

С точки зрения применения амперметры и вольтметры выпускают переносными и щитовыми. Переносные приборы в большинстве случаев делают высокоточными (классов 0,1–0,5), многопредельными и часто комбинированными. Щитовые приборы, как правило, выпускают однопредельными, чаще всего классов точности 1,0, 1,5 и 2,5.

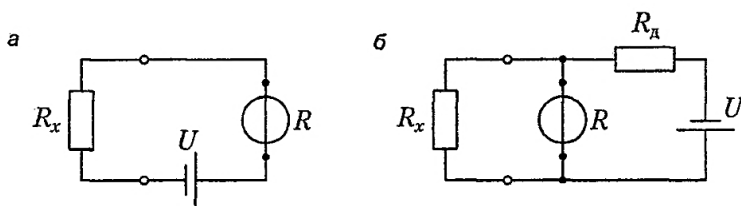


Рис. 4.3. Схемы омметров: а – с последовательным; б – с параллельным включением измерительного механизма и объекта исследования

Магнитоэлектрические омметры. Омметры выпускают с последовательным (рис. 4.3,а) и параллельным (рис. 4.3,б) включением измерительного механизма и объекта исследования. При последовательном включении угол поворота подвижной части измерительного механизма:

$$a = \frac{S_I U}{R + R_x},$$

а при параллельном включении:

$$a = \frac{S_I U R_x}{R R_x + R_d (R + R_x)},$$

где S_I – чувствительность измерительного механизма к току; R – сопротивление измерительного механизма; R_x – измеряемое сопротивление; R_d – сопротивление добавочного резистора, необходимого для ограничения тока в параллельной схеме; U – напряжение источника питания.

Из выражений следует:

1) угол поворота подвижной части определяется значением R_x , поэтому шкала прибора может быть проградуирована в единицах измерения сопротивления (Ом) при постоянном напряжении источника питания, при этом получаемая шкала при обеих схемах включения неравномерна;

2) так как показания прибора зависят от изменения напряжения питания, то в этих омметрах постоянным поддерживается значение произведения $SU = const$, а следовательно, и $S_I U = const$. Это обеспечивается встраиванием в магнитную систему прибора магнитного шунта в виде ферромагнитной пластинки переменного сечения, шунтирующего рабочий воздушный зазор. Перемещая эту пластинку с помощью специальной ручки на панели прибора, можно менять магнитную индукцию B , а значит, и чувствительность S_I , компенсируя изменение напряжения источника питания.

Последовательная схема применяется для измерения больших сопротивлений (до сотен МОм), параллельная для измерения малых (до 1000 Ом). Обычно омметры выполняют в виде переносных приборов классов точности 1,5 и 2,5.

Основными достоинствами магнитоэлектрических приборов являются равномерная шкала, высокая точность и высокая чувствительность.

Равномерность шкалы связана с независимостью чувствительности к току S , от угла поворота подвижной части и измеряемой величины. Высокая точность объясняется рядом причин. Наличие равномерной шкалы уменьшает погрешности градуировки и отсчета. Влияние внешних электрических полей отсутствует, а влияние внешних магнитных полей незначительно благодаря сильному собственному магнитному полю в воздушном зазоре (0,2–1,2 Тл). По этой же причине приборы имеют малое собственное потребление энергии. В отношении чувствительности магнитоэлектрические приборы не имеют себе равных среди электромеханических приборов. Например, микроамперметр М95 имеет ток полного отклонения 0,1 мкА (при классе точности 1,0). Именно поэтому гальванометры как приборы, обладающие наибольшей чувствительностью, в подавляющем большинстве бывают только магнитоэлектрическими.

К недостаткам магнитоэлектрических приборов следует отнести невозможность их непосредственного применения для измерения в цепях переменного тока, невысокую перегрузочную способность (при перегрузке обычно перегорают токоподводящие пружинки или растяжки), подверженность влиянию температуры. Наиболее неблагоприятным в отношении влияния температуры является амперметр с шунтом. При неизменном токе с повышением температуры сопротивления измерительного механизма и шунта меняются по-разному, вследствие чего происходит перераспределение токов между шунтом и подвижной

катушкой. Для уменьшения возникающей температурной погрешности применяют схемы термокомпенсации. Здесь уменьшение температурной погрешности достигается за счет включения последовательно с измерительным механизмом сопротивления K_d из манганина.

Магнитоэлектрические гальванометры. Гальванометром называется прибор с неградуированной шкалой, имеющий высокую чувствительность к току и напряжению. Высокая чувствительность достигается уменьшением противодействующего момента и использованием светового указателя с большой длиной светового луча.

Шкала не градуируется, поскольку градуировочная характеристика существенно зависит от внешних влияющих факторов. В этом случае в качестве метрологических характеристик гальванометров указывают их чувствительность к току и сопротивление рамки.

В гальванометрах используются как стрелочные, так и световые указатели. Подвижная часть прибора устанавливается на растяжках или крепится на полисе, что требует установки по уровню.

4.3. Электронные аналоговые приборы

Электронные аналоговые приборы представляют собой средства измерений, в которых сигналы измерительной информации преобразуются с помощью аналоговых электронных устройств (преобразователей). С помощью этих устройств удается обеспечить высокий уровень метрологических характеристик приборов, в том числе высокую чувствительность, широкий диапазон измерений, большое входное сопротивление и малое потребление мощности от измерительной цепи.

В электронных вольтметрах измеряемое напряжение с помощью электронного измерительного преобразователя преобразуется в постоянный ток, который подается на магнитоэлектрический измерительный механизм со шкалой, градуированной в единицах напряжения – вольтах. По назначению и принципу действия электронные вольтметры подразделяют на вольтметры для измерения постоянного напряжения, переменного напряжения, универсальные, импульсные и селективные.

Упрощенная структурная схема вольтметра для измерения постоянного напряжения показана на рис. 4.4. Здесь ВД – входной многопредельный делитель напряжения, УПТ – усилитель постоянного тока, ИП – магнитоэлектрический прибор.

Входной делитель и усилитель постоянного тока обеспечивают высокое входное сопротивление (вплоть до 1 ГОм) и расширение диапазона измеряемых напряжений. Усилитель постоянного тока имеет большое входное и малое выходное сопротивления. Он должен обеспечивать необходимый и стабильный коэффициент усиления и, следовательно, высокую чувствительность вольтметра. Однако повышение чувстви-

тельности путем увеличения коэффициента усиления УПТ сталкивается с техническими трудностями, связанными с нестабильностью работы УПТ, выражающейся в изменении коэффициента преобразования и дрейфе «нуля» (самопроизвольном изменении выходного сигнала) усилителя. В связи с этим верхний предел измерений таких вольтметров не бывает ниже единиц милливольт.

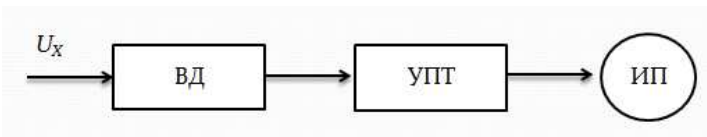


Рис. 4.4. Упрощенная структурная схема вольтметра

Среднее значение выходного сигнала детектора, пропорциональное входному напряжению $U_{cp} = kU_x$, измеряется магнитоэлектрическим прибором ИП. Такая схема позволяет практически избежать дрейфа «нуля» и имеет стабильный коэффициент усиления, который можно сделать довольно большим. Это позволяет измерять напряжения, начиная с единиц микровольт.

Вольтметры для измерения переменного напряжения выполняют по двум обобщенным структурным схемам, которые различаются своими характеристиками. По одной схеме измеряемое напряжение U_x сначала с помощью детектора преобразуется в постоянный ток, который затем подается на УПТ и ИП, являющиеся, по существу, вольтметрами для измерения постоянного напряжения. Детектор, являясь малоинерционным нелинейным звеном, позволяет вольтметру с такой структурой работать в широком частотном диапазоне от десятков герц до 1000 МГц. Однако наличие УПТ в силу отмеченных ранее причин (нестабильность коэффициента преобразования и дрейф «нуля») не позволяет делать такие вольтметры высокочувствительными. Обычно их верхний предел измерений при максимальной чувствительности составляет единицы милливольт. Так, например, вольтметр ВЗ-36 измеряет действующие значения синусоидального напряжения от 3 мВ до 300 В в диапазоне частот до 1 ГГц.

По другой схеме (рис. 4.5) измеряемое напряжение сначала усиливается усилителем переменного тока, чем удастся повысить чувствительность вольтметра, а затем с помощью детектора преобразуется в постоянный ток. Однако создание усилителей переменного тока, работающих в широком частотном диапазоне, является довольно трудной технической задачей. Поэтому, с одной стороны, верхний предел измерений таких вольтметров при максимальной чувствительности составляет десятки микровольт, с другой стороны, их диапазон частот сравнительно невысок (для вольтметра ВЗ-57 диапазон измеряемых напряжений составляет 10 мкВ – 300 В в интервале частот 5 Гц – 5 МГц).

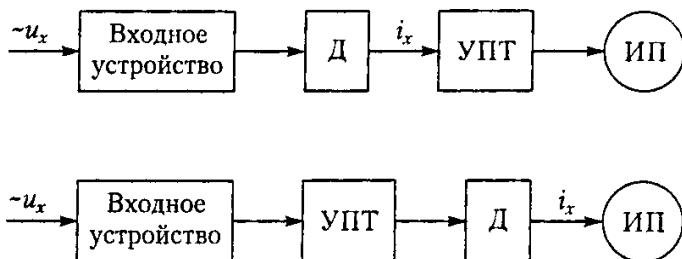


Рис. 4.5. Обобщенные структурные схемы вольтметров для измерения переменного напряжения

В зависимости от вида преобразования переменного напряжения в постоянный ток на выходе детектора отклонение подвижной части вольтметров может быть пропорционально амплитудному, среднему-прямленному или действующему (среднему квадратичному) значениям измеряемого напряжения. В соответствии с этим вольтметры называют вольтметрами амплитудных, средних или действующих (средних квадратичных) значений соответственно. Однако независимо от вида преобразования шкалы вольтметров, как правило, градуируют в действующих (средних квадратичных) значениях напряжения синусоидальной формы.

Начальный участок вольт-амперной характеристики диода носит квадратичный характер, поэтому отклонение подвижной части измерительного механизма будет пропорционально квадрату действующего значения измеряемого напряжения:

$$\begin{aligned} \alpha &= k_v \frac{1}{T} \int_0^T u_x^2(t) dt = k_v \frac{1}{T} \int_0^T U_{mx}^2 \sin^2 \omega t dt = \\ &= k_v \frac{1}{T} \int_0^T \left(\frac{1}{2} U_{mx}^2 - \frac{1}{2} \cos 2\omega t \right) dt = k_v \frac{1}{2} U_{mx}^2 = k_v U_x^2 \end{aligned}$$

При больших токах наблюдается отклонение вольт-амперной характеристики диода от параболы, вследствие этого с целью расширения диапазона измерений и сохранения квадратичного характера результирующая характеристика детектора синтезируется из начальных участков вольт-амперных характеристик диодов. Шкала прибора в этом случае получается квадратичной с градуировкой в действующих значениях независимо от формы кривой измеряемого напряжения. Вольтметр с равномерной шкалой получается при использовании двух термопреобразователей, один из которых включен в цепь отрицательной обратной связи. Поскольку на детектор действующих значений подается предварительно усиленный сигнал, это приводит, с одной стороны, к увеличе-

нию чувствительности (от десятков микровольт), с другой, – к сужению рабочего диапазона частот (например, до 50 МГц у вольтметра В3-48А).

Универсальные вольтметры предназначены для измерения как постоянных, так и переменных напряжений. Обобщенная структурная схема показана на рис. 4.6.

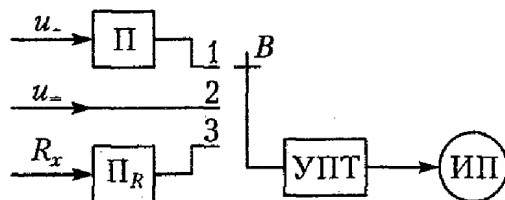


Рис. 4.6. Обобщенная структурная схема универсального вольтметра

В зависимости от положения переключателя В вольтметр работает по схеме для измерения переменного напряжения с преобразователем П для измерения постоянного напряжения. Кроме того, в универсальных или комбинированных вольтметрах предусматривается возможность измерения сопротивления. В таких вольтметрах измерения преобразования, выходное напряжение которого, функционально связано со значением измеряемого сопротивления, через усилитель постоянного тока подается на магнитоэлектрический прибор. Например, вольтметр В4-12 имеет диапазон измеряемых напряжений 1–1000 мВ (до 100 В с внешним делителем) при основной погрешности измерений 4–6%; параметры измеряемых импульсов: длительность – 0,1–300 мкс, частота повторения – 50 Гц – 100 кГц, скважность – не менее 2.

Селективные вольтметры измеряют действующее значение напряжения в некоторой полосе частот или действующее значение отдельных гармоник измеряемого сигнала посредством выделения сигнала узкой полосы частот или отдельных гармонических составляющих с помощью перестраиваемого полосового фильтра. Измеряемый сигнал u_x через входной усилитель ВУ (рис. 4.7) подается на смеситель См, предназначенный для преобразования частотного спектра измеряемого сигнала.

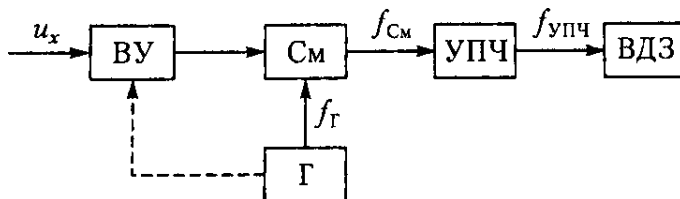


Рис. 4.7. Блок-схема селективного вольтметра

Главными достоинствами электронных вольтметров следует считать их высокую чувствительность, широкий диапазон рабочих частот, широкий диапазон измеряемых величин, большое входное сопротивление и, как следствие, практическое отсутствие потребляемой мощности от объекта измерения. Современные электронные аналоговые вольтметры обладают сравнительно малой погрешностью измерения (классы точности от 0,1). Все это делает их использование предпочтительным при измерениях в маломощных цепях и схемах электроники.

4.4. Электронно-лучевые осциллографы

Электронно-лучевые (электронные) осциллографы предназначены для визуального наблюдения, измерения и регистрации электрических сигналов. Основными достоинствами электронно-лучевых осциллографов являются возможности исследования высокочастотных периодических и кратковременных однократно протекающих процессов. В числе других важных достоинств электронных осциллографов следует отметить также широкий частотный диапазон, высокую чувствительность, большое входное сопротивление и, как следствие, незначительное потребление мощности от исследуемого объекта.

И настоящее время выпускается множество осциллографов различного назначения и с различными характеристиками. Большое распространение получили универсальные осциллографы, предназначенные для наблюдения и измерения периодических и непериодических сигналов непрерывного и импульсного характера в широком (до 500 МГц, например, у осциллографа С1 -104) диапазоне частот. Выпускаются осциллографы специального назначения: импульсные – для исследования периодических импульсных сигналов, стробоскопические – для исследования высокочастотных процессов, многофункциональные со сменными входными блоками, многоканальные – для одновременного наблюдения нескольких сигналов (в основном двухканальные).

Имеются также специальные регистрирующие осциллографы, сочетающие в себе электронно-лучевую трубку с устройством механической временной развертки. Запоминающие осциллографы сохраняют изображение длительное время и поэтому удобны для регистрации одиночных и редко повторяющихся импульсов. Свойствами «памяти» в них обладают запоминающие электронно-лучевые трубки, которые могут сохранять изображение даже при выключенном осциллографе в течение нескольких суток.

В основе работы любого электронного осциллографа лежит преобразование исследуемых сигналов в видимое изображение, получаемое на экране электронно-лучевой трубки. Это преобразование осуществля-

ется путем управления движением пучка электронов исследуемым напряжением.

Электронно-лучевая трубка. Простейшая электронно-лучевая трубка (ЭЛТ) представляет собой стеклянный баллон, из которого откачан воздух и в котором расположен ряд электродов (рис. 4.8): подогреваемый катод К, модулятор (сетка) М, фокусирующий анод А1, ускоряющий анод А2 (совокупность перечисленных электродов называют электронной пушкой), взаимно перпендикулярные горизонтальные ($ОП_x$) и вертикальные ($ОП_y$) отклоняющие пластины. Внутренняя поверхность экрана А3 покрыта специальным составом – люминофором, способным светиться под действием бомбардирующих его электронов. Электронная пушка излучает узкий пучок электронов – электронный луч, для чего на электроды пушки подают напряжение. Интенсивность электронного луча регулируется изменением отрицательного относительно катода напряжения на модуляторе, что приводит к изменению яркости изображения на экране. Напряжение на первом аноде фокусирует поток электронов в узкий луч, позволяющий получить на экране светящееся пятно малого размера. На второй анод подается высокое положительное напряжение, ускоряющее электроны до скорости, необходимой для обеспечения свечения люминофора.

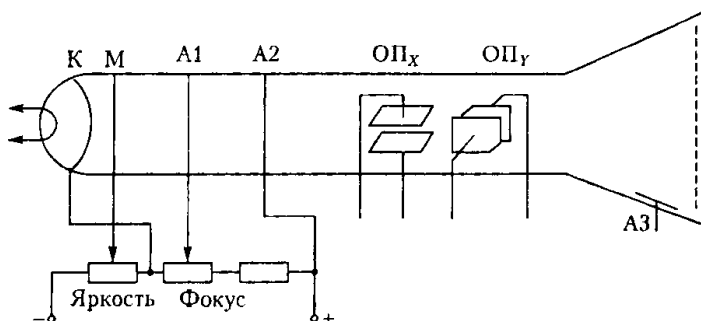


Рис. 4.8. Упрощенное устройство электронно-лучевой трубки

Сформированный электронный луч проходит систему отклоняющих пластин $ОП_x$ и $ОП_y$, отклоняется под действием напряжений, приложенных к этим пластинам, по осям координат X и Y соответственно и бомбардирует внутреннюю поверхность экрана. Ускоренные до необходимой скорости электроны выбивают из люминофорного покрытия фотоны, что воспринимается наблюдателем как световое изображение.

При исследовании быстро протекающих процессов с малой частотой повторения или однократных импульсов яркость свечения может оказаться недостаточной. Для ее увеличения при относительно высокой

чувствительности после отклонения электронов пластинами производится их ускорение. Для этой цели на внутреннюю поверхность баллона между отклоняющими пластинами и экраном помещают анод А3, на который подается большое положительное напряжение, в несколько раз превышающее напряжение анода А2.

Основными характеристиками электронно-лучевой трубки являются чувствительность ЭЛТ, полоса пропускания, длительность послесвечения, рабочая площадь экрана и цвет свечения люминофора на экране ЭЛТ, вызванно напряжением U_T , приложенным к отклоняющим пластинам. Обычно $S_T = 0,5...5$ мм/В. С увеличением частоты напряжения U_T чувствительность трубки уменьшается. За верхнюю частоту полосы пропускания ЭЛТ принимается частота, при которой чувствительность уменьшается до значения 0,7075 – чувствительность на малых частотах. У рассматриваемых электронно-лучевых трубок верхняя частота лежит в пределах 350–500 МГц.

Длительность послесвечения экрана определяется интервалом времени от момента прекращения действия электронного луча до момента, когда яркость изображения составит 1% от первоначальной. Обычно длительность послесвечения составляет порядка 0,1 с. Для наблюдения непериодических и медленно меняющихся сигналов используют трубки с длительным послесвечением. Специальные запоминающие трубки позволяют сохранять изображение сигнала до нескольких суток.

Рабочая площадь экрана определяется диаметром трубки (если экран круглый) или длиной диагонали (если экран прямоугольный). Тип люминофора определяет цвет свечения. Обычно применяют ЭЛТ с зеленым цветом свечения, однако для фотографирования с экрана осциллографа предпочтительнее трубки с голубым свечением экрана.

В современных осциллографах применяют и более сложные, в частности многолучевые, трубки для наблюдения сразу двух и более сигналов и т.д.

Осциллограф. Упрощенная функциональная схема электронно-лучевого осциллографа показана на рис. 4.9, где ВД – входной делитель напряжения, УВО усилитель вертикального отклонения, состоящий из предварительного усилителя ПУ, задержки ЛЗ и выходного усилителя ВУ, КА и КД – калибраторы амплитуды и длительности соответственно, БС – блок синхронизации, УГО усилитель горизонтального отклонения, М – модулятор ЭЛТ, ОП_х и ОН_у – горизонтальные и вертикальные отклоняющие пластины соответственно, В₁ – переключатель, подключающий к входу ВД либо вход У, либо выход калибраторов КА и КД, В₂ – переключатель, подключающий ко входу БС либо внешнюю, либо внутреннюю синхронизацию.

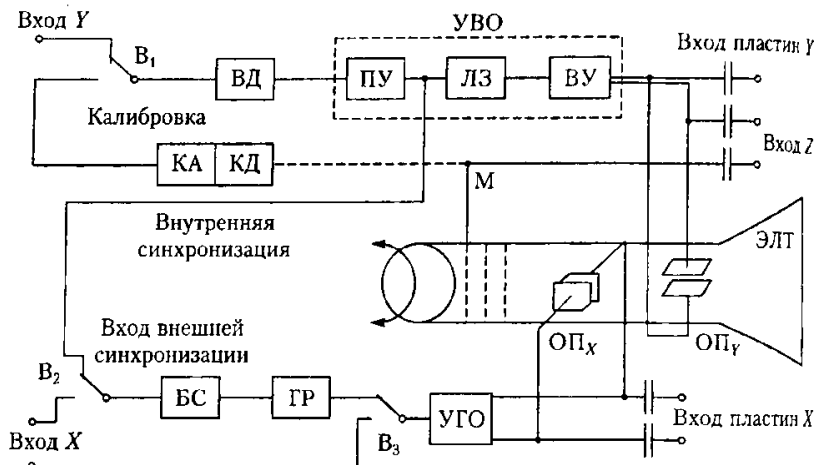


Рис. 4.9. Упрощенная функциональная схема электронно-лучевого осциллографа

Исследуемый сигнал подается на вход Y канала вертикального отклонения, который может быть «открытым» или «закрытым» (переключение осуществляется с помощью специального переключателя, не показанного на схеме). При «закрытом» входе Y исследуемый сигнал проходит через конденсатор, отсекая при этом постоянную составляющую, и на входной делитель напряжения $ВД$ поступает только переменная составляющая исследуемого напряжения (входная емкость составляет порядка десятков пикофард). При «открытом» входе Y на делитель проходит весь сигнал. Входной делитель реализует большое входное сопротивление осциллографа и расширение пределов измерения напряжений в сторону больших значений. Предварительный усилитель $ПУ$ обеспечивает основное усиление исследуемого сигнала (а также запуск блока синхронизации $БС$ в ждущем режиме работы осциллографа при внутренней синхронизации). Выходной усилитель $ВУ$ служит для преобразования сигнала в напряжение, подаваемое на вертикальные отклоняющие пластины $ОП_Y$ и, в соответствии с чувствительностью трубки, достаточное для управления отклонением электронного луча $ЭЛТ$ по оси Y с точки зрения получения удобного для визуального наблюдения изображения. Последовательное включение делителя напряжения и усилителя вертикального отклонения обеспечивает значительный диапазон исследуемых напряжений. В $УВО$ входит также линия задержки $ЛЗ$, осуществляющая временную задержку исследуемого сигнала, необходимую для исследования без искажений импульсных сигналов малой длительности.

Одним из важнейших узлов электронного осциллографа является генерал линейной развертки $ГР$, обеспечивающий получение разверну-

того во времени изображения исследуемого сигнала. Для этого электронный луч смещается по оси X с равномерной скоростью, что осуществляется подачей на горизонтальные отклоняющие пластины ОП_X линейно нарастающего пилообразного напряжения, формируемого генератором ГР.

Принцип развертки показан на рис. 4.10, на котором представлены кривые напряжений, подаваемых на пластины ОП_Y и ОП_X, и получающееся при этом на экране осциллографа изображение. Пилообразное напряжение u_x показано в идеализированном виде ($t_{обр} = 0$). Из рисунка видно, что при равенстве периодов напряжений u_y и u_x на экране получится изображение одного периода исследуемого сигнала. При изменении периода пилообразного напряжения u_x в определенное количество раз на экране появится соответствующее число периодов исследуемого сигнала.

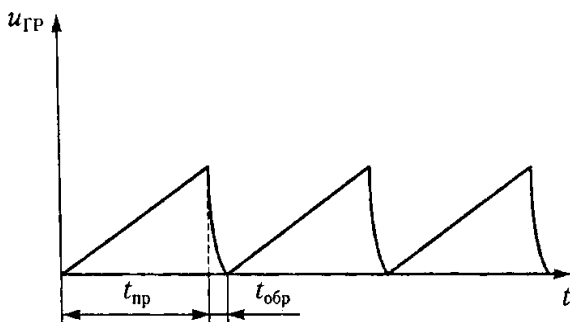


Рис 4.10. Временная диаграмма напряжения линейной развертки

Исследование сигналов в широком диапазоне частот обеспечивается переключением частоты пилообразного напряжения, предусмотренным в генераторе развертки. Это позволяет наблюдать исследуемые сигналы в нужном масштабе времени. Выходное напряжение генератора ГР усиливается с помощью усилителя горизонтального отклонения УГО до значения, необходимого для управления электронным лучом в ЭЛТ и получения изображения требуемого размера.

4.5. Цифровые измерительные преобразователи и приборы

Цифровые измерительные приборы (ЦИП) – это приборы, автоматически вырабатывающие дискретные сигналы измерительной информации, показания которых представляются в цифровой форме. В ЦИП в соответствии со значением измеряемой величины образуется код, а за-

тем в соответствии с кодом измеряемая величина представляется на отсчетном устройстве в цифровой форме.

Цифровой прибор включает в себя два обязательных функциональных узла: аналого-цифровой преобразователь (АЦП) и цифровое отсчетное устройство. АЦП выдает код в соответствии со значением измеряемой величины, а отсчетное устройство отражает это значение в цифровой форме.

АЦП являются не только составной частью ЦИП. Они используются также в измерительных информационных, управляющих и других системах. АЦП выпускаются промышленностью и в качестве автономных устройств, которые отличаются от ЦИП отсутствием десятичного отсчетного устройства (на выходе они дают только код). Как правило, они выпускаются более быстродействующими и работающими в одном диапазоне для одной измеряемой величины.

Кроме АЦП к цифровым преобразователям относятся цифроаналоговые преобразователи (ЦАП), предназначенные для преобразования кода в дискретную аналоговую величину. ЦАП также выпускаются не только как составная часть ЦИП, но и как автономные устройства. В настоящее время АЦП и ЦАП выпускаются в виде интегральных микросхем.

Для образования кода непрерывная измеряемая величина в ЦИП дискретизируется во времени и квантуется по уровню.

Дискретизацией непрерывной во времени величины $x(t)$ называется операция ее преобразования в прерывную во времени величину, то есть в величину, значения которой отличны от нуля и совпадают с соответствующими значениями $x(t)$ только в определенные моменты времени. Промежуток между двумя соседними моментами дискретизации называется шагом дискретизации, который может быть постоянным или переменным.

Квантованием по уровню непрерывной по уровню величины называется операция ее преобразования в квантованную величину, которая может принимать в заданном диапазоне определенное конечное число фиксированных значений – уровней квантования. Разность между ближайшими уровнями называется ступенью, или шагом квантования, или квантом.

Код в ЦИП вырабатывается в соответствии с отождествляемым измеряемому значению уровнем квантования. Отождествление может осуществляться либо с ближайшим большим или равным, либо с ближайшим меньшим или равным, либо с ближайшим уровнем квантования. Число возможных уровней квантования определяется устройством ЦИП. От числа уровней квантования зависит ёмкость (число возможных отсчетов) отсчетного устройства.

В результате квантования измеряемой величины по уровню возникает погрешность дискретности, обусловленная тем, что бесконечное множество значений измеряемой величины отражается конечным числом кодовых комбинации. Возникновение погрешности дискретности иллюстрирует рис. 4.11, где $x(t)$ – график изменения измеряемой величины; $x_k(t)$ – график изменения квантованной величины при отождествлении с ближайшим уровнем квантования. Ординаты, соответствующие показаниям ЦИП при измерении $x(t)$ в моменты t_1, t_2, \dots, t_n . Как видно из рисунка, в большинстве случаев измерений имеется разность между показаниями ЦИП и значениями измеряемой величины в моменты измерений. Эта разность есть абсолютная погрешность дискретности Δx_d .

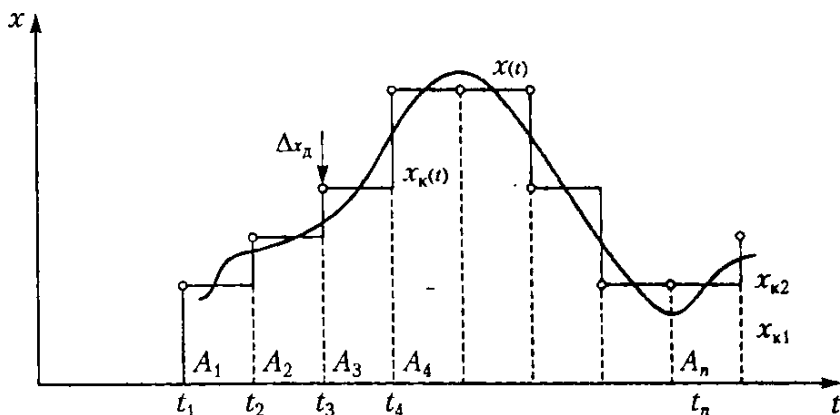


Рис. 4.11. Временная диаграмма измеряемой величины $x(t)$, иллюстрирующая возникновение погрешности дискретности

Погрешность дискретности присуща ЦИП и отсутствует у аналоговых приборов. Однако она не является препятствием для увеличения точности ЦИП, так как погрешность дискретности можно сделать достаточно малой выбором числа уровней квантования.

В ЦИП кодирование производится по определенному правилу – например, с использованием системы счисления.

При использовании десятичной системы счисления в практике нашел применение единично-десятичный код, в котором для передачи значения десятичного разряда требуется десять элементов кода (десять мест расположения импульса) с весами 0, 1, 2, ..., 9.

В ЦИП находят применение двоично-десятичный код с весами элементов кода одного десятичного разряда, равными 8-4-2-1, а также тетрадно-десятичные коды с «весами» 2-4-2-1, 4-2-2-1, 5-2-1-1 и др. Эти коды более удобны в управлении десятичным отсчетным устройством,

чем двоичный код, и мало отличаются от двоичного по числу элементов. На рис. 4.12б показан последовательный тетрадно-десятичный код числа 273 с весами элементов кода, равными 5-2-1-1.

Рассмотрим основные методы преобразования значений непрерывных измеряемых величин в коды.

Метод последовательного счета. При этом методе (рис. 4.12,в) происходит последовательное во времени сравнение измеряемой величины x с известной величиной x_k , ступенчато возрастающей (или убывающей) с шагом (ступенью) квантования по уровню. Число ступеней, при котором наступает равенство $x_k(t_u) = x$, равно номеру отождествляемого уровня квантования, в соответствии с которым вырабатывается код, поступающий на отсчетное устройство.

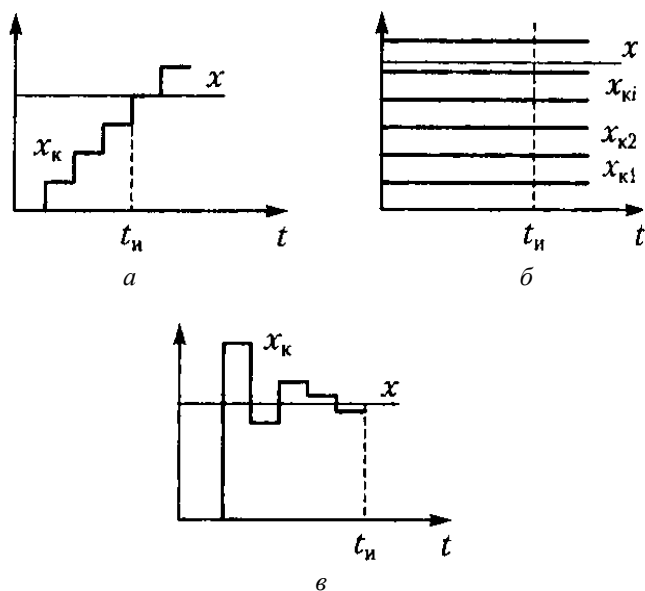


Рис. 4.12 Методы преобразования значений непрерывных измеряемых величин в коды: а – последовательного счета; б – последовательного приближения; в – считывания.

Метод последовательного приближения (поразрядного уравнивания). При этом методе происходит последовательное во времени сравнение измеряемой величины x с известной величиной x_k , изменяющейся скачками по определенному правилу (исключая единичную систему счисления). Значение известной величины, при котором наступает равенство $x_k(t_u) = x$, равно номеру отождествляемого уровня квантова-

ния, в соответствии с которым вырабатывается код, поступающий на отсчетное устройство.

Метод считывания. При этом методе происходит одновременное сравнение измеряемой величины x со всеми известными величинами $x_{k1}, x_{k2}, \dots, x_{ki}$, значения которых равны уровням квантования. Известная величина, равная измеряемой $x_k(t_n) = x$, дает номер отождествляемого уровня квантования, в соответствии с которым образуется код.

Метод считывания обладает наибольшим быстродействием и в настоящее время находит применение в сверхбыстродействующих параллельных и смешанных (параллельно-последовательных) АЦП, являясь основой современных измерительных приборов, таких как цифровые осциллографы и приборы для контроля качества электроэнергии и измерений электроэнергетических величин.

4.6. Измерительные информационные системы

Измерительная информационная система (ИИС) представляет собой совокупность функционально объединенных измерительных, вычислительных и других вспомогательных технических средств для автоматического получения измерительной информации, ее преобразования, передачи на расстояние по каналам связи и обработки с целью представления в требуемом виде.

По функциональному назначению ИИС можно разделить на:

- измерительные системы;
- системы автоматического контроля;
- системы технической диагностики;
- измерительно-вычислительные комплексы (ИВК).

В состав последних входит программируемая ЭВМ, используемая как для обработки результатов измерения, так и для управления самим процессом измерения и формирования управляющих воздействий на объект.

По организации алгоритма функционирования различают:

- ИИС с заранее заданным алгоритмом функционирования, который не меняется, вследствие чего такая система применяется для исследования объектов, работающих в определенных режимах;
- программируемые ИИС, алгоритм работы которых меняется в соответствии с заданной программой, связанной с условиями функционирования исследуемого объекта;
- адаптивные ИИС, и которых алгоритм работы изменяется, приспособляясь к изменениям измеряемых величин и условий работы объекта исследования;

В настоящее время в ИИС применяются следующие унифицированные сигналы, параметры которых (амплитуда, частота, угол фазового сдвига и др.) являются нормативными:

Непрерывные сигналы в виде постоянных и переменных токов и напряжений.

Импульсные сигналы в виде серии импульсов постоянного тока.

Кодово-импульсные сигналы в виде импульсов постоянного тока или напряжения, комбинации которых передают значения измеряемых величин.

Выбор вида унифицированного сигнала зависит от требуемых характеристик ИИС, формы представления измерительной информации (аналоговая или цифровая), вида канала связи, используемой элементной базы и т. д.

К измерительным системам (ИС) относят ИИС, в которых преобладает функция измерения. ИС делят на системы ближнего и дальнего действия (телеизмерительные системы).

Основными узлами всех ИС являются измерительные преобразователи или датчики, узлы сравнения, мер и выдачи результата.

ИС ближнего действия. В зависимости от вида и числа узлов в структуре ИС различают многоканальные (с параллельной структурой), сканирующие (с последовательной структурой), мультиплицированные (с общей мерой) и многоточечные (с параллельно-последовательной структурой) ИС.

Многоканальные ИС содержат в каждом канале полный набор узлов. Многоканальные ИС обладают высокой надежностью, наибольшим быстродействием (при одновременном получении результатов), возможностью индивидуального подбора средств измерений к измеряемым величинам. Основные недостатки такой системы – повышенная сложность и дороговизна.

Сканирующие ИС имеют один набор узлов и специальное сканирующее устройство, с помощью которого последовательно во времени выполняется измерение необходимого количества величин. Сканирующее устройство перемещает датчик в пространстве, причем траектория его перемещения может быть заранее запрограммирована (пассивное сканирование) или изменяться в зависимости от полученной информации (активное сканирование). Применяются такие системы при распределении измеряемой величины в пространстве (параметрические поля температур, давлений и т.д.). Недостатком этих ИС является их малое быстродействие, связанное с последовательным выполнением операций.

Мультиплицированные ИС в течение одного цикла изменения известной величины сравнивают её со всеми измеряемыми величинами (без применения коммутационных узлов), используя общую для всех каналов меру.

Мультиплицированные системы имеют меньшее число узлов по сравнению с многоканальными при практически том же быстродействии (при наличии индивидуальных узлов выдачи результата). Их недостатком является наличие большого числа узлов сравнения, равного числу измеряемых величин, что при измерениях сигналов низкого уровня приводит к существенному усложнению этих узлов.

Многоточечные ИС применяются для исследования сложных объектов с большим числом измеряемых величин (до нескольких тысяч). Для коммутации аналоговых сигналов датчиков в них используются измерительные коммутаторы, погрешность которых определяется в основном остаточными параметрами ключей (остаточными ЭДС, сопротивлениями замкнутого и разомкнутого ключей). Наиболее широкое распространение получили электронные коммутаторы, состоящие из ключей и устройства управления.

Достоинствами многоточечных ИС являются меньшее число узлов по сравнению с многоканальными ИС и возможность наращивания числа измерительных каналов за счет коммутатора. Их недостатки – пониженное быстродействие при большом количестве датчиков и уменьшение точности за счет остаточных параметров ключей измерительного коммутатора.

ИС дальнего действия (телеизмерительные системы). Телеизмерительные системы (ТИС) применяются в тех случаях, когда необходимо проводить измерения на объектах, находящихся на значительном расстоянии от средств представления или обработки информации. Вследствие этого основным отличием ТИС от других измерительных систем является наличие специального канала связи – совокупности технических средств, необходимых для передачи информации от различных источников на расстояние. Основной элемент такого канала – линия связи – представляет собой физическую среду, по которой передается информация. Линии связи бывают проводные, оптические и радиолинии. Основная характеристика канала связи – полоса пропускания частот.

Для передачи информации по одной линии связи от нескольких источников применяют разделение каналов, причем наиболее часто используют временное или частотное разделение. При временном разделении выполняется последовательная передача измерительной информации от отдельных источников с помощью измерительных коммутаторов. При частотном разделении каждая измеряемая величина использует свою определенную полосу частот, что позволяет одновременно передавать измерительную информацию от нескольких источников.

В зависимости от информативного параметра сигнала, передаваемого по линии связи, ТИС делят на токовые, частотные, время-импульсные и цифровые (кодово-импульсные).

В токовых ТИС (ТИС интенсивности) информативным параметром является значение постоянного тока (0-5 мА), который вырабатывается преобразователем и принимается магнитоэлектрическим миллиамперметром, причем этот миллиамперметр практически не реагирует на помехи в линии связи, так как их среднее значение обычно равно нулю. Такие системы просты, дешевы и надежны в эксплуатации.

Измерительно-вычислительные комплексы (ИВК). ИВК представляют собой совокупность программно-управляемых измерительных, вычислительных и вспомогательных средств, реализующих алгоритм получения, обработки и использования информации.

ИВК обеспечивают получение и первичную обработку результатов измерения, управление отдельными узлами в ходе эксперимента, включая установление приоритетов, очередей, диалогового режима; контроль работоспособности отдельных участков комплекса; контроль метрологических характеристик; хранение получаемой информации; представление результатов в виде графиков, таблиц и т.д.

ИВК строятся на основе блочно-модульного принципа, что предполагает при необходимости возможность изменения их структуры. Вместе с тем все измерительные и вычислительные средства ИВК взаимодействуют на основе единого алгоритма.

В зависимости от назначения различают:

- универсальные ИВК, предназначенные для создания автоматизированных систем научных исследований, испытаний различных изделий и материалов;
- проблемно-ориентированные ИВК, соответствующие набору однотипных задач для автоматизированных систем научных исследований или систем управления технологическими процессами;
- уникальные ИВК для единичных специфических исследований и испытаний.

Работоспособность ИВК определяется техническим, математическим и метрологическим обеспечением.

В техническое обеспечение входят измерительные, вычислительные и вспомогательные средства. К измерительным средствам относятся цифровые и аналоговые измерительные приборы, измерительные преобразователи различного функционального назначения, коммутаторы измерительных цепей, калибраторы, измерительные источники питания и т.д. В качестве вычислительных средств в ИВК используются аналоговые, гибридные и цифровые вычислительные устройства микроЭВМ.

Основное содержание математического обеспечения ИВК составляют алгоритмы и программы. Алгоритмы обеспечивают выполнение процедур, связанных с измерением физических величин, обработкой результатов измерения и т.п. Программы обеспечивают общее функционирование ИВК.

Контрольные вопросы

1. Перечислите виды основных измерительных масштабных преобразователей.
2. Как можно увеличить чувствительность магнитоэлектрического преобразователя к току?
3. Как увеличить измеряемый ток в магнитоэлектрическом амперметре?
4. Как увеличить измеряемое напряжение в магнитоэлектрическом вольтметре?
5. Как из магнитоэлектрического вольтметра постоянного напряжения сделать вольтметр переменного напряжения?
6. Приведите измерительную схему магнитоэлектрического омметра.
7. Как можно существенно увеличить чувствительность и входное сопротивление вольтметра с магнитоэлектрическим преобразователем?
8. Как отличаются характеристики электронных вольтметров переменного тока с детектором до усилителя и после усилителя?
9. Чем отличаются структурные схемы широкополосных и селективных вольтметров?
10. Можно ли использовать селективный вольтметр в качестве частотомера?
11. Для каких измерений используют мостовые схемы?
12. Как определяется чувствительность электронно-лучевой трубки?
13. Для чего нужна синхронизация периодов сигнала и развертки?
14. В каких случаях используют ждущий режим работы осциллографа?
15. Какие параметры сигналов можно измерить с помощью фигур Лиссажу?
16. Какие два обязательных функциональных узла необходимы в цифровых приборах?
17. Перечислите методы преобразования значений непрерывных измеряемых величин в коды?
18. Какие виды погрешностей определяют основную погрешность цифровых измерительных приборов?
19. Приведите структурную схему и объясните работу цифрового мультиметра?
20. Приведите структурную схему и объясните работу цифрового частотомера?
21. В чем преимущества и недостатки многоканальных измерительных систем по сравнению со сканирующими?
22. Что представляет собой измерительно-вычислительные комплексы?

Практическая работа. Расчёт измерительных схем на магнитоэлектрических преобразователях

1. Измерение постоянного тока

Магнитоэлектрический преобразователь, включенный последовательно в цепь измеряемого тока, является амперметром (микроамперметром) с пределом измерения, равным току полного отклонения преобразователя $I_{\text{ПР}}$. Для расширения предела измерения токов используют шунтовое сопротивление (шунт) (рис. 1).

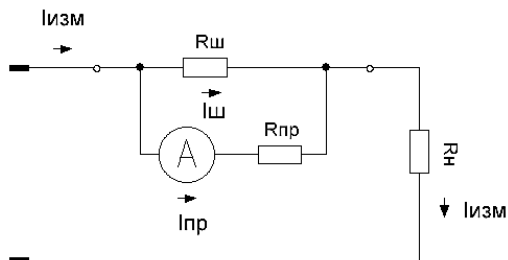


Рис. 1. Измерительная схема амперметра

Шунт представляет собой сопротивление (резистор) $R_{\text{Ш}}$, включённое последовательно в цепь измеряемого тока $I_{\text{ИЗМ}}$, который проходит через сопротивление нагрузки $R_{\text{Н}}$.

Например, требуется определить сопротивление шунта для амперметра с максимально измеряемым током $I_{\text{ИЗМ}}=100$ мА. Ток полного отклонения $I_{\text{ПР}}=100$ мкА, сопротивление преобразователя $R_{\text{ПР}}=100$ Ом.

Определяем падение напряжения на выводах шунта и преобразователя

$$U_{\text{ПР}} = I_{\text{ПР}} \cdot R_{\text{ПР}}$$

$$U_{\text{ПР}} = 100 \cdot 10^{-6} = 0,01 \text{ В}$$

Поскольку измеряемый ток равен сумме токов, проходящих через шунт и индикатор,

$$I_{\text{ИЗМ}} = I_{\text{Ш}} + I_{\text{ПР}} \text{ или } I_{\text{Ш}} = I_{\text{ИЗМ}} - I_{\text{ПР}}$$

$$I_{\text{Ш}} = 100 \cdot 10^{-3} - 100 \cdot 10^{-6} = 0,0999 \text{ А}$$

Сопротивление шунта

$$R_{\text{Ш}} = U_{\text{Ш}} / I_{\text{Ш}}$$

$$R_{\text{Ш}} = 0,01 / 0,0999 = 0,111 \text{ Ом.}$$

2. Измерение постоянного напряжения

Магнитоэлектрический преобразователь, включённый параллельно контрольному участку цепи, служит вольтметром с пределом измерения, равным напряжению на преобразователе при токе полного отклонения $U_{\text{ПР}} = I_{\text{ПР}} \cdot R_{\text{ПР}}$. Для расширения предела измерения используют добавочный резистор $R_{\text{ДОБ}}$, включенный последовательно с преобразователем. Преобразователь с добавочным резистором подключают параллельно исследуемому участку цепи $R_{\text{И}}$.

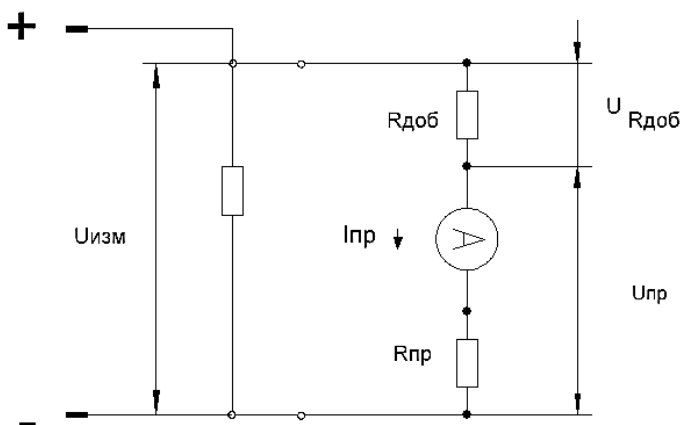


Рис. 2. Измерительная схема вольтметра

Например, необходимо определить добавочное сопротивление для вольтметра с максимальным измеряемым напряжением $U_{\text{ИЗМ}} = 10 \text{ В}$. Ток полного отклонения преобразователя $I_{\text{ПР}} = 100 \text{ мкА}$, сопротивление преобразователя $R_{\text{ПР}} = 100 \text{ Ом}$.

Определяем падение напряжения на преобразователе

$$U_{\text{ПР}} = I_{\text{ПР}} \cdot R_{\text{ПР}}$$

$$U_{\text{ПР}} = 100 \cdot 10^{-6} = 0,01 \text{ В.}$$

Падение напряжения на добавочном резисторе

$$U_{\text{РДОБ}} = U_{\text{ИЗМ}} - U_{\text{ПР}}$$

$$U_{\text{РДОБ}} = 10 - 0,01 = 9,99 \text{ В}$$

Сопротивление добавочного резистора

$$R_{\text{ДОБ}} = U_{\text{РДОБ}} / I_{\text{ПР}}$$

$$R_{\text{ДОБ}} = 9,99 / 100 \cdot 10^{-6} = 99900 \text{ Ом.}$$

Таблица 1

Варианты заданий

Вариант	$I_{\text{ПР}}$, мкА	$R_{\text{ПР}}$, Ом	$I_{\text{ИЗМ}}$, мА	$U_{\text{ИЗМ}}$, В	E , В
1	0÷100	50	0÷300	0÷100	3
2	0÷300	75	0÷1 А	0÷300	4,5
3	0÷100	200	0÷0,3 А	0÷30	4,5
4	0÷200	50	0÷100	0÷3	3
5	0÷120	60	0÷300	0÷30 мВ	3
6	0÷50	75	0÷10	0÷30 мВ	3
7	0÷150	150	0÷100	0÷600	3
8	0÷400	80	0÷3 А	0÷100	4,5
9	0÷300	50	0÷0,1 А	0÷30	4,5
10	0÷200	50	0÷0,3 А	0÷30	4,5
11	0÷150	200	0÷100	0÷30	6
12	0÷40	125	0÷10	0÷30 мВ	4,5
13	0÷200	100	3÷10	30÷100 мВ	3
14	0÷400	50	100÷300	10÷30	4,5
15	0÷100	200	1÷3	10÷30	6
16	0÷250	80	0÷30	0÷10	4,5

Содержание отчёта

1. Данные варианта;
2. Порядок расчёта: формула в общем виде → подстановка значений → результат;
3. Выводы.

Лабораторный практикум. Поверка осциллографа

Цель работы: получение практических навыков проведения поверки средств измерений, оформления результатов метрологической поверки.

1. Общие положения

Основные метрологические требования к средствам измерений установлены правилами законодательной метрологии. Исходным документом законодательной метрологии является Закон Российской Федерации «Об обеспечении единства измерений».

Единство измерений обеспечивается двумя важнейшими условиями: результаты измерений должны представляться в узаконенных единицах;

должна быть известна погрешность измерений.

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

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 метрологическим 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;
- 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;
- 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 поступающих 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 при:

- необходимости удостовериться в пригодности к применению средств измерений;
- применение средств измерений в качестве комплектующих при истечении половины межповерочного интервала на них;

- повреждении поверительного клейма, пломбы или утере документа, подтверждающего прохождение средствами измерений первичной или периодической поверки, в том числе при их хранении;
- вводе 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;
- передаче средств измерений на длительное хранение по истечении половины межпроверочного интервала на них;
- отправке потребителю средств измерений, не реализованных предприятием-изготовителем по истечении половины межпроверочного интервала на них.

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

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

2. Проведение поверки

Порядок поверки составлен в соответствии с требованиями ГОСТ 8.311-78 «Осциллографы электронно-лучевые универсальные. Методы и средства поверки».

Подготовка к поверке

Перед проведением поверки должны быть выполнены подготовительные работы, оговоренные в п. 9 «Подготовка осциллографа к работе» инструкции по эксплуатации (за исключением п.п. 9.3.2–9.3.4, 9.3.33)

Поверяемый осциллограф и средства поверки должны быть заземлены и выдержаны во включенном состоянии в течение времени, указанного в эксплуатационной документации на них.

2.1. Определение ширины линии луча

Ширину линии луча проверяют методом сжатого растра. Проверка производится для двух направлений оси экрана ЭЛТ – вертикального и горизонтального.

Перед началом измерений настройте осциллограф в режим наблюдения импульсов калибратора по пп. 9. 3. 6–9. 3. 12. В дальнейшем проверку по настоящему пункту производить без дополнительной регулировки фокуса, яркости и астigmatизма луча.

Для измерения ширины линии луча необходимо соединить приборы согласно рис. 1.

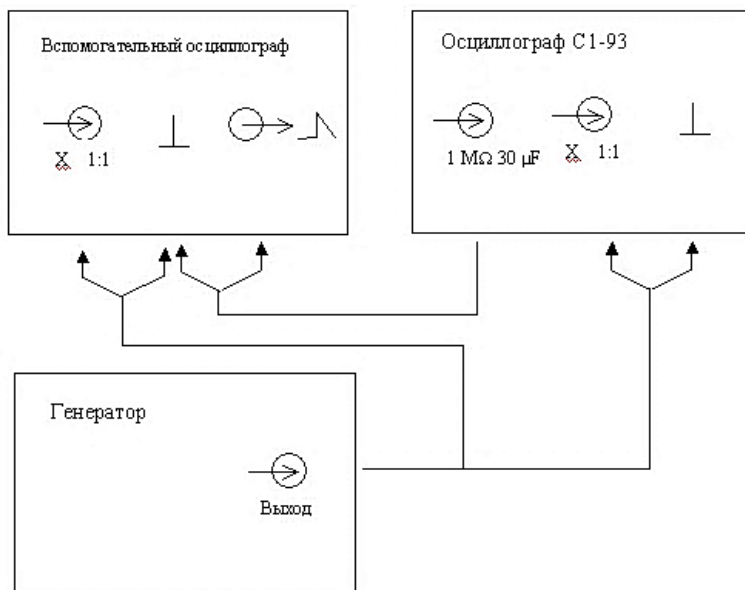


Рис. 1. Структурная схема измерения ширины линии луча

В вертикальном направлении растр создают следующим образом. На вход одного из каналов подают пилообразное напряжение от вспомогательного осциллографа С1-77. На испытуемом осциллографе установить коэффициент отклонения 2 В/дел, коэффициент развертки 20 мкс/дел. На вспомогательном осциллографе установить коэффициент развертки 1 мс/дел.

Засинхронизировать оба осциллографа внешним сигналом частотой 2 кГц и амплитудой 2В (от генератора). Полярность синхронизации установить в положение «+», режим работы генератора развертки

«ЖДУЩ.». Ручками «УРОВЕНЬ» добиться устойчивого изображения на экране испытуемого осциллографа. На экране должно наблюдаться несколько горизонтальных линий.

Произвести подсчет количества линий растра. Изменением коэффициента отклонения испытуемого осциллографа (переключатели «В/ДЕЛ.» и ручкой «∇») сжать растр до начала исчезновения строчной структуры и измерить размер сжатого растра по шкале экрана ЭЛТ.

Ширину линии в вертикальном направлении в миллиметрах рассчитывают по формуле:

$$B_{\text{верт.}} = \frac{\text{размер изображения сжатого растра (мм)}}{\text{количество линий растра}} \quad (1)$$

Для измерения ширины линии луча в горизонтальном направлении необходимо, сохранив предыдущие соединения, установить коэффициент отклонения испытуемого осциллографа 0,5–1 В/дел (так, чтобы вертикальный размер растра был не менее 8 дел), коэффициент развертки 2 мс/дел; на вспомогательном осциллографе установить коэффициент развертки 5 мкс/дел. Ручками «УРОВЕНЬ» добиться устойчивого изображения на экране ЭЛТ испытуемого осциллографа. На экране должны наблюдаться вертикальные линии. Произвести подсчет количества линий растра на участке 40–50 мм при установленной частоте f_1 внешнего синхронизирующего сигнала 2,0–2,5 кГц (от генератора). Изменяя частоту генератора, сжать растр до начала исчезновения строчной структуры и отметить при этом частоту внешней синхронизации f_2 .

Ширину линии луча в горизонтальном направлении в миллиметрах рассчитывают по формуле:

$$B_{\text{гор.}} = \frac{L \cdot f_1}{f_2 \cdot n}, \quad (2)$$

где L – длина участка, на котором производится подсчет количества линий растра, мм; f_1 – частота строчной развертки (внешней синхронизации), при которой производится подсчет линий, кГц; f_2 – частота строчной развертки при сжатом растре, кГц; n – число линий растра, приходившихся на длину участка.

2.2. Определение времени нарастания переходной характеристики каждого канала вертикального отклонения

Время нарастания переходной характеристики каждого канала вертикального отклонения определяется методом прямых измерений во всех положениях переключателя «V/ДЕЛ.» путем поочередной подачи на входы испытательного импульса частотой следования 3 кГц от генератора (рис. 2).

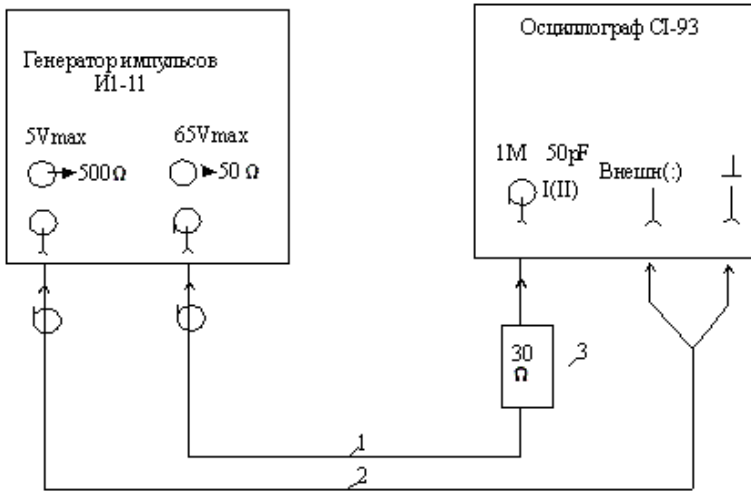


Рис. 2. Структурная схема измерения параметров переходной характеристики

Проверка проводится импульсами положительной или отрицательной полярности. Синхронизация внешняя. На экране ЭЛТ установить амплитуду изображения импульса равную 8 делениям и время нарастания переходной характеристики t_z (рис. 3) определяется как интервал времени в течение которого происходит нарастание переходной характеристики от уровня 0,1 до 0,9 амплитуды изображения импульса.

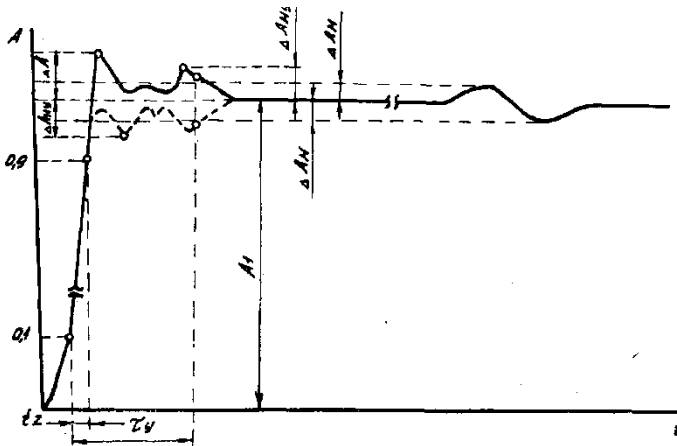


Рис. 3. Измерение выброса, времени установления, времени нарастания и неравномерности переходной характеристики

Измерения проводятся в положении «0,1 S» переключателя коэффициентов развертки, при этом переключатель рода синхронизации установить в положении «ВНЕШН. 1: 10», множитель развертки «X0.2».

Время нарастания переходной характеристики должно не превышать 25нс для всех коэффициентов отклонения кроме 5 мВ/дел.

Проверку времени нарастания переходной характеристики допускается производить при величине изображения на экране ЭЛТ меньше 8 делений, но не менее 4,8 деления.

2.3. Определение выброса переходной характеристики каждого канала вертикального отклонения

Средства измерений соединяют согласно рис. 2.

Величина выброса переходной характеристики каждого канала вертикального отклонения определяется методом прямых измерений во всех положениях переключателя «V/ДЕЛ.» путем поочередной подачи на вход каналов I и II испытательного импульса, частотой следования 3 кГц от генератора.

Проверка производится импульсами положительной или отрицательной полярности. Синхронизация внешняя. На экране ЭЛТ устанавливается величина изображения амплитуды импульса равная 6 делениям.

Измеряется выброс ΔA (рис. 3) на изображении импульса.

Величина выброса ΔA в процентах вычисляется по формуле.

$$\delta_{\%} = \frac{\Delta A}{A_1} \cdot 100\% , \quad (3)$$

где ΔA – величина изображения выброса в мм; A_1 – величина изображения импульса в мм.

Величина выброса переходной характеристики не должна превышать 3%.

Примечание. Измерение величины выброса на переходной характеристике допускается проводить при величине изображения на экране меньше 6 делений, но не менее 2,4 деления.

2.4. Определение времени установления переходной характеристики каждого канала вертикального отклонения

Средства измерений соединить согласно рис. 2.

Время установления переходной характеристики каждого канала вертикального отклонения определяется методом прямых измерений во всех положениях переключателя «V/ДЕЛ.» путем поочередной подачи на вход каналов I и II испытательного импульса от генератора.

Поверка производится импульсами положительной или отрицательной полярности.

Спад вершины переходной характеристики каждого канала вертикального отклонения при закрытом входе за время 10 мс, отсчитываемое от уровня 0,1 установившегося значения переходной характеристики, должен не превышать 10%. Проверку величины спада вершины переходной характеристики допускается производить при величине изображения на экране ЭЛТ меньше 6 делений, но не меньше 4,8 деления.

3. Оформление результатов поверки

Результаты поверки заносятся в протокол, оформленный по форме в приложении 2.

Содержание отчета

1. Краткую теорию.
2. Схемы подключения приборов.
3. Заполненный протокол поверки осциллографа.
4. Выводы.

Приложение 1

Технические данные

Ширина линии луча не превышает:

- в центральной зоне (зона А), ограниченной прямоугольником со сторонами, отстоящими от центра в направлении осей на $3/8$ размера рабочей части экрана, горизонтальной линии – 0,7 мм, вертикальной линии 0,5 мм;
- на краях рабочей части (зона Б) за пределами зоны А горизонтальной линии – 0,9 мм, вертикальной – 0,7 мм.

Минимальная частота следования развертки, при которой обеспечивается наблюдение и измерение исследуемого сигнала на наиболее быстрой развертке, не превышает 300 Гц.

Время нарастания переходной характеристики каждого канала тракта вертикального отклонения не более:

- 25 нс для всех коэффициентов отклонения кроме 5 мВ/дел и без выносного делителя 1:10;
- 35 нс для всех положений коэффициентов отклонения с выносным делителем 1: 10 и положения 5 мВ/дел без делителя.

Выброс переходной характеристики каждого канала вертикального отклонения при непосредственном входе и с выносным делителем 1–10 не более 3%.

Время установления переходной характеристики каждого канала вертикального отклонения при непосредственном входе и с выносным делителем 1:10 не более 100 нс.

Неравномерность переходной характеристики каждого канала вертикального отклонения при непосредственном входе и с выносным делителем 1: 10 не более 2,5% на участке установления и 2% за пределами участка установления.

Спад вершины переходной характеристики, каждого канала вертикального отклонения при закрытом входе за время 10 мс, отсчитываемого от уровня 0,1 установившегося значения переходной характеристики при непосредственном входе и с выносным делителем 1:10, не более 10%.

Полоса пропускания тракта вертикального отклонения при последовательном соединении каналов от 0 до 3 МГц при опорной частоте 1 кГц.

Входное активное сопротивление каждого канала вертикального отклонения ($1 \pm 0,02$) МОм с параллельной емкостью (30 ± 3) пф при непосредственном входе; ($1 \pm 0,02$) МОм с параллельной емкостью не более 12 пф с выносным делителем 1:10.

Время установления рабочего режима осциллографа 15 мин.

Приложение 2

Протокол поверки осциллографа С1-93

№ п/п	Наименование и единица измерения поверяемой характеристики	величина	
		номинальная	фактическая
1	2	3	4
1.	Ширина линии луча, мм, не более: 1) в центральной зоне экрана горизонтальной линии вертикальной линии; 2) на краях рабочей части экрана горизонтальной линии вертикальной линии	0,7 0,5 0,9 0,7	
2.	Время нарастания переходной характеристики, нс, не более: 1) при непосредственном входе (кроме 0,005 В/дел) канал I канал II;	25 25	

1	2	3	4
	2) при непосредственном входе, положение 0,005 В/дел канал I канал II	35 35	
3.	Выброс переходной характеристики, %, не более: при непосредственном входе канал I канал II	3 3	
4.	Время установления переходной характеристики, нс, не более: при непосредственном входе канал I канал II	100 100	
5.	Спад вершины переходной характеристики при закрытом входе за время 10 мс, %, не более: при непосредственном входе канал I канал II	10 10	

Контрольные вопросы:

1. Чем обеспечивается единство измерений?
2. Что такое поверка средств измерений?
3. На какие области распространяется метрологический контроль и надзор?
4. Как удостоверяются положительные результаты поверки?
5. Как поверки классифицируются по периодичности?
6. Как в работе определяется ширина линии луча?
7. По какой методике проводится определение времени нарастания переходной характеристики канала вертикального отклонения?
8. Что такое время установления переходной характеристики?

Лабораторный практикум.

Определение технических характеристик универсального осциллографа

Цель работы: ознакомление с методами проведения измерений основных параметров сигнала с помощью осциллографа. Изучение основных технических характеристик осциллографов и осмысление результатов влияния этих характеристик на результаты измерений.

1. Общие сведения

Электронный осциллограф – универсальный измерительный прибор, применяемый для визуального контроля (наблюдения) и фотографирования электрических сигналов и измерения их параметров.

Ни одно сколько-нибудь серьёзное измерение не может обойтись без осциллографа. Можно утверждать что осциллограф является основным прибором радиоинженера. Другими словами, человек, не владеющий основными навыками осциллографических измерений, не представляющий себе технические характеристики осциллографа, не может быть назван инженером-радиомехаником.

Промышленностью выпускается широкий ассортимент осциллографов. В основу их классификации положен ряд признаков: а) число одновременно исследуемых сигналов; б) ширина полосы пропускания канала сигнала; в) характер исследуемого процесса – непрерывные сигналы, импульсные многократные или однократные.

В зависимости от назначения и электрических характеристик осциллографы в соответствии с ГОСТ 15094-69 разделяются на универсальные, скоростные, стробоскопические, специальные.

УНИВЕРСАЛЬНЫЕ ОСЦИЛЛОГРАФЫ (С1-) имеют наибольшее распространение, они позволяют исследовать разнообразные сигналы в широком диапазоне частот, амплитуд, длительностей. Полоса пропускания таких осциллографов достигает 350МГц.

СКОРОСТНЫЕ ОСЦИЛЛОГРАФЫ (С7-) предназначены для исследования в реальном масштабе времени СВЧ – колебаний, однократных, редко – повторяющихся и периодических импульсных сигналов, длительностью в доли и единицы наносекунд (полоса пропускания 0...5ГГц).

СТРОБОСКОПИЧЕСКИЕ ОСЦИЛЛОГРАФЫ (С7-) обладают способностью исследовать сигналы пикосекундной длительности, благодаря применению стробоскопического метода трансформации масштаба времени сигнала. Эти осциллографы обладают большой чувствительностью (мВ) сигнала и полосой пропускания до 10ГГц, однако применимы только для исследования повторяющихся сигналов.

ЗАПОМИНАЮЩИЕ ОСЦИЛЛОГРАФЫ (С8-) обладают способностью сохранять и воспроизводить изображение сигнала на экране после его исчезновения на входе осциллографа. Эти приборы в основном предназначены для исследования медленно меняющихся сигналов. Диапазон измеряемых интервалов времени в них расширен до десятков секунд.

СПЕЦИАЛЬНЫЕ ОСЦИЛЛОГРАФЫ – это, главным образом, телевизионные осциллографы.

Чувствительность канала вертикального отклонения S_y (мм/мВ):

$$S_y = S_{y(t)} * K * 10^{-3}, \quad (1)$$

где $S_{y(t)}$ – чувствительность ЭЛТ к вертикальному отклонению (мм/В), K – коэффициент усиления канала Y.

Коэффициент отклонения R_{oy} (мВ/мм) есть величина, обратная S_y

$$R_{oy} = 1/S_y = 10^3 / R_y * S_{y(t)} = R_{oy(t)} * 10^3 * R_y, \quad (2)$$

где $R_{oy(t)}$ – коэффициент отклонения трубки.

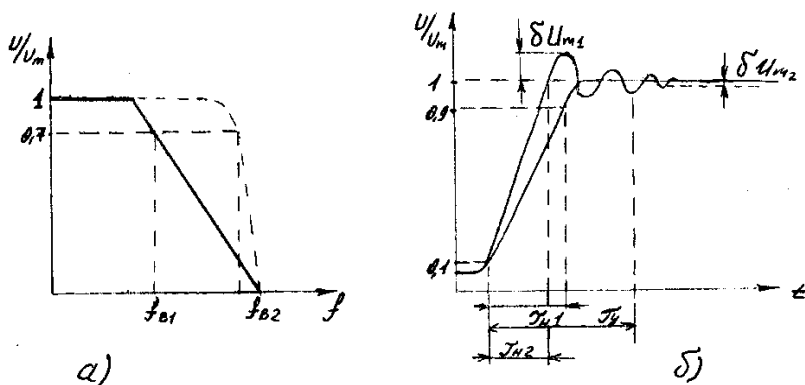


Рис. 2. Графики для определения полосы пропускания и времени нарастания

2.1. Время нарастания переходной характеристики, полоса пропускания

Полоса пропускания у большинства осциллографов простирается от постоянного тока (открытый вход) или нескольких единиц Гц f_n (закрытый вход) до верхней частоты f_v , при которой коэффициент усиления в канале Y уменьшается на 3 дБ (рис. 2а).

Временем нарастания переходной характеристики называется время, в течение которого луч проходит от 0.1 до 0.9 установившегося значения (рис. 2б).

Полоса пропускания и время нарастания переходной характеристики – величины связанные. Для получения не искаженной формы импульса и отсутствия выбросов падения усиления в области высших частот не должно быть очень резким (не более 6 дБ/окт).

При этих условиях $\tau_n = 350/f_v$. Здесь τ_n выражено в нс, f_v – в МГц. На рис. 2б показан случай, когда это условие нарушено. Как следствие, появление выброса на переходной характеристике.

Во многих осциллограммах для обеспечения равномерности АЧХ в пределах полосы пропускания в оконечном каскаде осуществляется коррекция АЧХ на участке непосредственно перед спадом уровня 3 дБ. В технических характеристиках на осциллограф приводится максимальное возможное значение выброса (например $\leq 5\%$). Очевидно, при длительности фронта исследуемого импульса, во много раз превышающем время нарастания переходной характеристики, на изображении импульса не наблюдается.

Быстродействие осциллографа характеризуют также временем установления переходной характеристики τ_y . Это интервал времени от уровня 0.1 амплитуды изображения до момента уменьшения паразитных осцилляций после выброса до значения, не превышающего погрешность измерения уровня (0,5.....0,25/дел).

На рис. 2б показаны время нарастания для двух форм, время установления переходной характеристики τ_y , амплитуда δU_m выброса переходной характеристики.

При измерении амплитуды синусоидального колебания в высокочастотной АЧХ возможна существенная погрешность при принятом нормировании неравномерности АЧХ (до 30%). Поэтому полоса частот, в которой гарантируется та или иная погрешность измерения амплитуды, указывается в техническом описании особо.

2.2. Входное сопротивление канала

Входное сопротивление канала Y характеризует степень влияния осциллографа на режим работы исследуемой цепи и характеризуется входным активным сопротивлением и входной емкостью $C_{вх}$, включенной параллельно входному сопротивлению. Обычно $C_{вх} \leq 30..40$ пФ, а $R_{вх} \geq 1$ МОм. Как следует из структурной схемы, канал горизонтального отклонения состоит из генератора развертки, оконечного усилителя и устройства синхронизации.

Развертка характеризуется коэффициентом развертки, равным отношению времени прямого хода T_n к числу делений шкалы экрана, которые занимает линия развертки: $K_p = T_n/n_s$.

Параметры каналов Y и X должны быть взаимно увязаны соотношением между временем нарастания переходной характеристики в канале Y и минимальным коэффициентом развертки и устанавливается из

следующих соображений. Пусть исследуется минимальная длительность измеряемого фронта импульса τ_{ϕ} . С одной стороны, можно считать для данного осциллографа, что $\tau_{\phi_{\min}} \geq 3\tau_n$.

С другой стороны, считается, что изображение фронта займет на экране не более трети шкалы, т.е. $\tau_{\phi}/K_{\text{pmin}} \leq n_3/3$, где K_{pmin} – минимальный коэффициент развертки, n_3 – число делений шкалы ЭЛТ.

Из приведенных соотношений можно заключить, что $K_{\text{pmin}} \leq 9\tau_n/n_3$. Поскольку $n_3 \approx 8 \dots 10$, то $K_{\text{pmin}} \approx \tau_n$.

Таким образом, минимальный коэффициент развертки равен времени нарастания переходной характеристики в канале Y, приходящемуся на одно деление шкалы ЭЛТ.

Общий принцип работы генератора линейной развертки состоит в использовании напряжения на обкладках конденсатора при его заряде и разряде и автоматического переключения с заряда на разряд (рис. 3).

Конденсатор C1 заряжается через резистор R1, когда электронный переключатель S1 находится в положении 1, и разряжается через r, когда S1 находится в положении 2.

Если $R1 \cdot C1 \geq r \cdot C1$, то напряжение U_c при заряде используется для создания прямого хода развертки, а при разряде – обратного хода.

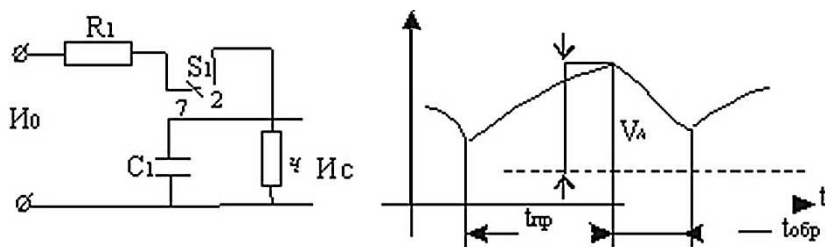


Рис. 3. Принципиальная схема и диаграмма работы генератора линейной развертки

Вспомним попутно определение коэффициента нелинейной развертки.

Если коммутирующая схема работает в автоколебательном режиме, то получается модель периодической развертки. Длительность или частота развертки определяется длительностью замкнутого и разомкнутого состояния коммутирующей цепи. А она в реальной схеме коммутатора зависит от параметров R_1 , C_1 , r . Коммутатор срабатывает автоматически, когда напряжение на конденсаторе достигает определенного уровня – максимального или минимального. Напряжение на конденсаторе U_c при заряде, как известно, изменяется по экспоненциальному закону, а необходимо, чтобы менялась линейно. Один из способов линеаризации

заряда емкости состоит в замене источника напряжения U_0 , генератором тока. Тогда, если в формулу интегрирующей цепи подставить $i=I=const$, получим $U_p = \frac{I}{C} \times t$, что и требовалось доказать.

Другой способ состоит в использовании вместо интегрирующей цепи активного интегратора.

Коэффициент нелинейности выходного напряжения интегратора теоретически в $K-1$ ниже, чем в случае применения простой интегрирующей цепи. Например, $\gamma=1\%$ может быть достигнут при использовании большего участка экспоненты ($\tau_p/\tau=1$) и сравнительно небольшого коэффициента усиления УПТ ($K=100$).

Подобного типа генераторы развертки применены, например, в универсальных осциллографах С1-65, С1-68, С1-72.

3. Приборы и оборудование

Генератор НЧ, осциллограф двухканальный, специальный шнур (рис. 4), стандартный набор шнуров.

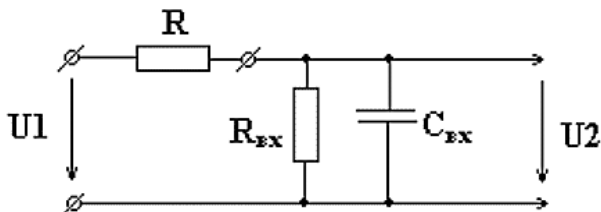


Рис. 4. Принципиальная схема измерительного шнура. $R=1,092 \text{ МОм}$

4. Выполнение работы

1. Изучить технические характеристики и принцип работы осциллографа. Подать на вход осциллографа постоянное напряжение и измерить его значение на выходе специального шнура на экране осциллографа.
2. Подать на вход осциллографа синусоидальное напряжение переменного тока от генератора и измерить его значение на выходе специального шнура на экране осциллографа.
3. Повторить пункт б для частот от 100 Гц до 500 кГц.
4. Заполнить табл. 1.

Результаты измерений и расчётов

f, Гц постоянный ток	U_1 , В	U_2 , В	R_{BX} , МОм	Z_{BX} , Мом = R_{BX}	$C_{ОБЦ}$, пФ
100			- -		
250			- -		
500			- -		
1000			- -		
2000			- -		
5000			- -		
10 000			- -		
20 000			- -		
50 000			- -		
100 000			- -		
200 000			- -		
500 000			- -		
					Среднее $C_{ОБЦ} =$

5. Вычислить R_{BX} по (4) при подаче на вход осциллографа постоянного тока. Результат записать в табл. 1.

$$R_{BX} = R \frac{1}{A-1}, \text{ где } A = U_1 / U_2$$

6. Вычислить Z_{BX} по (5) для $f = 100 \text{ Гц} \dots 500 \text{ кГц}$. Результаты занести в табл. 1.

$$Z_{BX} = R \frac{1}{A-1}, \text{ где } A = U_1 / U_2$$

7. Вычислить $C_{ОБЦ}$ (численно равно ёмкости канала осциллографа и специального шнура) по (6) для $f = 100 \text{ Гц} \dots 500 \text{ кГц}$, используя данные табл. 1.

$$C_{ОБЦ} = \frac{\sqrt{\left(\frac{R_{BX}}{Z_{BX}}\right)^2 - 1}}{2\pi f \cdot R_{BX}}$$

8. Найти входную ёмкость канала осциллографа $C_{ВХ}$ по (7). Сравнить полученное значение с паспортным значением ёмкости входа поверочного осциллографа.

$$C_{ВХ} = C_{Общ} (\text{среднее}) - C_{шнура} (95\text{пф.})$$

где ёмкость специального шнура $C_{шнура} = (95\text{пф.})$

Содержание отчета

1. Теория работы;
2. Технические данные приборов;
3. Данные измерений и расчетов (таблица 1);
4. Выводы.

Контрольные вопросы

1. По каким признакам классифицируют электронно-лучевые осциллографы?
2. Какие основные части содержит блок-схема осциллографа?
3. Объясните работу канала вертикального отклонения.
4. Расскажите о генераторе развертки.
5. Для чего служит устройство синхронизации?
6. Перечислите основные нормируемые характеристики осциллографа.
7. Что такое полоса пропускания и время нарастания?

Глава 5. ТЕХНИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ

- 5.1. *Обязательные требования к объектам технического регулирования.*
- 5.2. *Федеральный закон Российской Федерации «О техническом регулировании».*
- 5.3. *Технические регламенты.*
- 5.4. *Государственный контроль (надзор) за соблюдением требований технических регламентов.*

5.1. Обязательные требования к объектам технического регулирования

Сейчас во всех экономически развитых странах деятельность по установлению требований к процессам производства продукции и ее реализации, работам и услугам базируется на техническом регулировании, системах стандартизации и подтверждения соответствия. В Российской Федерации всё это основывается на Конституции. В развитие конституционной нормы с 1 июля 2003 г. действует Федеральный закон Российской Федерации «О техническом регулировании», который определил новую систему установления и применения требований к продукции, процессам производства и реализации, работам и услугам. Закон направлен на создание основ единой политики в области технического регулирования, отвечающей современным международным требованиям. В результате принятия закона появились *технические регламенты*, существенно меняющие повседневную экономическую жизнь страны.

Законы Российской Федерации «О стандартизации» и «О сертификации продукции и услуг» за последние 10–15 лет (до 1 июля 2003 г. и далее) позволили значительно улучшить конъюнктуру отечественной экономики, а также изменить методику и практику работ по регулированию вопросов обеспечения и контроля качества продукции и услуг. Вместе с тем они перестали в должной мере обеспечивать соответствие систем стандартизации и сертификации экономике Российской Федерации и мировой экономики, поскольку не отвечали многим политическим и экономическим требованиям.

Действующая в Российской Федерации до 1 июля 2003 г. *государственная система стандартизации* опиралась на большое число

норм, содержащихся в законах, стандартах и ведомственных актах. Последние часто не публикуются. Поэтому предприниматели, в том числе иностранные, не имеют четкой информации обо всем комплексе обязательных параметров, которые они должны соблюдать в своей деятельности. Существующая система контроля качества выпускаемой продукции и оказываемых услуг неэффективна – более 80% действующих стандартов не выполняются производителями. Поэтому Федеральный закон «О техническом регулировании» определил новую систему установления и применения требований к продукции, процессам производства, работам и услугам. Этот закон отменяет действие законов «О стандартизации» и «О сертификации продукции и услуг» и ряда других нормативных актов. Не менее важной целью этого закона являлось приведение российских процедур стандартизации и сертификации в соответствие с требованиями Всемирной торговой организации (ВТО) – World Trade Organization (WTO). Закон противодействует превращению национальных стандартов и различных технических регламентов к продукции и услугам в инструмент протекционизма по отношению к каким-либо группам товаропроизводителей. Гармонизация национальной системы стандартизации с международной облегчает выход российской продукции на мировые рынки, позволяет организовать кооперацию в ее производстве с субподрядчиками из развитых стран.

Закон в соответствии с Конституцией Российской Федерации регулирует права и обязанности субъектов в отношениях, возникающих при разработке, применении и соблюдении требований к продукции, процессам производства, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации в обязательном порядке и на добровольной основе. Концепция закона «О техническом регулировании» предусматривает, что все обязательные требования к продукции и услугам устанавливаются только техническими регламентами, которые определяются международными договорами Российской Федерации, ратифицированным в установленном порядке, федеральными законами, указом Президента Российской Федерации и постановлениями Правительства Российской Федерации. Технические регламенты должны содержать минимальные требования для обеспечения безопасности продукции (услуг) и сфера применения обязательных требований сводится к минимуму. Причем после вступления в силу технических регламентов обязательные требования стандартов перестают быть обязательными и государственный контроль (надзор) начинается осуществляться за соблюдением требований технических регламентов.

Отметим, что техническое регулирование в Европе в основном аналогично отечественному техническому регулированию. Отличие состоит в том, что в Европе действуют *директивы о безопасности*.

5.2. Федеральный закон Российской Федерации «О техническом регулировании»

Федеральный закон Российской Федерации «О техническом регулировании» является фундаментом, на основе которого построены и техническое регулирование, и стандартизация, и подтверждение соответствия (куда, как одна из форм подтверждения соответствия, входит сертификация). В настоящем законе описаны и трактуются многие основные положения в этих взаимосвязанных областях. В силу важности закона по ходу изложения материала будут приведены некоторые его статьи и даны краткие комментарии к ним.

Техническое регулирование – правовое регулирование отношений в области установления, применения и исполнения обязательных требований к продукции, процессам производства, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации, а также в области установления и применения на добровольной основе требований к продукции, процессам производства, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации, выполнению работ или оказанию услуг и правовое регулирование отношений в области оценки соответствия.

Упрощенно этот термин можно пояснить так: техническое регулирование – обязательные условия нефинансового характера для предпринимательской деятельности, которые устанавливает государство. Характеристики продукции, процессы производства, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации должны иметь общие требования. То же самое относится к выполнению всевозможных работ и услуг. В понятие «техническое регулирование» входят также и оценка соответствия продукции, процессов, работ и услуг установленным нормам, а также контроль за их соблюдением. Данный термин включает в себя функции соблюдения добровольных правил в той сфере деятельности, которой занят предприниматель.

Статья 1. Сфера применения настоящего федерального закона

1. Настоящий федеральный закон регулирует отношения, возникающие при:

- разработке, принятии, применении и исполнении обязательных требований к продукции, процессам производства, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации;
- разработке, принятии, применении и исполнении на добровольной основе требований к продукции, процессам производства, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации, выполнению работ или оказанию услуг;
- оценке соответствия.

Настоящий федеральный закон также определяет права и обязанности участников регулируемых законом отношений.

2. Требования к функционированию единой сети связи Российской Федерации и к продукции, связанные с обеспечением целостности, устойчивости функционирования указанной сети связи и ее безопасности, отношения, связанные с обеспечением целостности единой сети связи Российской Федерации и использованием радиочастотного спектра, соответственно устанавливаются и регулируются законодательством Российской Федерации в области связи.

3. Действие настоящего федерального закона не распространяется на государственные образовательные стандарты, положения (стандарты) о бухгалтерском учете и правила (стандарты) аудиторской деятельности, стандарты эмиссии ценных бумаг и проспектов эмиссии ценных бумаг.

Статья 3. Принципы технического регулирования

Техническое регулирование осуществляется в соответствии с принципами:

- применения единых правил установления требований к продукции, процессам производства, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации, выполнению работ или оказанию услуг;
- соответствия технического регулирования уровню развития национальной экономики, развития материально-технической базы, а также уровню научно-технического развития;
- независимости органов по аккредитации, органов по сертификации от изготовителей, продавцов, исполнителей и приобретателей;
- единой системы и правил аккредитации;
- единства правил и методов исследований (испытаний) и измерений при проведении процедур обязательной оценки соответствия;
- единства применения требований технических регламентов независимо от видов или особенностей сделок;
- недопустимости ограничения конкуренции при осуществлении аккредитации и сертификации;
- недопустимости совмещения полномочий органа государственного контроля (надзора) и органа по сертификации;
- недопустимости совмещения одним органом полномочий на аккредитацию и сертификацию;
- недопустимости внебюджетного финансирования государственного контроля (надзора) за соблюдением требований технических регламентов.

Статья 4. Законодательство Российской Федерации о техническом регулировании

1. Законодательство Российской Федерации о техническом регулировании состоит из настоящего федерального закона, принимаемых

в соответствии с ним федеральных законов и иных нормативных правовых актов Российской Федерации.

2. Положения федеральных законов и иных нормативных правовых актов Российской Федерации, касающиеся сферы применения настоящего федерального закона (в том числе прямо или косвенно предусматривающие осуществление контроля (надзора) за соблюдением требований технических регламентов), применяются в части, не противоречащей настоящему федеральному закону.

3. Федеральные органы исполнительной власти вправе издавать в сфере технического регулирования акты только рекомендательного характера, за исключением случаев, установленных ст. 5 настоящего федерального закона.

4. Если международным договором Российской Федерации в сфере технического регулирования установлены иные правила, чем те, которые предусмотрены настоящим федеральным законом, применяются правила международного договора, а в случаях, если из международного договора следует, что для его применения требуется издание внутригосударственного акта, применяются правила международного договора и принятое на его основе законодательство Российской Федерации.

5.3. Технические регламенты

Фактически новый для Российской Федерации нормативный документ – технический регламент, устанавливающий обязательные для применения и исполнения требования к объектам технического регулирования, – имеет статус федерального закона, тогда как обязательные требования ГОСТ, действовавшие до 1 июля 2003 г., утверждались Госстандартом России. Впредь все обязательные требования к техническим объектам будут содержаться только в технических регламентах. Однако отметим, что понятие технического регламента не вводится законом – оно уже есть и в Государственной системе стандартизации (ГСС) существует уже с 1998 г. Но сама ниша технических регламентов в России пока не заполнена.

Технический регламент – документ, который принят международным договором Российской Федерации, ратифицированным в порядке, утвержденном законодательством Российской Федерации, или федеральным законом, или указом Президента Российской Федерации, или постановлением Правительства Российской Федерации, и устанавливает обязательные для применения и использования требования к объектам технического регулирования (продукции, в том числе зданиям, строениям и сооружениям, процессам производства, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации).

Статья 6. Цели принятия технических регламентов

1. Технические регламенты принимаются в целях: защиты жизни или здоровья граждан, имущества физических или юридических лиц, государственного или муниципального имущества; охраны окружающей среды, жизни или здоровья животных и растений; предупреждения действий, вводящих в заблуждение приобретателей.

2. Принятие технических регламентов в иных целях не допускается.

Статья 7. Содержание и применение технических регламентов

1. Технические регламенты с учетом степени риска причинения вреда устанавливают минимально необходимые требования, обеспечивающие: безопасность излучений; биологическую безопасность; взрывобезопасность; механическую безопасность; пожарную безопасность; промышленную безопасность; термическую безопасность; химическую безопасность; электрическую безопасность; ядерную и радиационную безопасность; электромагнитную совместимость в части обеспечения безопасности работы приборов и оборудования; единство измерений.

2. Требования технических регламентов не могут служить препятствием осуществлению предпринимательской деятельности в большей степени, чем это минимально необходимо для выполнения целей, указанных в п. 1 ст. 6 настоящего федерального закона.

3. Технический регламент должен содержать исчерпывающий перечень продукции, процессов производства, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации, в отношении которых устанавливаются его требования, и правила идентификации объекта технического регулирования для целей применения технического регламента.

В техническом регламенте в целях его принятия могут содержаться правила и формы оценки соответствия (в том числе схемы подтверждения соответствия), определяемые с учетом степени риска, предельные сроки оценки соответствия в отношении каждого объекта технического регулирования и (или) требования к терминологии, упаковке, маркировке или этикеткам и правилам их нанесения.

Оценка соответствия проводится в формах государственного контроля (надзора), аккредитации, испытания, регистрации, подтверждения соответствия, приемки и ввода в эксплуатацию объекта, строительство которого закончено, и в иной форме.

Содержащиеся в технических регламентах обязательные требования к продукции, процессам производства, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации, правилам и формам оценки соответствия, правила идентификации, требования к терминологии, упаковке, маркировке или этикеткам и правилам их нанесения являются исчерпывающими, имеют прямое действие на всей территории Россий-

ской Федерации и могут быть изменены только путем внесения изменений и дополнений в соответствующий технический регламент. Не включенные в технические регламенты требования к продукции, процессам производства, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации, правилам и формам оценки соответствия, правила идентификации, требования к терминологии, упаковке, маркировке или этикеткам и правилам их нанесения не могут носить обязательный характер.

4. Технический регламент должен содержать требования к характеристикам продукции, процессам производства, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации, но не должен содержать требования к конструкции и исполнению, за исключением случаев, если из-за отсутствия требований к конструкции и исполнению с учетом степени риска причинения вреда не обеспечивается достижение указанных в п. 1 ст. 6 на стоящего федерального закона целей принятия технического регламента.

5. В технических регламентах с учетом степени риска причинения вреда могут содержаться специальные требования к продукции, процессам производства, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации, требования к терминологии, упаковке, маркировке или этикеткам и правилам их нанесения, обеспечивающие защиту отдельных категорий граждан (несовершеннолетних, беременных женщин, кормящих матерей, инвалидов).

6. Технические регламенты применяются одинаковым образом и в равной мере независимо от страны и (или) места происхождения продукции, осуществления процессов производства, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации, видов или особенностей сделок и (или) физических и (или) юридических лиц, являющихся изготовителями, исполнителями, продавцами, приобретателями с учетом положений п. 9 настоящей статьи.

7. Технический регламент не может содержать требования к продукции, причиняющей вред жизни или здоровью граждан, накапливаемый при длительном использовании этой продукции и зависящий от других факторов, не позволяющих определить степень допустимого риска. В этих случаях технический регламент может содержать требование, касающееся информирования приобретателя о возможном вреде и о факторах, от которых он зависит.

8. Международные стандарты и (или) национальные стандарты могут использоваться полностью или частично в качестве основы для разработки проектов технических регламентов. *Международный стандарт ИСО* (international standard ISO) – нормативный документ, принятый Международной организацией по стандартизации. *Международный стандарт МЭК* (стандарт МЭК; IEC standard) – нормативный документ, принятый Международной электротехнической комиссией.

9. Технический регламент может содержать специальные требования к продукции, процессам производства, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации, терминологии, упаковке, маркировке или этикеткам и правилам их нанесения, применяемые в отдельных местах происхождения продукции, если отсутствие таких требований в силу климатических и географических особенностей приведет к недостижению целей, указанных в п. 1 ст. 6 закона.

Технические регламенты устанавливают также на минимально необходимые ветеринарно-санитарные и фитосанитарные меры в отношении продукции, происходящей из отдельных стран и (или) мест, в том числе ограничения ввоза, использования, хранения, перевозки, реализации и утилизации, обеспечивающие биологическую безопасность (независимо от способов обеспечения безопасности, использованных изготовителем).

Ветеринарно-санитарными и фитосанитарными мерами могут предусматриваться требования к продукции, методам ее обработки и производства, процедурам испытания продукции, инспектирования, подтверждения соответствия, карантинные правила, в том числе требования, связанные с перевозкой животных и растений, необходимых для обеспечения жизни или здоровья животных и растений во время их перевозки материалов, а также методы и процедуры отбора проб, методы исследования и оценки риска и иные содержащиеся в технических регламентах требования.

Ветеринарно-санитарные и фитосанитарные меры разрабатываются и применяются на основе научных данных, а также с учетом соответствующих международных стандартов, рекомендаций и других документов международных организаций в целях соблюдения необходимого уровня ветеринарно-санитарной и фитосанитарной защиты, который определяется с учетом степени фактического научно обоснованного риска. При оценке степени риска могут приниматься во внимание положения международных стандартов, рекомендации международных организаций, участником которых является Российская Федерация, распространенность заболеваний и вредителей, а также применяемые поставщиками меры по борьбе с заболеваниями и вредителями, экологические условия, экономические последствия, связанные с возможным причинением вреда, размеры расходов на предотвращение причинения вреда.

В случае если безотлагательное применение ветеринарно-санитарных и фитосанитарных мер необходимо для достижения целей ветеринарно-санитарной и фитосанитарной защиты, а соответствующее научное обоснование является недостаточным или не может быть получено в необходимые сроки, ветеринарно-санитарные или фитосанитарные меры, предусмотренные техническими регламентами в отношении

определенных видов продукции, могут быть применены на основе имеющейся информации, в том числе информации, полученной от соответствующих международных организаций, властей иностранных государств, информации о применяемых другими государствами соответствующих мерах или иной информации. До принятия соответствующих технических регламентов в случае, установленном настоящим абзацем, ветеринарно-санитарные и фитосанитарные меры действуют в соответствии с п. 5 ст. 46 настоящего федерального закона.

Ветеринарно-санитарные и фитосанитарные меры должны применяться с учетом соответствующих экономических факторов – потенциального ущерба от уменьшения объема производства продукции или ее продаж в случае проникновения, закрепления или распространения какого-либо вредителя или заболевания, расходов на борьбу с ними или их ликвидацию, эффективности применения альтернативных мер по ограничению рисков, а также необходимости сведения к минимуму воздействия вредителя или заболевания на окружающую среду, производства и обращение продукции.

10. Технический регламент, принимаемый федеральным законом или постановлением Правительства Российской Федерации, вступает в силу не ранее чем через шесть месяцев со дня его официального опубликования.

11. Правила и методы исследований (испытаний) и измерений, а также правила отбора образцов для проведения исследований (испытаний) и измерений, необходимые для применения технических регламентов, разрабатываются с соблюдением положений ст. 9 настоящего федерального закона федеральными органами исполнительной власти в пределах их компетенции в течение шести месяцев со дня официального опубликования технических регламентов и утверждаются Правительством Российской Федерации.

12. Правительство Российской Федерации разрабатывает предложения об обеспечении соответствия технического регулирования интересам национальной экономики, уровню развития материально-технической базы и уровню научно-технического развития, а также международным нормам и правилам. В этих целях Правительством утверждается программа разработки технических регламентов, которая должна ежегодно уточняться и опубликовываться.

Правительством Российской Федерации организуются постоянные учет и анализ всех случаев причинения вреда вследствие нарушения требований технических регламентов жизни или здоровью граждан, имуществу физических или юридических лиц, государственному или муниципальному имуществу, окружающей среде, жизни или здоровью животных и растений с учетом тяжести этого вреда, а также организуется информирование приобретателей, изготовителей и про-

давцов о ситуации в области соблюдения требований технических регламентов.

Статья 8. Виды технических регламентов

1. В Российской Федерации действуют:

- общие технические регламенты;
- специальные технические регламенты.

Обязательные требования к отдельным видам продукции, процессам производства, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации определяются совокупностью требований общих технических регламентов и специальных технических регламентов.

2. Требования общего технического регламента обязательны для применения и соблюдения в отношении любых видов продукции, процессов производства, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации.

3. Требованиями специального технического регламента учитываются технологические и иные особенности отдельных видов продукции, процессов производства, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации.

4. Общие технические регламенты принимаются по вопросам:

- безопасной эксплуатации и утилизации машин и оборудования;
- безопасной эксплуатации зданий, строений, сооружений и безопасного использования прилегающих к ним территорий;
- пожарной безопасности;
- биологической безопасности;
- электромагнитной совместимости;
- экологической безопасности;
- ядерной и радиационной безопасности.

5. Специальные технические регламенты устанавливают требования только к тем отдельным видам продукции, процессам производства, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации, в отношении которых цели, определенные настоящим федеральным законом для принятия технических регламентов, не обеспечиваются требованиями общих технических регламентов.

Специальные технические регламенты устанавливают требования только к тем отдельным видам продукции, процессам производства, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации, степень риска причинения вреда которыми выше степени риска причинения вреда, учтенной общим техническим регламентом. Итак, технические регламенты являются нормативными и правовыми актами. Закон устанавливает два вида технических регламентов: общие и специальные. В международной терминологии их называют *горизонтальными* и *вертикальными регламентами*.

Общие регламенты – это регламенты, которые оговаривают какие-то аспекты опасности, единые для всех категорий продукции. Например, регламент по биологической безопасности. Он, естественно, распространяется на огромную гамму продукции. Концепция закона предусматривает, что требования общих технических регламентов обязательны для применения и соблюдения в отношении любых видов продукции, процессов производства, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации.

Специальные регламенты – регламенты на достаточно крупные категории продукции, обладающие определенной спецификой. Это, например, «Медицинская техника», «Высоковольтное оборудование». Специальные технические регламенты устанавливают требования к видам продукции, безопасность которых не обеспечивается требованиями общих технических регламентов. Специальные технические регламенты не должны противоречить общим техническим регламентам и представляют собой нормативные акты прямого действия.

Методические рекомендации по разработке общих и специальных технических регламентов Р 50.1.044-2003 «Рекомендации по разработке технических регламентов») содержат минимальные требования для обеспечения безопасности продукции (услуг) и сферы применения обязательных требований сводится к минимуму. Причем после вступления в силу технических регламентов обязательные требования стандартов перестают быть обязательными и государственный контроль (надзор) начинается за соблюдением требований технических регламентов – проверка выполнения юридическим лицом или индивидуальным предпринимателем требований технических регламентов к продукции, процессам производства, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации и принятие мер по результатам проверки). Мировая практика в качестве основных нормативных элементов технического регулирования определяет технические регламенты, международные, национальные и региональные стандарты, процедуры подтверждения соответствия, аккредитацию органов сертификации и испытательных лабораторий (центров), контроль и надзор.

Технический регламент может быть принят одним из четырех способов: международным договором Российской Федерации, ратифицированным в установленном порядке; федеральным законом; указом Президента Российской Федерации; постановлением Правительства Российской Федерации.

Введение технического регламента в действие указом Президента или постановлением Правительства Российской Федерации производится в исключительных случаях при возникновении обстоятельств, приводящих к непосредственной угрозе жизни или здоровью граждан, окружающей среде, жизни или здоровью животных или растений, и в других

случаях, когда незамедлительно требуется принятие соответствующего технического регламента. Технический регламент, принятый указом Президента Российской Федерации или постановлением Правительства Российской Федерации, утрачивает силу после вступления в силу федерального закона о соответствующем техническом регламенте.

5.4. Государственный контроль (надзор) за соблюдением требований технических регламентов

Контроль (надзор) за соблюдением требований технических регламентов – проверка выполнения юридическим лицом или индивидуальным предпринимателем требований технических регламентов к продукции, процессам производства, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации и принятие мер по результатам проверки. Государственный контроль (надзор) за соблюдением требований технических регламентов пришел на смену действовавшему до 1 июля 2003 г. государственному контролю и надзору за соблюдением обязательных требований государственных стандартов и за сертифицированной продукцией. Согласно Федеральному закону «О техническом регулировании», национальные стандарты перешли в область «добровольного многократного использования», и обязательные требования к продукции устанавливаются только техническими регламентами, имеющими статус федерального закона.

Государственный контроль (надзор) за соблюдением требований технических регламентов осуществляется:

- федеральными органами исполнительной власти;
- органами исполнительной власти субъектов Российской Федерации;
- подведомственными им государственными учреждениями, - уполномоченными на проведение государственного контроля (надзора) в соответствии с законодательством Российской Федерации; далее – органы государственного контроля (надзора). Все эти органы исполнительной власти и учреждения являются органами государственного контроля (надзора). Непосредственно государственный контроль (надзор) за соблюдением требований технических регламентов осуществляется должностными лицами органов государственного контроля (надзора) в порядке, установленном законодательством Российской Федерации. Государственный контроль (надзор) за соблюдением требований технических регламентов осуществляется в отношении продукции, процессов производства, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации исключительно в части соблюдения требований соответствующих технических регламентов. В отношении продукции государственный

контроль (надзор) за соблюдением требований технических регламентов осуществляется исключительно на стадии обращения продукции.

Органы государственного контроля (надзора) имеют право:

- требовать от изготовителя (продавца, лица, выполняющего функции иностранного изготовителя) предъявления декларации о соответствии или сертификата соответствия, подтверждающих соответствие продукции требованиям технических регламентов или их копий, если применение таких документов предусмотрено соответствующим техническим регламентом;
- осуществлять мероприятия по государственному контролю (надзору) за соблюдением требований технических регламентов в порядке, установленном законодательством Российской Федерации;
- выдавать предписания об устранении нарушений требований технических регламентов в срок, установленный с учетом характера нарушения;
- принимать мотивированные решения о запрете передачи продукции, а также о полном или частичном приостановлении процессов производства, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации, если иными мерами невозможно устранить нарушения требований технических регламентов;
- приостанавливать или прекращать действие декларации о соответствии или сертификата соответствия;
- привлекать изготовителя (исполнителя, продавца, лицо, выполняющее функции иностранного изготовителя) к ответственности, предусмотренной законодательством Российской Федерации;
- принимать иные предусмотренные законодательством Российской Федерации меры в целях недопущения причинения вреда. Органы государственного контроля (надзора) обязаны:
 - проводить в ходе мероприятий по государственному контролю (надзору) за соблюдением требований технических регламентов разъяснительную работу по применению законодательства Российской Федерации о техническом регулировании, информировать о существующих технических регламентах;
 - соблюдать коммерческую и иную охраняемую законом тайну;
 - соблюдать порядок осуществления мероприятий по государственному контролю (надзору) за соблюдением требований технических регламентов и оформления результатов таких мероприятий, установленный законодательством Российской Федерации;
 - принимать на основании результатов мероприятий по государственному контролю (надзору) за соблюдением требований технических регламентов меры по устранению последствий нарушений требований технических регламентов;

- направлять информацию о несоответствии продукции требованиям технических регламентов в соответствии с положениями настоящего федерального закона;
- осуществлять другие предусмотренные законодательством Российской Федерации полномочия.

Органы государственного контроля (надзора) и их должностные лица в случае ненадлежащего исполнения своих служебных обязанностей при проведении мероприятий по государственному контролю (надзору) за соблюдением требований технических регламентов и в случае совершения противоправных действий (бездействия) несут ответственность в соответствии с законодательством Российской Федерации. О мерах, принятых в отношении виновных в нарушении законодательства Российской Федерации должностных лиц органов государственного контроля (надзора), органы государственного контроля (надзора) в течение месяца обязаны сообщить юридическому лицу и (или) индивидуальному предпринимателю, права и законные интересы которых нарушены.

Изготовитель (исполнитель, продавец или лицо, представляющее иностранного изготовителя) несет ответственность в соответствии с законодательством Российской Федерации за: нарушение требований технических регламентов; неисполнение предписаний и решений органа государственного контроля (надзора); вред, причиненный другим лицам, их имуществу и окружающей среде.

Виновник причиненного вреда обязан возместить причиненный вред и принять меры для недопущения причинения вреда в будущем. Спорные вопросы при невыполнении предписаний или программы мероприятий по предотвращению причинения вреда решаются в судебном порядке. При этом орган государственного контроля (надзора) имеет право требовать в суде принудительного отзыва продукции.

Контрольные вопросы

1. Какие законы Российской Федерации заменил Федеральный закон РФ «О техническом регулировании»?
2. Укажите области распространения технического регулирования?
3. В каких случаях технический регламент вводится в действие указом Президента или постановлением Правительства РФ?
4. Укажите цели принятия технических регламентов?
5. Кто осуществляет государственный контроль (надзор) за соблюдением требований технических регламентов?
6. Перечислите права органов государственного контроля (надзора).

Глава 6. СТАНДАРТИЗАЦИЯ

6.1. Общие сведения.

6.2. Цели стандартизации.

6.3. Документы в области стандартизации.

6.4. Международная и межгосударственная стандартизация.

6.5. Правила и методы стандартизации.

6.1. Общие сведения

Федеральный закон «О техническом регулировании» устанавливает современные правовые основы стандартизации в Российской Федерации, определяет новые права и обязанности участников экономических связей. Он регулирует отношения, возникающие при разработке, принятии, применении и использовании обязательных требований к продукции, процессам производства, эксплуатации и утилизации, а также при разработке, принятии, применении и использовании на добровольной основе требований к продукции, процессам производства, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации, выполнению работ или оказанию услуг.

Согласно закону «О техническом регулировании», стандартизация – деятельность по установлению правил и характеристик в целях их добровольного многократного использования, направленная на достижение упорядоченности в сферах производства и обращения продукции и повышение конкурентоспособности продукции, работ или услуг. По определению ИСО/МЭК стандартизация – установление и применение правил с целью упорядочения деятельности в определенной области на пользу и при участии всех заинтересованных сторон, в частности для достижения всеобщей оптимальной экономии при соблюдении условий эксплуатации (использования) и требований безопасности.

В России основы стандартизации заложены в X в. Первые нормы и правила взаимодействия элементов общественного производства в России отмечены в «Уставе князя Владимира Святославовича» (996 г.). Впервые упоминания о стандартах были отмечены во времена правления Ивана Грозного, когда были введены стандартные калибры-кружала для измерения пушечных ядер. Более широко основы установления и применения правил и требований к изделиям записаны в «Соборном уложении царя Алексея Михайловича» (1649 г.).

Начало более широкому внедрению стандартизации в производство было положено Петром I, со времени правления которого и начинается отсчет русская промышленная стандартизация. Зарождением же стандартизации считают ряд правил и норм, принятых указами Петра I (1672–1725 гг.). Во времена правления Петра I в первом Собрании законов Российской Империи был помещен ряд указов, свидетельствующих о том, что в это время в нашем государстве внедрялись элементы стандартизации и взаимозаменяемости. При постройке флота для Азовского похода в качестве образца была использована галера, по которой изготовляли другие галеры, что позволило построить флот быстро и качественно. Большое внимание Петр I уделял стандартизации оружейного снаряжения. Так, в Государственном указе № 2436 от 15 февраля 1712 г. сказано: «А ружье драгунское, так и солдатское, такие и пистолеты, когда будет повелено, делать одним калибром». Очень показателен Указ Петра I о качестве продукции от 11 января 1723 г., в котором четко указаны не только требования к качеству ружей для армии, но и к системе контроля качества, государственного надзора за ним и меры наказания производителей за выпуск дефектной продукции.

Пытаясь расширить внешнюю торговлю, Петр I не только ввел технические условия, учитывающие требования иностранных рынков к качеству отечественных товаров, но и организовал в Петербурге и Архангельске правительственные бракеражные (фиксирующие) комиссии, которым вменялось в обязанность следить за качеством экспортируемого Россией льна, пеньки и т.д. Общеизвестным началом стандартизации в России является образование в 1746 г. Комиссии мер и весов и создание в 1893 г. Главной палаты мер и весов. Современная стандартизация выполняет в жизни общества, прежде всего, экономическую и социальную функции.

Экономическая функция стандартизации реализуется:

- представлением достоверной информации о продукции;
- внедрением прогрессивной техники путем распространения через стандарты сведений о новых свойствах продукции;
- содействием здоровой и честной конкуренции, расширением взаимозаменяемости и совместимости различных видов продукции;
- организацией управления производством с заданным уровнем качества.

Социальная функция стандартизации обеспечивает достижение высокого уровня показателей продукции (услуг), который соответствует требованиям здравоохранения, санитарии и гигиены, охраны окружающей среды и безопасности людей.

6.2. Цели стандартизации

Согласно ст. 11 Федерального закона «О техническом регулировании» стандартизация осуществляется в целях:

- повышения уровня безопасности жизни или здоровья граждан, имущества физических или юридических лиц, государственного или муниципального имущества, экологической безопасности, безопасности жизни или здоровья животных и растений и содействия соблюдению требований технических регламентов;
- повышения уровня безопасности объектов с учетом риска возникновения чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера;
- обеспечения научно-технического прогресса;
- повышения конкурентоспособности продукции, работ и услуг;
- рационального использования ресурсов;
- технической и информационной совместимости-сопоставимости результатов исследований (испытаний) и измерений, технических и экономико-статистических данных;
- взаимозаменяемости продукции.

В процессе трудовой деятельности специалисту приходится решать систематически повторяющиеся задачи: измерение и учет количества продукции, составление технической и управленческой документации, измерение параметров технологических операций, контроль готовой продукции, упаковывание поставляемой продукции и т.д. Существуют различные варианты решения этих задач. Как деятельность по установлению правил и характеристик в сферах производства и обращения продукции, выполнения работ и оказания услуг стандартизация может способствовать достижению различных целей. Настоящий закон устанавливает главные из этих целей.

Цель «повышение уровня безопасности жизни или здоровья граждан, имущества физических или юридических лиц, государственного или муниципального имущества, экологической безопасности, безопасности жизни или здоровья животных и растений и содействие соблюдению требований технических регламентов» достигается за счет разработки и принятия таких документов в области стандартизации, которые помогают обеспечить выполнение требований технических регламентов. Для этого созданы комплекты документов, обеспечивающие рациональное решение вопросов, возникающих при исследовании и обосновании разработки продукции и услуг, разработке, изготовлении и эксплуатации продукции. Это такие вопросы, как порядок проведения разработки, правила принятия и оформления решений на этапах выполнения разработки, обозначения изделий и конструкторских документов, правила выполнения конструкторских и технологических документов, их состав, правила разработки и применения технологических процес-

сов и средств технологического оснащения и т.п. На достижение этой цели направлена сама сущность стандартизации, толкуемая законом как деятельность, направленная на определение норм, правил, требований, характеристик, которые должны обеспечивать безопасность продукции, работ и услуг, их техническую и информационную совместимость, взаимозаменяемость, качество продукции (услуг) в соответствии с достижениями научно-технического прогресса.

Достижение одной из целей стандартизации – обеспечения научно-технического прогресса – невозможно без динамичности и опережающего развития стандартов. Научно-технический прогресс вносит изменения в технику и процессы управления, поэтому стандарты должны быть адаптированными к происходящим переменам. Динамичность обеспечивается внесением изменений в стандарты и отменой нормативных документов. Опережающее развитие обеспечивается внесением в стандарт перспективных требований и норм, учетом на этапе разработки нормативных документов требований международных и региональных стандартов.

Принципы стандартизации. Стандартизация осуществляется в соответствии с принципами (ст. 12. Закона «О техническом регулировании»):

- добровольного применения стандартов;
- максимального учета при разработке стандартов законных интересов заинтересованных лиц;
- применения международного стандарта как основы разработки национального стандарта, за исключением случаев, если такое применение признано невозможным вследствие несоответствия требований международных стандартов климатическим и географическим особенностям Российской Федерации, техническим и/или технологическим особенностям или по иным основаниям либо если Российская Федерация в соответствии с установленными процедурами выступала против принятия международного стандарта или отдельного его положения;
- недопустимости создания препятствий производству и обращению продукции, выполнению работ и оказанию услуг в большей степени, чем это минимально необходимо для выполнения целей, указанных в настоящем федеральном законе;
- недопустимости установления таких стандартов, которые противоречат техническим регламентам;
- обеспечения условий для единообразного применения стандартов.

Национальные стандарты принимают статус добровольных документов. Включенные в них ранее обязательные требования будут выведены и по мере разработки технических регламентов, будут отражены в последних. Процедуры оценки соответствия объектов технического регулирования требованиям технических регламентов будут определяться

в самих технических регламентах, которые в том числе должны обеспечить для производителя альтернативу выбора этих процедур. Со стороны государственных органов должны отсутствовать претензии к составу и уровню требований по показателям качества продукции и услуг, техническим решениям, а также технологическим методам. Исключение составляют требования по безопасности, однако они устанавливаются техническими регламентами.

Принцип максимального учета при разработке стандартов законных интересов заинтересованных лиц (сбалансированность интересов сторон) предусматривает необходимость нахождения компромисса между желаниями приобретателя и возможностями разработчика и изготовителя, т.е. необходимость оптимизации уровня качества продукции и услуг при условии их высокой конкурентоспособности. Участники работ по стандартизации, исходя из возможностей изготовителя продукции и исполнителя услуги, с одной стороны, и требований потребителя – с другой, должны найти консенсус (общее согласие, т.е. отсутствие возражений по существенным вопросам у большинства заинтересованных сторон, стремление максимально учесть мнение всех сторон и сблизить несовпадающие точки зрения). Консенсус не предполагает полного единодушия.

6.3. Документы в области стандартизации

Согласно ст. 13 Федерального закона «О техническом регулировании» к документам в области стандартизации, используемым на территории Российской Федерации, относятся:

- национальные стандарты;
- правила стандартизации, нормы и рекомендации в области стандартизации;
- применяемые в установленном порядке классификации, общероссийские классификаторы технико-экономической и социальной информации;
- стандарты организаций.

Согласно ст. 2 Федерального закона «О техническом регулировании» **стандарт** – документ, в котором в целях добровольного многократного использования устанавливаются характеристики продукции, правила осуществления и характеристики процессов производства, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации, выполнения работ или оказания услуг. Стандарт также может содержать требования к терминологии, символике, упаковке, маркировке или этикеткам и правилам их нанесения. Национальный стандарт – стандарт, утвержденный национальным органом Российской Федерации по стандартизации.

Национальный стандарт Российской Федерации (The national standard of the Russian Federation) (ранее – государственный стандарт) согласно его наименованию и уровню утверждения является документом федерального значения в области стандартизации, имеющим, как было уже отмечено, не обязательный, а рекомендательный характер. Для реализации положений законов «О техническом регулировании» и «Об обеспечении единства измерений», а также постановлений Правительства Российской Федерации разрабатывают и принимают подзаконные акты – нормативные документы.

Нормативный документ – документ, устанавливающий правила, общие принципы или характеристики, касающиеся различных видов деятельности или их результатов (ГОСТ Р 1.12-99). Термин «нормативный документ» является родовым (основополагающим) и охватывает такие основные понятия, как стандарты и иные документы по стандартизации – правила стандартизации, нормы, рекомендации, методические и описательные положения, регламенты, общеевропейские классификаторы.

Правила по стандартизации, метрологии, сертификации и аккредитации являются нормативными документами, устанавливающими обязательные для применения организационно-технические и/или общетехнические положения, порядки, методы выполнения работ в соответствующих областях.

Правила (ПР) – документ в области стандартизации, устанавливающий обязательные для применения организационно-технические и/или общетехнические положения, порядки (правила, процедуры), методы (способы, приемы) выполнения работ, а также обязательные требования к оформлению результатов этих работ.

Рекомендации (Р), в том числе и межгосударственные (РМГ), – документ в области стандартизации, содержащий добровольные для применения организационно-технические и/или общетехнические положения, порядки (правила, процедуры), методы (способы, приемы) выполнения работ, а также рекомендуемые правила оформления результатов этих работ.

Методические инструкции (МИ) и руководящие документы (РД) являются нормативными документами методического содержания, разрабатываются организациями, подведомственными Федеральному агентству по техническому регулированию и метрологии.

Методическое положение – методика и способ осуществления процесса, той или иной операции, с помощью чего можно достигнуть соответствия требованиям нормативного документа. Нормативный документ, содержащий подобное положение, можно назвать методическим стандартом.

Описательное положение содержит описание конструкции, ее деталей, состава исходных материалов, размеров деталей и частей изделия (конструкции). Кроме того, нормативный документ может содержать и эксплуатационные положения, которые описывают «поведение» объекта стандартизации при его применении (эксплуатации). В большинстве стран мира организация работ по стандартизации построена по похожим схемам. Отличие обычно заключается в степени централизации разработки стандартов и уровне участия в ней коммерческих и общественных организаций. Во многих странах требования стандартов регламентируются не для производимой, а для потребляемой продукции на территории данного государства.

В качестве нормативного документа может выступать комплекс стандартов, который объединяет взаимосвязанные стандарты, если они имеют общую целевую направленность, устанавливают согласованные требования к взаимосвязанным объектам стандартизации. Подобные комплексы стандартов, согласно общероссийским классификаторам, представляют собой системы стандартов межотраслевого значения. Номер системы обозначается цифрой после аббревиатуры ГОСТ. Примерами межгосударственных и государственных систем стандартов являются:

- ГОСТ Р 1 – Национальная система стандартизации Российской Федерации (ГСС);
- ГОСТ 2 – Единая система конструкторской документации (ЕСКД);
- ГОСТ 3 – Единая система технологической документации (ЕСТП);
- ГОСТ 4 – Система показателей качества продукции (СПКП);
- ГОСТ 6 – Унифицированная система документации (УСД);
- ГОСТ 7 – Система информационно-библиографической документации (СИБИД);
- ГОСТ Р 8 – Государственная система обеспечения единства измерений (ГСП);
- ГОСТ 12 – Система стандартов безопасности труда (ССБТ);
- ГОСТ 14 – Единая система технологической подготовки производства (ЕСТПП);
- ГОСТ 19 – Единая система программных документов (ЕСПД).

Стандарты организаций (понятие введено в Законе «О техническом регулировании») – стандарты, в том числе коммерческих, общественных, научных организаций, саморегулируемых организаций, объединений юридических лиц, разрабатываемые и утверждаемые ими самостоятельно исходя из необходимости их применения. Отметим принципиальное различие правовой природы национальных стандартов и стандартов организаций. Первые являются по существу рекомендациями общероссийского масштаба, вторые – локальными нормативными пра-

новыми актами, обязательными для применения всеми работниками организации, их утвердившей.

6.4. Международная и межгосударственная стандартизация

Важное значение придается в Федеральном законе «О техническом регулировании» и международному сотрудничеству в области стандартизации. Сложившееся современное международное разделение труда и связанная с этим торговля и научно-техническое сотрудничество потребовали достижения международных соглашений и разработки международных нормативных документов, требования которых имели бы однозначное толкование как для изготовителя, так и для продавца и потребителя. Подобные документы должны содержать технические требования, методы и условия испытаний, точные определения величин, которые следует измерять, сведения о приборах, с помощью которых производятся измерения, данные о точности этих приборов и методах их проверки.

Международное сотрудничество в сфере стандартизации проводится по линии международных и региональных организаций по стандартизации, а также многосторонних и двусторонних связей между государствами на основании соответствующих указов Президента и постановлений Правительства Российской Федерации.

Основными задачами международного научно-технического сотрудничества в области стандартизации являются: обеспечение взаимозаменяемости элементов сложной продукции; сближение уровня качества товаров, производимых в разных странах; содействие взаимному обмену научно-технической информацией; ускорение научно-технического прогресса участников международных организаций; содействие международной торговле.

В области международной стандартизации (и частично в области сертификации и подтверждении соответствия) участвует несколько международных организаций, среди которых наиболее известны отмечавшиеся ранее: ИСО (ISO); МЭК; МОЗМ; МБМВ; Европейская организация по качеству (ЕОК) – European Organization for Quality (EOQ); Европейский комитет по стандартизации (ЕКС) – European Committee for Standardization (CEN); Европейский комитет по стандартизации в области электротехники и электроники (ЕКСЭЭ) – European Committee for Electrotechnical Standardization (CENELEC); Европейская экономическая комиссия ООН (ЕЭК ООН) – United Nations Economic Commission for Europe (UN/ECE); Европейский институт по стандартизации в области телекоммуникаций (ЕИСТ) – European Telecommunications Standards Institute (ETSI) и ряд других. Международные стандарты и рекоменда-

ции этих организаций, формально не являясь обязательными нормативными документами, фактически соблюдаются всеми заинтересованными сторонами в той мере, в какой это им необходимо.

Одной из самых авторитетных международных организаций в области стандартизации является ИСО (в настоящее время членами ИСО являются национальные организации по стандартизации более 140 стран мира). Сфера деятельности этой организации касается стандартизации во всех областях, кроме электротехники и электроники, относящихся к компетенции МЭК (в некоторых областях ИСО и МЭК часто действуют совместно). Стратегическая цель ИСО – содействие стандартизации в мировом масштабе для улучшения международного товарообмена и взаимопомощи, а также для расширения сотрудничества в области интеллектуальной, научной, технической и экономической деятельности с помощью разработки международных стандартов, отвечающих мировому уровню. Кроме того, ИСО содействует развитию метрологии и сертификации с целью обеспечения международного обмена товарами и услугами.

Чрезвычайно широко в мире используются международные стандарты ИСО, общее число которых в настоящее время превышает 12 000, причем ежегодно принимаются и пересматриваются около 1000 стандартов. Они не являются обязательными для применения государствами-членами ИСО. Решение об их применении связано со степенью участия конкретной страны в международном разделении труда и состоянием ее внешней торговли.

В российской системе стандартизации нашли применение около половины стандартов КО. В нашей стране в настоящее время идет активный процесс внедрения стандартов ИСО в национальную систему стандартизации.

Стандарты ИСО отличаются тем, что небольшая часть из них включает требования к конкретной продукции. Основное число нормативных документов касается вопросов безопасности, взаимозаменяемости, технической совместимости, методов испытаний продукции, общих методических вопросов. Предполагается, что технические требования к продукции устанавливаются в процессе договорных отношений.

Стандарты ИСО обычно разрабатываются и вводятся в действие следующим образом. Специалистами ИСО выбирается за основу наиболее прогрессивный, современный и действующий национальный стандарт одной из стран. В качестве первой редакции стандарт ИСО переводят на английский, французский, немецкий и русский языки и рассылают для ознакомления и сбора отзывов всем членам технического комитета по данному направлению. Затем на основании отзывов разрабатывают вторую редакцию и процесс повторяют. Далее на заседании технического комитета обсуждают разногласия и вырабатывают единую

редакцию документа, которую утверждают на основе консенсуса. Стандарты ИСО носят рекомендательный характер, хотя их часто применяют в международных и межгосударственных контрактах в качестве обязательных.

Кроме ИСО, наибольшую известность и влияние в области стандартизации имеет МЭК. Организационная структура и принципы деятельности ее аналогичны ИСО, часто они работают совместно и выпускают единые документы. Обозначения стандартов МЭК аналогичны обозначениям национальных стандартов Российской Федерации (ГОСТ Р), в случае выпуска совместного стандарта с ИСО он имеет обозначение КОЛЕС.

Основная цель МЭК – содействие международному сотрудничеству по стандартизации и смежным с ней проблемам в области электротехники и радиотехники путем разработки международных стандартов и других документов. Международные стандарты МЭК можно разделить на два вида: общетехнические, которые носят межотраслевой характер, и стандарты, содержащие технические требования к конкретной продукции. К первому виду относятся НД на терминологию, стандартные напряжения и частоты, различные виды испытаний и пр. Второй вид стандартов охватывает большой диапазон электроприборов – от бытовых до устройств спутниковой связи. Основные объекты стандартизации МЭК: материалы для электротехнической промышленности; электротехническое оборудование; электроэнергетическое оборудование; изделия электронной промышленности; электронное оборудование бытового и производственного назначения; электроинструменты; оборудование для спутников связи; терминология.

В составе МЭК особый статус имеет Международный комитет по радиопомехам, который занимается стандартизацией методов измерения радиопомех, излучаемых электронными и электротехническими приборами. Допустимые уровни помех являются объектами прямого технического законодательства всех развитых стран.

Придавая большое значение разработке международных стандартов на безопасность, КО совместно с МЭК приняли Руководство КО/МЭК «Общие требования к изложению вопросов безопасности при подготовке стандартов». Главной целью стандартизации в области безопасности является поиск защиты от различных видов опасностей. В сферу деятельности МЭК входят: травмоопасность, опасность поражения током, техническая опасность, пожароопасность, взрывоопасность, химическая опасность, биологическая опасность, опасность излучений оборудования (звуковых, инфракрасных, радиочастотных, ультрафиолетовых, ионизирующих, радиационных и др.).

Заметим, что Руководство 2 ИСО/МЭК рассматривает прямое и косвенное применение международного стандарта. Прямое примене-

ние – применение международного стандарта независимо от его принятия в любом другом нормативном документе. Косвенное применение – применение международного стандарта независимо от его принятия в любом другом нормативном документе, в котором этот стандарт был принят.

В целях обеспечения преемственности, технической и информационной совместимости, увязывания вновь разрабатываемых стандартов с действующими представители СНГ подписали «Соглашение о проведении согласованной политики в области стандартизации, метрологии и сертификации», в котором были заложены основы системы межгосударственной стандартизации. Согласно этому документу стандарты, действовавшие в СССР в качестве государственных, были признаны межгосударственными стандартами, эталонная база бывшего СССР рассматривалась как совместное достояние, устанавливалась необходимость двусторонних соглашений для взаимного признания систем стандартизации, сертификации и метрологии. На основе данного соглашения создан Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации Содружества Независимых Государств (МГС СНГ), где представлены все национальные организации по стандартизации, метрологии и сертификации этих стран. МГС СНГ признан ИСО в качестве региональной организации по стандартизации; подписаны соглашения МЭК и СЕН о сотрудничестве. Проект соглашения о сотрудничестве направлен в ИСО. МГС СНГ ведет большую работу по стандартизации и сертификации различных продуктов и услуг. Стандарты и иная нормативная документация, разработанная Советом, распространяется в странах СНГ. Этот процесс проводится в соответствии с правилами ПМГ 04-94 «Порядок распространения межгосударственных стандартов и нормативной документации Межгосударственного Совета по стандартизации, метрологии и сертификации» и правилами ПМГ 05-94 «Порядок взаимодействия национальных органов по стандартизации по осуществлению переводов межгосударственных, международных и зарубежных стандартов».

В результате деятельности МГС сохранены фонды нормативных документов и эталонная база. Учитывая большую работу, проводимую МГС в рамках СНГ, Международная организация по стандартизации признала МГС в качестве международной региональной организации по стандартизации. Деятельность МГС в значительной степени способствует ускорению процесса вступления государств-участников СНГ во Всемирную торговую организацию (ВТО) и КО.

Участие Российской Федерации в деятельности по международной стандартизации может быть эффективным только при условии своевременного и наиболее полного использования международных стандартов в отраслях экономики. Отечественная национальная система стандарти-

зации предусматривает несколько вариантов применения в Российской Федерации международных стандартов в зависимости от степени его содержания и использования международного документа и формы его представления.

1. Принятие аутентичного текста международного стандарта в качестве национального нормативного документа Российской Федерации (ГОСТ Р) без каких-либо дополнений и изменений (прямой метод, или «метод обложки»). При этом обозначение национального стандарта Российской Федерации состоит из индекса (ГОСТ Р); обозначения соответствующего международного стандарта (без указания года его принятия); отделенных тире двух последних цифр года утверждения ГОСТ Р.

Пример: ГОСТ Р ИСО (180) 9591-93.

2. Принятие международного (национального) стандарта, представляющего собой аутентичный текст на русском языке соответствующего международного документа, но с дополнительными требованиями к объекту стандартизации, отражающими специфику потребностей России. При данном варианте содержание ГОСТа отличается от зарубежного аналога, а обозначение международного стандарта приводится в скобках вслед за обозначением ГОСТ Р.

Пример: ГОСТ Р 50231-92 (ИСО 7173-89).

3. Принятие стандарта организации, ОСТ, СТО на основе международного документа по стандартизации до принятия их в качестве национальных стандартов. При этом методе международный документ используется локально, т.е. в рамках отрасли, предприятия, научно-технического общества.

Возможны и другие варианты заимствования отдельных положений и норм международных документов по стандартизации и использованию их в российских нормативных документах. В этом случае международный стандарт используется только в качестве источника информации, который учитывается при разработке национального стандарта Российской Федерации.

6.5. Правила и методы стандартизации

Стандартизация базируется на общенаучных и специфических правилах и методах. Применяемые в области стандартизации правила стандартизации предназначены для установки правил и принципов, относящихся к деятельности по стандартизации, организации работ по стандартизации, разработке, пересмотру и отмене стандартов, их структуре, этапности разработки, правилам изложения и оформления.

Правила по стандартизации являются нормативными документами, устанавливающими обязательные для применения организационно-

технические и/или общетехнические положения, порядки, методы выполнения работ в соответствующих областях.

Методы стандартизации. Основные результаты стандартизации оценивают по тем изменениям, которые она внесла в развитие научно-технического прогресса и хозяйственную деятельность. В этих условиях в методологии стандартизации особое значение приобретают определенные общенаучные методы: системный анализ в стандартизации; научный подход в стандартизации.

Системный анализ в стандартизации – направление практической деятельности, в основе которого лежит рассмотрение объектов стандартизации как систем. Наиболее простое представление об объектах стандартизации дает вид и тип системы одинаковых или аналогичных предметов и изделий. Начиная с производства, объекты стандартизации усложняются за счет структуры и развития связей. В общем случае системный анализ рассматривают как некоторый процесс, в результате которого путем последовательного приближения решают задачи управления; его применяют для исследования систем, представляющих собой взаимосвязанное множество объектов стандартизации и требующих предварительного определения целей, задач и направлений действия.

Системный анализ в стандартизации включает следующие основные принципы:

- направленность на выявление целей системы;
- изучение динамического характера процессов, протекающих в системах, их функционирования и развития;
- определение и исследование всех существенных взаимосвязей как внутри системы, так и между системой и внешней средой, а также выбор частных решений с учетом их влияния на исследуемую систему в целом;
- поиск вариантов решения и выбор наилучшего из них;
- нахождение оптимальных решений на основе сравнения затрат;
- учет случайно действующих факторов.

Системный анализ имеет следующий перечень типовых стандартных элементов: цели, пути достижения поставленных целей, определение требуемых ресурсов и их распределение, модель и критерий.

Проводят системный анализ в несколько этапов:

- постановка задачи, включающая определение конечных целей и круга вопросов, требующих решения;
- анализ условий, в которых функционирует система, а также определение ограничений, накладываемых на условия функционирования системы;
- определение, анализ и обобщение данных, необходимых для решения проблемы, изучения структуры анализируемой системы, уста-

новление связей, разработка различных программ, обеспечивающих решение задачи;

- построение модели, идентификация системы, выбор критериев для предсказания последствий выбора решений, сравнение различных вариантов решений с точки зрения этих последствий;
- разработка рекомендаций по созданию проекта стандарта;
- подтверждение (экспериментальная проверка) принятых решений;
- окончательный выбор оптимального решения задачи на основе экспериментальной проверки принятого решения;
- реализация принятого решения (утверждение стандарта).

Научный подход в стандартизации основан на том, что основные показатели, нормы, характеристики и требования, включаемые в стандарт, должны соответствовать передовому уровню науки и техники и основываться на результатах научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ. Поэтому разработка всех видов и категорий стандартов должна вестись с учетом и использованием научных достижений в соответствующих областях, а в необходимых случаях разработке стандартов должно предшествовать проведение научно-исследовательских работ.

Метод стандартизации – прием или совокупность приемов, с помощью которых достигаются цели стандартизации. Стандартизация базируется на общенаучных и специфических методах. Наиболее широко применяемыми в работах по стандартизации методами являются унификация, типизация, агрегатирование.

Методической основой стандартизации являются математические методы, включая предпочтительные числа и ряды предпочтительных чисел, параметрические ряды, а также унификация деталей и узлов, агрегатирование, комплексная и опережающая стандартизация.

Под унификацией (унификация от лат. unio – единение и facere – делать; означает приведение чего-нибудь к единой форме или системе) понимают действия, направленные на сведение к технически и экономически обоснованному рациональному минимуму неоправданного многообразия различных деталей, узлов, изделий, конструкций, технологических процессов и документации. В широком смысле унификация – научно-технический метод определения и регламентации оптимальной и сокращенной номенклатуры объектов одинакового функционального назначения.

Наиболее часто объектами унификации являются отдельные изделия, их составные части, детали, комплектующие элементы и т.д. Проводится унификация на основе анализа конструктивных вариантов изделий, их применяемости, путем сведения близких по назначению, конструкции и размерам изделий, их составных частей и деталей к единой типовой конструкции. При необходимости в конструкцию унифицируе-

мых изделий и их элементов вносят технические усовершенствования и доработки.

Унификацию можно рассматривать как средство оптимизации параметров качества и ограничения количества типоразмеров выпускаемых изделий и их составных частей. Благодаря унификации возрастает спрос на отдельные детали, узлы и комплектующие изделия, используемые в производстве различных видов продукции. Повышенный спрос позволяет организовывать поточное производство указанных компонентов готовой продукции, укрупнять их партии, создавать специализированные участки и предприятия.

К основным видам унификации относят конструкторский и технологический ее виды. Конструкторская унификация предполагает унификацию изделий в целом и их составных частей, а технологическая – унификацию нормативно-технической документации (стандартов, технических условий, инструкций, методик, руководящих документов и др.).

Унификацию делят на два основных направления: компоновочное и ограничительное. Компоновочное направление унификации предусматривает исследование рынка, анализ существующих потребностей и выявление номенклатуры изделий, необходимых потребителю. Ограничительное направление унификации предполагает углубленный анализ номенклатуры выпускаемых изделий и ее дальнейшее ограничение до минимально необходимой номенклатуры типоразмеров изделий и их составляющих.

В мировой практике стандартизации ограничительное направление унификации получило название симплификации (*simplification* – упрощение). По определению ИСО, симплификация – процесс простого сокращения количества, типов или других разновидностей изделий до количества технически и экономически необходимого для удовлетворения потребностей. При симплификации оставляют только те составные части и детали, которые считают необходимыми.

Унификацию можно проводить на разных уровнях управления качеством продукции межотраслевым, отраслевым, уровне предприятия.

Под типизацией объектов стандартизации понимается метод стандартизации, заключающийся в установлении типовых объектов для данной совокупности и принимаемых за основу (базу) при создании других объектов, близких по функциональному назначению. При этом отобранные объекты подвергают каким-либо техническим преобразованиям, направленным на повышение их качества и универсальности. Этот метод иногда называют методом базовых конструкций, так как в процессе типизации выбирают объект, наиболее характерный для данной совокупности, с оптимальными свойствами, а для получения конкретного объекта (изделия, технологического процесса) выбранный типовой объект может лишь частично изменяться или дорабатываться.

Возможность определенных преобразований отобранных объектов отличает типизацию от селекции – деятельности, заключающейся в простом отборе конкретных объектов, которые признаются целесообразными для дальнейшего производства и применения.

Агрегатирование – метод создания машин, оборудования и приборов из отдельных стандартных унифицированных агрегатов (автономных узлов), многократно используемых при создании разнообразных изделий и устанавливаемых в них в различном количестве и различных комбинациях на основе геометрической и функциональной взаимозаменяемости. Каждый узел выполняет определенную функцию и представляет законченное изделие.

Агрегат – укрупненный унифицированный узел машины или прибора, который обладает следующими свойствами:

- отделимостью и полной взаимозаменяемостью;
- завершенностью в функциональном отношении. Под завершенностью в данном случае понимают возможность самостоятельно выполнять определенную функцию;
- завершенностью в конструктивном исполнении (самостоятельное изделие);
- наличием стандартных конструктивных, габаритных и присоединительных размеров, допускающих надежную и быструю сборку.

Агрегат должен быть отработан технологически и хорошо изучен в эксплуатации.

Как показывает опыт промышленности, конструкции большинства машин, оборудования, приборов и других изделий могут быть расчленены на несколько автономных агрегатов (узлов). Расчленение машин производят на основе структурного анализа их составных частей, позволяющего выделить автономные функциональные узлы (агрегаты) с учетом применения их в ряде других машин. Затем агрегаты унифицируют, стандартизируют, они могут составлять конструктивно-унифицированные (типоразмерные) ряды. Агрегаты изготовляют независимо один от другого, они обладают полной взаимозаменяемостью по всем эксплуатационным показателям и присоединительным размерам.

Унификация приводит к уменьшению числа типоразмеров изделий одинакового назначения, а агрегатирование увеличивает число объектов специализированного назначения. Применение метода агрегатирования позволяет не создавать каждый раз новое изделие как оригинальное и единственное в своем роде, а перекомпоновывать уже существующие, освоенные в производстве узлы и агрегаты, с добавлением ограниченного числа новых узлов, при котором к базовой модели машины (прибора) присоединяется специальное оборудование (блоки). В результате получают ряд машин (приборов) разнообразного назначения.

В условиях современного производства, когда осуществляется быстрая смена объектов производства, агрегатирование является одним из наиболее прогрессивных методов конструирования изделий, обеспечивающим ускорение технического прогресса и большой экономический эффект.

Использование агрегатирования как метода стандартизации обеспечивает решение целого ряда актуальных задач в различных отраслях промышленности:

- расширение номенклатуры выпускаемых изделий за счет создания их новых модификаций и различных вариантов исполнения;
- комплектование и сборка изделий разного функционального назначения из унифицированных и взаимозаменяемых деталей, узлов и агрегатов;
- расширение области применения универсальных изделий, машин и оборудования за счет создания возможности быстрой замены их рабочих органов;
- создание сложной технологической оснастки и приспособлений на основе использования общих деталей, узлов и агрегатов;
- обеспечение высокопроизводительного ремонта и эффективного восстановления изношенных изделий, машин и оборудования за счет использования взаимозаменяемых деталей, запасных частей, комплектующих изделий, узлов и агрегатов.

Необходимо, чтобы унифицированные агрегаты имели оптимальную конструкцию высокого качества и состояли по возможности из наименьшего числа наименований деталей. Сборка этих агрегатов должна быть простой и надежной (с помощью резьбовых, шлицевых и других соединений). После сборки машины оборудование или приборы должны обладать требуемой прочностью, надежностью, долговечностью, жесткостью, виброустойчивостью и иметь оптимальные показатели качества, определяемые их эксплуатационным назначением.

В настоящее время на повестке дня стоит переход к производству техники на базе крупных агрегатов – модулей. Модульное формирование техники (МФТ) стало особым стратегическим направлением развития технических систем и является высшей формой стандартизации. Суть МФТ заключается в комплектовании сложных комплексов с большим разнообразием характеристик и типоразмеров из одинаковых первичных (типовых или стандартных) общих элементов-модулей. Модульный принцип широко распространен в радиоэлектронике и приборостроении, в том числе при создании гибких производственных систем.

Параметрическая стандартизация. Процесс стандартизации параметрического ряда – параметрическая стандартизация – заключается в

выборе и обосновании целесообразной номенклатуры и численных значений параметров. Решается эта задача с помощью математических методов.

Чтобы увеличить производительность и мощность, повысить уровень взаимозаменяемости и уменьшить номенклатуру изделий и типоразмеров заготовок, размерного измерительного инструмента, оснастки и т.д., используемых в той или иной отрасли промышленности, а также с целью создания условий для эффективной специализации, удешевления продукции при унификации и разработке стандартов применяют принцип предпочтительности. Для этого используют систему и ряды предпочтительных чисел.

Предпочтительными числами называют числа, которые рекомендуется выбирать как преимущественные перед другими при назначении величин параметров для вновь создаваемых изделий. Ряды предпочтительных чисел строятся на основе определенных математических закономерностей.

Ряды предпочтительных чисел. Стандартизуемые показатели номенклатуры изделий обычно имеют числовое выражение и образуют в определенных диапазонах последовательность чисел. В результате стандартизации всю совокупность показателей представляют в виде математических рядов, что способствует сокращению номенклатуры изделий, экономии ресурсов и т.д.

В соответствии с этим ряды предпочтительных чисел должны удовлетворять следующим требованиям:

- представлять рациональную систему градаций, отвечающую потребностям производства и эксплуатации;
- быть бесконечными в уменьшении и увеличении чисел;
- включать все последовательные десятикратные или дробные значения каждого числа ряда;
- быть простыми и легко запоминающимися.

Специально проведенные исследования показали, что наиболее оптимальными являются ряды предпочтительных чисел, построенные по геометрической прогрессии. Преимущество геометрической прогрессии состоит в том, что в любом интервале процент увеличения числа является неизменным; недостаток – все ее члены обязательно округляют.

Пусть имеется геометрический ряд, в котором *коэффициенты* a_1, a_2, \dots, a_n – члены прогрессии. В ряде, построенном на основе геометрической прогрессии, постоянен ее знаменатель w , т.е. отношение последующего члена к предыдущему:

$$w = a_{n+1}/a_n.$$

Каждый последующий член ряда является произведением предыдущего члена на знаменатель ряда w и любой i -й член геометрической прогрессии:

$$a_i = a_1 w^{i-1}$$

Например, при значениях $a_1 = 1$, $w = 2$ имеем геометрический ряд 1, 2, 4, 8, 16, ..., а при $w = 1,4$ – ряд 1; 1,4; 2; 2,8, ... Ряды, построенные на основе геометрической прогрессии, обладают следующими свойствами:

- произведение или частное каждых любых из двух его членов является членом ряда;
- любой член ряда, возведенный в целую положительную степень, также является членом этого ряда.

Из этих свойств следует, что зависимости, определяемые из произведений членов ряда или их степеней, всегда подчиняются закономерностям этого ряда. Так, например, при выборе длин сторон прямоугольника из ряда предпочтительных чисел его площадь будет членом этого ряда.

Менее удобны применяемые иногда ряды, построенные на основе арифметической прогрессии. В арифметической прогрессии разность между ее соседними членами постоянна и любой член

$$a_n = a_1 + b(n-1),$$

где a – первый член прогрессии; b – разность прогрессии; n – номер члена.

В частности, последовательность чисел 1, 2, 3, 4, 5, ... представляет арифметическую прогрессию, возрастающую с разностью 1. Последовательность чисел 1; 0,75; 0,5; 0,25; ... – арифметическая прогрессия, убывающая с разностью 0,25. Несмотря на простоту, ряды предпочтительных чисел, построенные на основе арифметической прогрессии, имеют существенный недостаток – неравномерность ряда, который ограничивает их применение. Так, в приведенной возрастающей последовательности с разностью 1 второй член ряда превышает первый на 100%, десятый больше девятого на 11%, а сотый больше 99-го всего на 1%. В результате большие числа следуют друг за другом с очень малыми интервалами (очень часто), что не всегда экономически оправдано и рационально. Для устранения этого недостатка используют ступенчатые ряды, составленные из отрезков арифметических рядов с различными разностями. По такому принципу, например, построен ряд номиналов монет Российской Федерации – 1, 2, 5 рублей. Международной организацией по стандартизации рекомендовано для построения рядов предпочтительных чисел на основе геометрической прогрессии использовать такие ряды, в которых происходит десятикратное увеличение каждого

следующего n -го члена. Наиболее удобными для практики были признаны ряды, у которых первый член $a = 1$ и знаменатель $w = \sqrt[n]{10}$.

Многие промышленно развитые страны приняли национальные стандарты на нормальные линейные размеры. Отечественный ГОСТ 8032-84 «Предпочтительные числа и ряды предпочтительных чисел», составленный с учетом рекомендаций Международной организации по стандартизации (ИСО), устанавливает четыре основных ряда предпочтительных чисел, обозначаемых R5, R10, R20, R40, и один дополнительный R80, значения w для которых составляют:

$$R5 - w = \sqrt[5]{10} \approx 1.6; R10 - w = \sqrt[10]{10} \approx 1.25;$$

$$R20 - w = \sqrt[20]{10} \approx 1.12; R40 - w = \sqrt[40]{10} \approx 1.06;$$

$$R80 - w = \sqrt[80]{10} \approx 1.03;$$

Ряды предпочтительных чисел, приведенные в стандарте 8032-84, включают их значения в диапазоне от 0 до ∞ , полученные для величин a_1 , лежащих в интервале $1 < a < 10$. Для перехода от чисел этого интервала в любой другой десятичный интервал необходимо умножить соответствующее число на 10^k , где k – целое положительное или отрицательное число. Например, при $k = 1$ все числа ряда перейдут в интервал $10 < a < 100$, а при $k = -1$ – в интервале $0,1 < a < 1$.

Допустимо также использовать производные ряды, которые образуются из основных путем отбора каждого второго, третьего или в общем случае каждого n -го члена ряда. В частности, ряд, обозначенный как R40/5, включает в себя каждый пятый член ряда R40. В основу построения предпочтительных чисел Российской Федерации положен ряд R40 с параметрами от 0 до 10.

В радиотехнических системах кроме рядов R для выражения числовых параметров ряда электрических величин используют числа, построенные по рядам, рекомендуемым МЭК. Для данных рядов (ряды E) $w = \sqrt[n]{10}$ и $n = 3, 6, 12, 24$. Примером применения рядов E могут служить ряды номинальных значений сопротивлений резисторов и емкостей конденсаторов. Параметрические ряды. Как было отмечено, продукция определенного назначения характеризуется рядом параметров. Параметр – количественная характеристика свойств продукции. Создание параметрических рядов (гамм) – один из наиболее эффективных методов конструирования изделий.

Параметрическим рядом называют закономерно построенную в определенном диапазоне совокупность числовых значений главного параметра приборов или иного изделия одного функционального назначения и аналогичных по рабочему процессу, но различных по габаритам, мощностным или эксплуатационным параметрам. Главный параметр, который определяет важнейший эксплуатационный показатель прибора

и не зависит от его технических усовершенствований и технологии изготовления, служит базой при определении числовых значений основных параметров.

Параметрические ряды строят по основным параметрам и на основе систем предпочтительных чисел исходя из пропорционального изменения эксплуатационных показателей приборов. При их выборе следует руководствоваться следующими принципами:

- номенклатура основных параметров должна быть минимальной, чтобы не ограничивать процесс совершенствования конструкций и технологии изготовления изделий;
- параметры, включаемые в номенклатуру основных, должны быть стабильными, т.е. оставаться неизменными при конструктивных модификациях и техническом усовершенствовании;
- основные параметры не должны зависеть от часто изменяемых факторов: технологии изготовления; применяемых материалов; методик расчета и т.п.

Нормируемые и стандартизуемые параметры могут иметь разный характер, но при выборе их номинальных значений из рядов предпочтительных чисел значительно легче согласуются между собой изделия, являющиеся объектами одного технологического процесса, или предназначенные для работы в одной технологической цепочке.

Пример: установлено использование транспортных и грузоподъемных средств в расчете на массы грузов, построенных по ряду Л5 (грузоподъемность железнодорожных вагонов 25, 40, 63 и 100 т, вместимость контейнеров – 250, 400, 630, 1000 кг, масса ящиков – 25, 40, 63, 100 кг, масса коробок или банок – 250, 400, 630 и 1000 г).

При построении и выборе параметрических рядов на конкретный параметр используют два основных обоснования: техническое и экономическое. При использовании метода технического обоснования задача сводится к тому, чтобы построить ряд на параметр изделий, который может быть функционально зависим от другого параметра, параметрический ряд на который задан.

Контрольные вопросы

1. Что такое стандартизация? Опишите цель и основные результаты деятельности по стандартизации?
2. Что является предметом стандартизации?
3. Дайте определение понятия области стандартизации.
4. Какие бывают уровни стандартизации?
5. Что такое косвенное применение международного стандарта?
6. Кратко опишите ответственность за нарушение обязательных требований стандартов.

7. Каких тем касаются вопросы применения нормативных документов в России?
8. Опишите характер требований нормативных документов.
9. Перечислите виды нормативных документов.
10. Дайте определение Государственным стандартам.
11. Что является объектом Технических условий?
12. С какой целью разрабатываются основополагающие стандарты?
13. Что устанавливают Стандарты на продукцию (услуги)?
14. Какие требования устанавливают Стандарты на работы (процессы)?
15. Что такое Стандарты на методы контроля?

Глава 7. ПОДТВЕРЖДЕНИЕ СООТВЕТСТВИЯ

- 7.1. Цели, принципы и формы подтверждения соответствия.
- 7.2. Добровольное подтверждение соответствия и добровольная сертификация.
- 7.3. Схемы и системы сертификации.
- 7.4. Аккредитация органов по сертификации и испытательных лабораторий (центров).

До 1 июля 2003 г. ключевым нормативным документом Российской Федерации в области подтверждения соответствия являлся Закон «О сертификации продукции и услуг». Этот закон, действовавший в течение 10 лет, допускал только две формы подтверждения соответствия – либо обязательную, либо добровольную сертификацию. В этой деятельности участвовали две стороны: с одной – государство в лице предприятий, выпускающих продукцию и оказывающих услуги, вместе со своими контролирующими органами, с другой – потребители. С началом реализации в стране условий рыночной экономики, когда многочисленные виды продукции и услуги предоставляют предприятия и фирмы различных форм собственности, появилась необходимость в третьей стороне, не зависящей ни от производителя, ни от потребителя. В этих условиях наиболее эффективным способом гарантии качества продукции и услуг является система подтверждения соответствия.

Базовым элементом в системе контроля выполнения требований к продукции (**продукция** – результат деятельности, представленный в материально-вещественной форме и предназначенный для дальнейшего использования в хозяйственных и иных целях) и услугам, процессам их производства и реализации были *отделы технического контроля* (ОТК). Их задачей являлось предотвращение выпуска (поставки) предприятием продукции, не соответствующей требованиям стандартов и технических условий, утвержденным образцам, проектно-конструкторской и технологической документации, условиям поставки, договоров и т.д. Наряду с ОТК за результатами деятельности предприятий по качеству продукции в ряде министерств следили ведомственные комиссии и специальные органы вневедомственного контроля. Все это было возможно в условиях государственного управления экономикой.

В условиях современного рынка продавец, чтобы реализовать продукцию, обращает внимание на те ее товарные свойства, которые боль-

ше всего интересуют потребителя, а это далеко не всегда показатели безопасности. Поэтому основные издержки изготовителя при обеспечении качества продукции идут на достижение товарных характеристик, а затраты на поддержание безопасности продукции он готов минимизировать. Приобретатель тоже не очень заинтересован оплачивать расходы на охрану окружающей среды. Вместе с тем эффективность создания продукции либо услуг определяется двумя параметрами: «качеством» и «ценой».

Повышению качества продукции способствует конкуренция между производителями, которые, как правило, выходят на рынок для решения, прежде всего, своих задач, а не для удовлетворения потребностей приобретателя. Вместе с тем для успеха на рынке решающую роль играет качество и конкурентоспособность продукции.

Приобретатель не всегда может безошибочно выбрать качественный товар из-за недостатка полной и достоверной информации, а главное, из-за отсутствия необходимых знаний и технической возможности проверить декларируемые продавцом свойства продукции. Вполне удовлетворительная на вид продукция может оказаться некачественной, поскольку ее потребительские свойства зависят от многих факторов: качества исходного сырья, технологии изготовления и т.д. Приобретатель может рассчитывать лишь на свой опыт, субъективное суждение и гарантии продавца. К тому же постоянно расширяющийся рынок, новые технологии изготовления продукции могут опережать накапливаемый приобретателем опыт. Не имея возможности доподлинно выяснить все достоинства и недостатки товара, приобретатель вынужден доверять в основном только марке фирмы-изготовителя. Но и это не всегда гарантия правильного выбора, поскольку возможна фальсификация товаров под известную фирму, особенно там, где плохо работает механизм защиты авторских прав и товарных знаков. Ошибка приобретателя в оценке качества продукции может привести к сбою механизма естественного отбора товаров по цене и качеству, т.е. конкуренции.

Защитить приобретателя от недобросовестности производителя и продавца некачественной или фальсифицированной продукции призваны, прежде всего, подтверждение соответствия и сертификация. Это предусмотрено в новом законе «О техническом регулировании». Действительно, конкурентный рынок – это огромное количество продавцов и покупателей, и им трудно заключать товарные сделки при обилии предложений, особенно если покупатель не совсем компетентен. Они друг другу не доверяют. И вот наличие посредника, которому доверяют обе стороны, резко облегчает товарообмен.

Подтверждение соответствия продукции и услуг является одной из составляющих механизма оценки их безопасности и применяется на дорыночной стадии обращения продукции. Согласно Федеральному

закону «О техническом регулировании», *подтверждение соответствия* – документальное удостоверение соответствия продукции или иных объектов, процессов производства, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации, выполнения работ или оказания услуг требованиям технических регламентов, положениям стандартов или условиям договоров. Суть подтверждения соответствия состоит не столько в гармонизации терминологии в области сертификации, сколько в переходе на более гибкие формы оценки соответствия (*оценка соответствия* – прямое или косвенное определение соблюдения требований, предъявляемых к объекту), в переходе от сертификации как единственной формы оценки соответствия к разнообразным формам, включая подтверждение соответствия через декларирование соответствия.

Сертификация – форма осуществляемого органом по сертификации подтверждения соответствия объектов требованиям технических регламентов, положениям стандартов или условиям договоров (согласно же РМГ 29-99, сертификация – деятельность по подтверждению соответствия продукции (услуг и иных объектов) установленным требованиям). Термин «сертификация» произошел от слова «сертификат» (фр. *certificat*, лат. *certum* – верно и *facere* – делать), что означает «сделано верно». Как таковая сертификация появилась очень давно. Ремесленники в древних городах каким-либо способом помечали свои изделия, чтобы удостоверить свое авторство. Таким подтверждением являлось, например, клеймо мастера на изделии. Свидетельством качества товара часто выступало просто заявление мастера, если он имел высокую и безупречную репутацию.

Собственно термин «сертификация» в общепринятой международной терминологии определяют как установление соответствия. Впервые он был сформулирован и определен Комитетом по сертификации (СЕРТИКО) ИСО и включен в Руководство 2 ИСО (ИСО/МЭК2) версии 1982 г. «Общие термины и определения в области стандартизации, сертификации и аккредитации испытательных лабораторий». Согласно этому документу, сертификация определялась как действие, удостоверяющее посредством сертификата соответствия или знака соответствия, что изделие или услуга соответствует определенным стандартам, техническим условиям или другим нормативным документам. При этом под сертификатом соответствия (сертификатом) понимался выдаваемый в соответствии с правилами системы сертификации документ, удостоверяющий соответствие объекта требованиям технических регламентов, положениям стандартов или условиям договоров конкретному стандарту или другому нормативному документу.

Ниже наряду с вопросами рассмотрения систем подтверждения соответствия и сертификации приведен краткий комментарий (обычно мелким шрифтом) статей Закона «О техническом регулировании» в час-

ти требований к этим процессам. Эти требования установлены в гл. 4 «Подтверждение соответствия» в ст. 18–30 закона.

7.1. Цели, принципы и формы подтверждения соответствия

Статья 18. Цели подтверждения соответствия

Подтверждение соответствия осуществляется в целях:

- удостоверения соответствия продукции, процессов производства, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации, работ, услуг или иных объектов техническим регламентам, стандартам, условиям договоров;
- содействия приобретателям в компетентном выборе продукции, работ, услуг;
- повышения конкурентоспособности продукции, работ, услуг на российском и международном рынках;
- создания условий для обеспечения свободного перемещения товаров по территории Российской Федерации, а также для осуществления международного экономического, научно-технического сотрудничества и международной торговли.

Как следует из определения подтверждения соответствия, его главная цель – документальное удостоверение соответствия продукции, работ или услуг требованиям технических регламентов, положениям стандартов или условиям договоров. Подтверждение соответствия является одним из основных документов, способствующих фактически повышению конкурентоспособности продукции, работ, услуг на российском и международном рынках.

Итак, согласно ст. 18 закона намечен переход от сертификации как деятельности, осуществляемой третьей стороной, к более общему контролю безопасности – к подтверждению соответствия. В 2002 г. в России около 60...70% товарной продукции подлежало обязательной сертификации, в то время как в странах ЕС обязательному подтверждению соответствия подлежит лишь 10... 15 %. Сокращение номенклатуры намечается проводить за счет включения менее опасных объектов в перечень продукции (услуг), соответствие которых будет подтверждаться посредством принятия декларации о соответствии.

Статья 19. Принципы подтверждения соответствия

1. Подтверждение соответствия осуществляется на основе принципов:

- доступности информации о порядке осуществления подтверждения соответствия заинтересованным лицам;

- недопустимости применения обязательного подтверждения соответствия к объектам, в отношении которых не установлены требования технических регламентов;
- установления перечня форм и схем обязательного подтверждения соответствия в отношении определенных видов продукции в соответствующем техническом регламенте;
- уменьшения сроков осуществления обязательного подтверждения соответствия и затрат заявителя (*заявитель* – физическое или юридическое лицо, осуществляющее обязательное подтверждение соответствия);
- недопустимости принуждения к осуществлению добровольного подтверждения соответствия, в том числе в определенной системе добровольной сертификации;
- защиты имущественных интересов заявителей, соблюдения коммерческой тайны в отношении сведений, полученных при осуществлении подтверждения соответствия;
- недопустимости подмены обязательного подтверждения соответствия добровольной сертификацией.

2. Подтверждение соответствия разрабатывается и применяется равным образом и в равной мере независимо от страны и/или места происхождения продукции, осуществления процессов производства, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации, выполнения работ и оказания услуг, видов или особенностей сделок и/или лиц, которые являются изготовителями, исполнителями, продавцами, приобретателями.

1. Сформулированные в статье принципы направлены на достижение целей подтверждения соответствия. Законом устанавливается обязанность лиц, осуществляющих подтверждение соответствия, обеспечивать доступность информации о действующем порядке подтверждения соответствия для всех заинтересованных лиц, принимать меры по сокращению сроков осуществления обязательного подтверждения соответствия и затрат заявителя. Для тех видов продукции, на которые распространяется конкретный специальный технический регламент, формы и схемы обязательного подтверждения соответствия должны содержаться в этом техническом регламенте. Настоящим законом не допускается применение обязательного подтверждения соответствия к тем объектам, на которые не установлены требования технических регламентов, более того, недопустимо принуждение и к осуществлению добровольного подтверждения соответствия. Этот принцип закрепляет свободу действий производителя, который может в тех случаях, когда на производимую им продукцию распространяется действие национального стандарта, не подтверждать соответствие. Однако в условиях конкурентного рынка производитель тем самым может поставить себя в эко-

номически невыгодную ситуацию. В тех случаях, когда на объект установлены требования технических регламентов, они не могут подтверждаться добровольной сертификацией.

Лицу, осуществляющему подтверждение соответствия, могут быть известны конфиденциальные сведения, составляющие коммерческую тайну, например, планируемые объемы выпуска продукции и рынки сбыта, намечаемые усовершенствования продукции. Закон обязывает защищать имущественные интересы заявителя, соблюдать коммерческую тайну.

2. Подтверждение соответствия продукции и услуг техническим регламентам обязательно, поскольку продукция, подлежащая обязательному подтверждению соответствия, может выпускаться в обращение только после процедуры осуществления подтверждения соответствия. Подтверждение соответствия как обязательное, так и добровольное должно осуществляться по правилам, относящимся одинаково ко всем объектам подтверждения соответствия, независимо от того, где они изготовлены или осуществлены, кем и на основе каких документов.

Статья 20. Формы подтверждения соответствия

Форма подтверждения соответствия – определенный порядок документального удостоверения соответствия продукции или иных объектов, процессов производства, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации, выполнения работ или оказания услуг требованиям технических регламентов, положениям стандартов или условиям договоров.

1. Подтверждение соответствия на территории Российской Федерации может носить добровольный или обязательный характер.

2. Добровольное подтверждение соответствия осуществляется в форме добровольной сертификации.

3. Обязательное подтверждение соответствия осуществляется в формах: принятия декларации о соответствии (далее – *декларирование соответствия*); обязательной сертификации.

4. Порядок применения форм обязательного подтверждения соответствия устанавливается настоящим Федеральным законом.

1. Согласно ст. 20 подтверждение соответствия на территории Российской Федерации может носить добровольный или обязательный характер. Применяемые формы подтверждения соответствия приведены на рис. 7.1.

2. Добровольное подтверждение соответствия возможно только в форме добровольной сертификации.

3. Обязательное подтверждение соответствия продукции и услуг является одной из составляющих механизма оценки их безопасности (безопасность продукции, процессов производства, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации – состояние, при котором

отсутствует недопустимый риск, связанный с причинением вреда жизни или здоровью граждан, имуществу физических или юридических лиц, государственному или муниципальному имуществу, окружающей среде, жизни или здоровью животных и растений).

Для проведения подтверждения соответствия конкретной продукции (услуги) необходимо наличие требований, установленных в нормативном документе, и возможности представить необходимые для уверенности в ее безопасности доказательства.

4. Настоящий закон устанавливает порядок применения форм обязательного подтверждения соответствия. Обязательное подтверждение соответствия имеет две формы: принятие декларации о соответствии (далее – декларирование соответствия) и обязательная сертификация.



Рис. 7.1. Формы подтверждения соответствия

7.2. Добровольное подтверждение соответствия и добровольная сертификация

Добровольное подтверждение соответствия осуществляется по инициативе заявителя на условиях договора между заявителем и органом по сертификации. Добровольное подтверждение соответствия может осуществляться для установления соответствия национальным стандартам, стандартам организаций, системам добровольной сертификации, условиям договоров.

Объектами добровольного подтверждения соответствия являются продукция, процессы производства, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации, работы и услуги, а также иные объекты, в отношении которых стандартами, системами добровольной сертификации и договорами устанавливаются требования.

Орган по сертификации – юридическое лицо или индивидуальный предприниматель, аккредитованные в установленном порядке для выполнения работ по сертификации. Орган по сертификации:

- осуществляет подтверждение соответствия объектов добровольного подтверждения соответствия;

- выдает сертификаты соответствия на объекты, прошедшие добровольную сертификацию;
- предоставляет заявителям право на применение знака соответствия, если применение знака соответствия предусмотрено соответствующей системой добровольной сертификации;
- приостанавливает или прекращает действие выданных им сертификатов соответствия.

Добровольная сертификация – сертификация, проводимая на добровольной основе по инициативе изготовителя (исполнителя), продавца (поставщика) или потребителя. Создать систему добровольной сертификации по собственной инициативе может юридическое лицо и/или индивидуальный предприниматель или несколько юридических лиц и/или индивидуальных предпринимателей.

Система добровольной сертификации может быть создана юридическим лицом и/или индивидуальным предпринимателем или несколькими юридическими лицами и/или индивидуальными предпринимателями. Лицо или лица, создавшие систему добровольной сертификации, устанавливают перечень объектов, подлежащих сертификации, и их характеристик, на соответствие которым осуществляется добровольная сертификация, правила выполнения предусмотренных данной системой добровольной сертификации работ и порядок их оплаты, определяют участников данной системы добровольной сертификации. Системой добровольной сертификации может предусматриваться применение знака соответствия.

Система добровольной сертификации может быть зарегистрирована федеральным органом исполнительной власти по техническому регулированию. Для регистрации системы добровольной сертификации в федеральный орган исполнительной власти по техническому регулированию представляются:

- свидетельство о государственной регистрации юридического лица и/или индивидуального предпринимателя;
- правила функционирования системы добровольной сертификации, которыми предусмотрены положения закона;
- изображение знака соответствия, применяемое в данной системе добровольной сертификации, если применение знака соответствия предусмотрено, и порядок применения этого знака;
- документ об оплате регистрации системы добровольной сертификации.

Положением о добровольном подтверждении соответствия установлено, что регистрация системы добровольной сертификации осуществляется в течение пяти дней с момента представления документов, предусмотренных настоящим пунктом для регистрации системы добровольной сертификации, в федеральный орган исполнительной власти по

техническому регулированию. Порядок регистрации системы добровольной сертификации и размер оплаты за регистрацию устанавливаются Правительством Российской Федерации. Плата за регистрацию системы добровольной сертификации подлежит зачислению в федеральный бюджет. Отказ в регистрации системы добровольной сертификации допускается только в случае непредставления документов, или совпадения наименования системы и/или изображения знака соответствия с наименованием системы и/или изображением знака соответствия зарегистрированной ранее системы добровольной сертификации. Уведомление об отказе в регистрации системы добровольной сертификации направляется заявителю в течение трех дней со дня принятия решения об отказе в регистрации этой системы с указанием оснований для отказа. Отказ в регистрации системы добровольной сертификации может быть обжалован в судебном порядке.

Федеральный орган исполнительной власти по техническому регулированию ведет единый реестр зарегистрированных систем добровольной сертификации, содержащий сведения об юридических лицах и/или об индивидуальных предпринимателях, создавших системы добровольной сертификации, о правилах функционирования систем добровольной сертификации, которыми предусмотрены положения п. 2 настоящей статьи, знаках соответствия и порядке их применения. Федеральный орган исполнительной власти по техническому регулированию должен обеспечить доступность сведений, содержащихся в едином реестре зарегистрированных систем добровольной сертификации, заинтересованным лицам. Порядок ведения единого реестра зарегистрированных систем добровольной сертификации и порядок предоставления сведений реестра устанавливаются федеральным органом исполнительной власти по техническому регулированию.

В настоящем законе отмечается широкий спектр объектов добровольного подтверждения соответствия: продукция и связанные с продукцией процессы, работы и услуги, а также иные объекты, в отношении которых стандартами, системами добровольной сертификации и договорами устанавливаются требования. Закон сохранил принципиальные положения осуществления добровольной сертификации, предусмотренные Законом «О сертификации продукции и услуг», в частности, осуществление подтверждения соответствия по инициативе заявителя на условиях договора между заявителем и органом по сертификации. Добровольное подтверждение соответствия осуществляется органами по сертификации, которые проводят подтверждение соответствия, т.е. выдают заявителю документальное удостоверение соответствия в виде сертификатов соответствия и права на применение знака соответствия. Орган по сертификации может приостанавливать или прекращать действие выданных им сертификатов соответствия.

Закон определяет минимальный состав требований к лицам, создающим систему добровольной сертификации. Эти лица должны:

- установить перечень объектов, подлежащих сертификации, и их характеристик;
- установить правила выполнения работ по сертификации и порядков их оплаты;
- определить состав участников создаваемой системы.

Участниками системы добровольной сертификации могут быть: орган по сертификации; испытательные лаборатории (центры); организации, осуществляющие сертификацию систем качества; заявители.

Данным законом установлено положение о регистрации системы добровольной сертификации федеральным органом исполнительной власти по техническому регулированию. Добровольность регистрации означает, что юридическому лицу или индивидуальному предпринимателю для того, чтобы организовать систему добровольной сертификации, достаточно в соответствующих документах отразить вопросы по осуществлению добровольной сертификации.

Новый закон разрешает не регистрировать системы добровольной сертификации, теперь это делается заявителем по желанию. Фактически предусмотрен отказ в регистрации системы добровольной сертификации, который допускается только в случае непредставления документов, предусмотренных, или совпадения наименования системы и/или изображения знака соответствия с наименованием системы и/или изображением знака соответствия зарегистрированной ранее системы добровольной сертификации. Установлены сроки уведомления об отказе. Отказ в регистрации системы добровольной сертификации может быть обжалован в судебном порядке.

Ростехрегулирование должно обеспечить доступность сведений, содержащихся в едином реестре зарегистрированных систем добровольной сертификации, заинтересованным лицам. Все это создают благоприятные условия для участия в этой деятельности заинтересованных юридических лиц и индивидуальных предпринимателей.

Согласно Закону «О техническом регулировании», в обязательной сфере будет утвержден единый знак – *знак обращения на рынке* – обозначение, служащее для информирования приобретателей о соответствии выпускаемой в обращение продукции требованиям технических регламентов. Этот знак говорит о том, что на продукцию есть определенный регламент, на этот регламент установлена какая-то процедура подтверждения соответствия и продукция прошла эту процедуру.

Продукция, соответствие которой требованиям технических регламентов подтверждено в порядке, предусмотренном настоящим федеральным законом, маркируется знаком обращения на рынке. Изображение знака обращения на рынке устанавливает Правительство Российской

ской Федерации. Данный знак не является специальным защищенным знаком и наносится в информационных целях. Маркировка знаком обращения на рынке осуществляется заявителем самостоятельно любым удобным для него способом. Продукция, соответствие которой требованиям технических регламентов не подтверждено в порядке, установленном настоящим федеральным законом, не может быть маркирована знаком обращения на рынке.

Закон «О техническом регулировании» отмечает, что определенная продукция может маркироваться знаком обращения на рынке. Знак обращения на рынке можно наносить на продукцию, соответствие которой требованиям технических регламентов подтверждено декларацией о соответствии или сертификатом соответствия – в зависимости от того, какая форма подтверждения соответствия предусмотрена техническим регламентом. Основанием для получения знака является зарегистрированная *декларация о соответствии* или *сертификат соответствия*. Способ маркировки изделия знаком обращения на рынке настоящим законом не определяется – соответствующее решение заявитель может принимать самостоятельно. Закон запрещает маркировать продукцию знаком обращения на рынке, если ее соответствие не подтверждено декларацией о соответствии или сертификатом соответствия. Это требование отражено и в обязанностях заявителя.

Обязательное подтверждение соответствия проводится только в случаях, установленных соответствующим техническим регламентом, и исключительно на соответствие требованиям технического регламента. Объектом обязательного подтверждения соответствия может быть только продукция, выпускаемая в обращение на территории Российской Федерации. Форма и схемы обязательного подтверждения соответствия могут устанавливаться только техническим регламентом с учетом степени риска недостижения целей технических регламентов (**риск** – вероятность причинения вреда жизни или здоровью граждан, имуществу физических или юридических лиц, государственному или муниципальному имуществу, окружающей среде, жизни или здоровью животных и растений с учетом тяжести этого вреда). Декларация о соответствии и сертификат соответствия имеют равную юридическую силу независимо от схем обязательного подтверждения соответствия и действуют на всей территории страны. Работы по обязательному подтверждению соответствия подлежат оплате заявителем.

Правительством Российской Федерации устанавливается методика определения стоимости работ по обязательному подтверждению соответствия, которая предусматривает применение единых правил и принципов установления цен на продукцию одинаковых или сходных видов независимо от страны и/или места ее происхождения, а также лиц, которые являются заявителями.

Федеральным законом «О техническом регулировании» установлено, что обязательным в Российской Федерации является подтверждение соответствия только требованиям технических регламентов, т.е. требованиям в отношении безопасности. Требования по другим свойствам продукции, услуг и работ подлежат добровольному подтверждению соответствия, причем исключительно по инициативе заявителя. Данный закон регулирует отношения только внутри государства, поэтому требование об обязательном подтверждении распространяется на продукцию, применяемую только в стране.

Формы и схемы обязательного подтверждения соответствия требованиям технического регламента определены в законе: это принятие декларации о соответствии (декларирование соответствия) и обязательная сертификация. Схемы декларирования соответствия также представлены в законе. **Схема сертификации** – это совокупность действий, результаты которых рассматриваются в качестве доказательств соответствия продукции (работ, услуг) установленным требованиям. В широком смысле под схемой сертификации понимается сочетание различных контрольных и инспекционных действий; она принимается в каждом конкретном случае с учетом специфики продукции, организации ее производства, экономических и иных факторов. Выбор формы и схемы обязательного подтверждения соответствия осуществляется при разработке соответствующего технического регламента.

Независимо от того, какая схема обязательного подтверждения соответствия предусмотрена техническим регламентом, декларация соответствия или сертификат имеют равную юридическую силу и действуют на всей территории Российской Федерации.

Все работы по обязательному подтверждению соответствия подлежат оплате заявителем. Правительство Российской Федерации устанавливает методики определения стоимости работ по обязательному подтверждению соответствия, способствует упорядоченности этой деятельности, обеспечивает возможность планирования затрат заявителем, прогнозирования и планирования объемов работ органов по сертификации, испытательных лабораторий и центров.

В нашей стране декларирование соответствия проходит стадию становления, и однозначных ответов на многие вопросы по процедуре декларирования пока нет.

Декларирование соответствия – форма подтверждения соответствия продукции требованиям технических регламентов. Фактически Федеральным законом «О техническом регулировании» под декларированием соответствия понимается принятие декларации о соответствии самим заявителем, выполненное по определенным правилам. Декларирование соответствия осуществляется по одной из следующих схем:

- принятие декларации о соответствии на основании собственных доказательств;

- принятие декларации о соответствии на основании собственных доказательств, доказательств, полученных с участием органа по сертификации и/или аккредитованной испытательной лаборатории (центра) (далее – третья сторона).

При декларировании соответствия заявителем может быть зарегистрировано в соответствии с законодательством Российской Федерации на ее территории юридическое или физическое лицо в качестве индивидуального предпринимателя, либо являющееся изготовителем или продавцом, либо выполняющее функции иностранного изготовителя на основании договора с ним в части обеспечения соответствия поставляемой продукции требованиям технических регламентов и в части ответственности за несоответствие поставляемой продукции требованиям технических регламентов (лицо, выполняющее функции иностранного изготовителя). Круг заявителей устанавливается соответствующим техническим регламентом.

Схема декларирования соответствия с участием третьей стороны устанавливается в техническом регламенте в случае, если отсутствие третьей стороны приводит к недостижению целей подтверждения соответствия. При декларировании соответствия на основании собственных доказательств заявитель самостоятельно формирует доказательственные материалы в целях подтверждения соответствия продукции требованиям технических регламентов. В качестве доказательственных материалов используют техническую документацию, результаты собственных исследований (испытаний) и измерений и/или другие документы, послужившие мотивированным основанием для подтверждения соответствия продукции требованиям технических регламентов.

Состав доказательственных материалов определяют соответствующие технические регламенты.

При декларировании соответствия на основании собственных доказательств и доказательств, полученных с участием третьей стороны, заявитель по своему выбору в дополнение к собственным доказательствам, сформированным в порядке, предусмотренном п. 2 настоящей статьи:

- включает в доказательственные материалы протоколы исследований (испытаний) и измерений, проведенных в аккредитованной испытательной лаборатории (центре);
- предоставляет *сертификат системы качества*, в отношении которого предусматривается контроль (надзор) органа по сертификации, выдавшего сертификат, за объектом сертификации.

Сертификат системы качества можно использовать в составе доказательств при принятии декларации о соответствии любой продукции, за исключением случая, если для продукции техническими регламентами предусмотрена иная форма подтверждения соответствия.

Декларация о соответствии – документ, удостоверяющий соответствие выпускаемой в обращение продукции требованиям технических регламентов. Декларация о соответствии оформляется на русском языке и должна содержать:

- наименование и местонахождение заявителя;
- наименование и местонахождение изготовителя;
- информацию об объекте подтверждения соответствия, позволяющую идентифицировать этот объект;
- наименование технического регламента, на соответствие требованиям которого подтверждается продукция;
- указание на схему декларирования соответствия;
- заявление заявителя о безопасности продукции при ее использовании в соответствии с целевым назначением и принятии заявителем мер по обеспечению соответствия продукции требованиям технических регламентов;
- сведения о проведенных исследованиях (испытаниях) и измерениях, сертификате системы качества, а также документах, послуживших основанием для подтверждения соответствия продукции требованиям технических регламентов;
- срок действия декларации о соответствии;
- иные предусмотренные соответствующими техническими регламентами сведения.

Срок действия декларации о соответствии определяется техническим регламентом. Форма декларации о соответствии утверждается федеральным органом исполнительной власти по техническому регулированию. Оформленная по установленным правилам декларация о соответствии подлежит регистрации федеральным органом исполнительной власти по техническому регулированию в течение трех дней. Для регистрации декларации о соответствии заявитель представляет в федеральный орган исполнительной власти по техническому регулированию оформленную декларацию о соответствии. Порядок ведения реестра деклараций о соответствии, порядок предоставления содержащихся в указанном реестре сведений и порядок оплаты за предоставление содержащихся в указанном реестре сведений определяются Правительством Российской Федерации.

Декларация о соответствии и составляющие доказательственные материалы документы хранятся у заявителя в течение трех лет с момента окончания срока действия декларации. Второй экземпляр декларации о соответствии хранится в федеральном органе исполнительной власти по техническому регулированию.

Закон устанавливает две схемы декларирования соответствия. При этом лица, которые могут быть заявителями декларирования соответствия, также определяются техническим регламентом.

В первой схеме декларирования соответствия, когда декларация о соответствии принимается на основании собственных доказательств и заявитель сам формирует доказательственные материалы о соответствии. Состав этих материалов, в который могут входить техническая документация, результаты испытаний и иные документы, определяется техническим регламентом.

Во второй схеме принятия декларации о соответствии доказательственные материалы, сформированные заявителем, должны быть дополнены доказательствами, полученными с участием третьей стороны – органа по сертификации, испытательной лаборатории (центра) или одной из этих организаций. Этими доказательствами являются протоколы испытаний, проведенных в аккредитованной испытательной лаборатории (центре), и сертификат системы качества. Как и в первой схеме, состав доказательственных материалов определяется техническим регламентом. Данная схема является промежуточной между первой схемой декларирования соответствия и обязательной сертификацией. Она может применяться тогда, когда допускается, что соответствие части параметров, характеризующих безопасность, может подтверждаться собственными доказательствами заявителя, а остальные должны контролироваться аккредитованной испытательной лабораторией (центром). Стабильность соблюдения требований гарантируется сертификацией системы качества и контролем системы качества со стороны органа по сертификации, выдавшего сертификат соответствия на эту систему.

Для организационно-практической деятельности по сертификации систем качества Ростехрегулирование ввело блок из четырех национальных стандартов, ставших нормативно-методической основой регистра систем качества: ГОСТ Р 40.002-96 «Система сертификации. Регистр систем качества. Основные положения»; ГОСТ Р 40.003-96 «Система сертификации. Регистр систем качества»; ГОСТ 40.004-96 «Система сертификации. Регистр систем качества. Порядок проведения сертификации производств» и ГОСТ 40.005-96 «Система сертификации. Регистр систем качества. Инспекционный контроль за сертифицированными системами качества и производствами».

Сертификат системы качества может использоваться в составе доказательств при принятии декларации о соответствии любой продукции, за исключением случая, если для такой продукции техническими регламентами предусмотрена иная форма подтверждения соответствия. При выдаче сертификата системы качества должен быть предусмотрен контроль со стороны органа по сертификации за объектом сертификации.

Закон определяет обязательный состав сведений, включаемых в декларацию. Это сведения о заявителе и изготовителе, объекте подтверждения соответствия и примененных доказательных материалах, сроке действия декларации и иные сведения, установленные в техниче-

ском регламенте. Существо декларации заключено в заявлении заявителя о безопасности продукции при ее использовании в соответствии с целевым назначением и о том, что приняты все необходимые меры по обеспечению соответствия продукции требованиям технических регламентов.

Обязательная сертификация предназначена, прежде всего, для оценки продукции и услуг на безопасность. Государство отвечает за безопасность своих граждан, несет ответственность за военную, техногенную, бытовую и прочие опасности для граждан в любом правовом государстве. Обязательная сертификация продукции на соответствие требованиям технических регламентов осуществляется аналогично применявшейся до 1 июля 2003 г. обязательной сертификации продукции на соответствие обязательным требованиям государственных стандартов, но сократилась номенклатура продукции и услуг (работ), в отношении которых в Российской Федерации предусмотрена обязательная сертификация. Это связано с тем, что обязательное подтверждение соответствия части продукции теперь осуществляется в форме декларирования соответствия.

Обязательная сертификация осуществляется органом по сертификации на основании договора с заявителем. Схемы сертификации, применяемые для сертификации определенных видов продукции, устанавливаются техническим регламентом. Соответствие продукции требованиям технических регламентов подтверждается сертификатом соответствия, выдаваемым заявителю органом по сертификации.

Сертификат соответствия – документ, удостоверяющий соответствие объекта требованиям технических регламентов, положениям стандартов или условиям договоров. Сертификат соответствия содержит:

- наименование и местонахождение заявителя;
- наименование и местонахождение изготовителя продукции, прошедшей сертификацию;
- наименование и местонахождение органа по сертификации, выдавшего сертификат соответствия;
- информацию об объекте сертификации, позволяющую идентифицировать этот объект;
- наименование технического регламента, на соответствие требованиям которого проводилась сертификация;
- информацию о проведенных исследованиях (испытаниях) и измерениях;
- информацию о документах, представленных заявителем в орган по сертификации в качестве доказательств соответствия продукции требованиям технических регламентов;
- срок действия сертификата соответствия.

Срок действия сертификата соответствия определяется соответствующим техническим регламентом.

Форма сертификата соответствия утверждается федеральным органом исполнительной власти по техническому регулированию.

Необходимость подтверждения соответствия путем проведения обязательной сертификации устанавливает соответствующий технический регламент, содержащий схемы сертификации, применяемые для объектов, на которые распространяется данный технический регламент.

Обязательную сертификацию могут проводить только государственные органы управления или аккредитуемые ими организации; она проводится по требованиям, установленным федеральными законами – техническими регламентами.

7.3. Схемы и системы сертификации

Схемы, содержащиеся в техническом регламенте, могут различаться как по доказательности, так и по объему необходимых контрольных и инспекционных действий и стоимости. Заявитель имеет право выбрать схему сертификации. Поскольку он заинтересован в том, чтобы быть уверенным в соответствии продукции требованиям технических регламентов, то не обязательно основным критерием выбора должна быть цена.

Сертификат соответствия продукции требованиям технических регламентов выдается заявителю органом по сертификации после проведения контрольных действий, предусмотренных схемами сертификации, при условии получения положительных результатов, на основании которых установлено соответствие продукции требованиям технических регламентов. Сертификат содержит сведения о заявителе, изготовителе, органе по сертификации, выдавшем сертификат, объекте сертификации, проведенных испытаниях и представленных доказательствах соответствия, установленных техническим регламентом. Набор подобных сведений достаточен для установления факта сертификации объекта при осуществлении контроля органом по сертификации и при государственном контроле.

В Российской Федерации деятельность по сертификации осуществляется в системах сертификации. Что же такое «система сертификации», кто ее обладатель («хозяин») и какие правила она устанавливает?

Система сертификации – совокупность участников сертификации, осуществляющих сертификацию по правилам, установленным в этой системе. На 1 июля 2003 г. было зарегистрировано 19 систем обязательной (и около 70 – добровольной) сертификации, реализующих 22 закона и законодательных акта, говорящих о введении какой-либо обязательной сертификации на определенные требования. Обладатели этих сис-

тем – многочисленные федеральные органы исполнительной власти. Системы работают по разным правилам, у них разные процедуры, что несет для заявителей существенные неудобства. Основной их обладатель Ростехрегулирование, которое ведет Российскую систему сертификации ГОСТ Р.

Очевидно, обладатель будет один: возможно это национальный орган по аккредитации (в составе Ростехрегулирования). По каким правилам система должна работать? Выбор схемы сертификации (теперь это делает разработчик регламента, а потом – заявитель), выбор требований отражают в регламенте. Орган по сертификации должен только жестко следить по регламенту за полнотой проверок. Поэтому со временем, очевидно, в Российской Федерации не будет различных систем сертификации, а будет какая-то единая система подтверждения соответствия требованиям технических регламентов, а существующие системы обязательной сертификации также не будут существовать в прежнем виде.

Знак соответствия – обозначение, служащее для информирования приобретателей о соответствии объекта сертификации требованиям системы добровольной сертификации или национальному стандарту.

Объекты сертификации, сертифицированные в системе добровольной сертификации, могут маркироваться знаком соответствия системы добровольной сертификации. Порядок применения такого знака соответствия устанавливается правилами соответствующей системы добровольной сертификации. Применение знака соответствия национальному стандарту осуществляется заявителем на добровольной основе любым удобным для него способом в порядке, установленном национальным органом по стандартизации.

Объекты, соответствие которых не подтверждено в порядке, установленном Федеральным законом «О техническом регулировании», не могут быть маркированы знаком соответствия.

Знаки соответствия применяют только для маркировки объектов технического регулирования, прошедших добровольную сертификацию на соответствие требованиям системы добровольной сертификации или национальному стандарту. Порядок применения знака соответствия устанавливается соответственно в правилах системы добровольной сертификации или в документах национального органа по стандартизации. Оба указанных порядка являются обязательными для заявителей как условия договора о добровольной сертификации.

Разрешено маркировать знаком соответствия системы добровольной сертификации объекты, сертифицированные в системе добровольной сертификации. Соответствие объектов стандартам организаций, условиям договора, требованиям системы сертификации подтверждается выдачей сертификата соответствия и предоставлением права маркировки знаком соответствия системы добровольной сертификации.

Знаки соответствия системы сертификации несут в себе всю полезную информацию, которая:

- убеждает потребителя в надлежащем качестве товара, в его безопасности;
- может использоваться изготовителем в рекламных целях;
- помогает органам государственного надзора принять решение о возможности реализации продукции; для страховых компаний является одной из гарантий безопасности товара.

Применение знака соответствия национальному стандарту осуществляется заявителем на добровольной основе любым удобным для заявителя способом. Соответствие объектов национальным стандартам подтверждается выдачей сертификата соответствия и предоставлением права маркировки знаком соответствия национальному стандарту.

Система сертификации имеет право на свой знак соответствия. Системы обязательной сертификации однородной продукции, входящие в структуру ГОСТ Р, имеют право применять указанный знак, но им не запрещено вводить и собственные знаки. В настоящее время зарегистрированы собственные знаки соответствия некоторых российских систем обязательной сертификации. Федеральным законом запрещено применение знака соответствия к объектам, соответствие которых не подтверждено документально. Применение знаков соответствия облегчает приобретателям выбор продукции, услуг, работ, в максимальной степени соответствующих их потребностям и желаниям, тем самым способствует реализации принципа максимального учета законных прав заинтересованных лиц.

7.4. Аккредитация органов по сертификации и испытательных лабораторий (центров)

Эффективную сертификацию соответствия можно создать только при высокой компетенции участников сертификации в проведении испытаний и проверок, их взаимном доверии друг к другу. Заявитель должен доверять органу по сертификации и испытательной лаборатории, которые дают заключение на его продукцию, орган по сертификации – испытательной лаборатории (центру), и наоборот. Согласно закону «О техническом регулировании», необходимым условием надежной деятельности органов по сертификации и испытательных лабораторий (центров) является их *аккредитация*. Главной целью аккредитации является установление и подтверждение способности соответствующего органа осуществлять определенные работы с учетом наличия необходимого оборудования, квалифицированных кадров, других материальных и юридических условий.

Закон «О техническом регулировании» отмечает, что аккредитация – официальное признание органом по аккредитации компетентности физического или юридического лица выполнять работы в определенной области оценки соответствия. Определение аккредитации применительно к процессу сертификации, согласно Руководству ИСО/МЭК 2, гласит, что аккредитация – официальное признание того, что испытательная лаборатория (центр) правомочна осуществлять конкретные испытания или конкретные типы испытаний.

Система аккредитации органов по сертификации и испытательных лабораторий (центров) представлена в ст. 31 Федерального закона «О техническом регулировании».

1. Аккредитация органов по сертификации и испытательных лабораторий (центров) осуществляется в целях:

- подтверждения компетентности органов по сертификации и испытательных лабораторий (центров), выполняющих работы по подтверждению соответствия;
- обеспечения доверия изготовителей, продавцов и приобретателей к деятельности органов по сертификации и аккредитованных испытательных лабораторий (центров);
- создания условий для признания результатов деятельности органов по сертификации и аккредитованных испытательных лабораторий (центров).

2. Аккредитация органов по сертификации и испытательных лабораторий (центров), выполняющих работы по подтверждению соответствия, осуществляется на основе принципов:

- добровольности;
- открытости и доступности правил аккредитации;
- компетентности и независимости органов, осуществляющих аккредитацию;
- недопустимости ограничения конкуренции и создания препятствий пользованию услугами органов по сертификации и аккредитованных испытательных лабораторий (центров);
- обеспечения равных условий лицам, претендующим на получение аккредитации;
- недопустимости совмещения полномочий на аккредитацию и подтверждение соответствия;
- недопустимости установления пределов действия документов об аккредитации на отдельных территориях.

3. Аккредитация органов по сертификации и испытательных лабораторий (центров), выполняющих работы по подтверждению соответствия, осуществляется в порядке, установленном Правительством Российской Федерации.

Цели аккредитации предполагают решение следующих задач в области аккредитации:

- установление единых требований к испытательным лабораториям и органам по сертификации;
- установление общих правил аккредитации и требований к органам по аккредитации;
- создание национальных систем аккредитации, соответствующих международным нормам;
- сотрудничество национальных структур по аккредитации на международном уровне и внутри страны.

Аккредитация как признание, что физическое лицо или организация обладает достаточной компетенцией для выполнения конкретных работ в области оценки соответствия, – принципиальный фактор функционирования системы оценки соответствия. Он важен как для государственных органов, которые заинтересованы в высоком уровне доверия к сертификатам и иным документам, применяемым в этой области, так и для самих органов по сертификации, испытательных лабораторий (центров), которым необходимо демонстрировать свою честность, техническую оснащенность и компетентность.

Представленные в законе принципы, на основе которых осуществляется аккредитация органов по сертификации и испытательных лабораторий (центров), обуславливают предъявление к аккредитуемому органу ряда требований. Среди таких требований: иметь определенный юридический статус, финансовую стабильность, права и ответственность, обеспечивающие защиту всех сторон, участвующих в деятельности по сертификации; располагать помещениями и средствами труда, необходимыми для его деятельности; иметь соответствующую организационную структуру, включающую систему обеспечения качества; располагать штатным персоналом, соответствующим направлению и объему работ по аккредитации. Система обеспечения качества аккредитуемого органа должна соответствовать области распространения системы аккредитации. Она регламентируется Руководством по качеству, которое постоянно актуализируется ответственным сотрудником, подчиняющимся руководству аккредитуемого органа. Аккредитуемый орган определяет порядок проведения аккредитации и регистрационных записей, процедуру рассмотрения жалоб.

Порядок аккредитации органов по сертификации и испытательных лабораторий (центров), выполняющих работы по подтверждению соответствия, устанавливается Правительством Российской Федерации. Создаваемая на основе закона система аккредитации в стране будет интегрирована в целях облегчения внешней торговли в европейскую и мировую системы. В связи с этим комплект документов, регламентирующих систему аккредитации, должен быть гармонизирован с евро-

пейскими стандартами серии EN 45000. Серия европейских стандартов EN 45000 имеет большое значение для ведения работ по сертификации. Европейские стандарты этой серии определяют деятельность испытательных лабораторий, органов по сертификации продукции, систем качества, аттестации персонала и изготовителя, заявляющего о соответствии продукции требованиям стандартов.

Европейский стандарт EN 45001 «Общие требования к деятельности испытательных лабораторий» базируется на международных руководствах ИСО/МЭК. В стандарте предусматриваются такие требования:

- обязательное определение юридического статуса испытательных лабораторий;
- организации должны быть беспристрастными, независимыми и неприкосновенными;
- испытательные лаборатории должны быть компетентными для проведения соответствующих испытаний;
- в рамках организационной структуры они должны иметь технического руководителя, несущего ответственность за выполнение всех задач;
- наличие документированного положения, содержащего направления деятельности лаборатории;
- наличие специалистов, имеющих соответствующее образование, технические знания и опыт.

Лаборатории должны располагать документацией, касающейся опыта, уровня подготовки и степени квалификации персонала. Лаборатория должна быть оснащена оборудованием для проведения испытаний, применять методы и процедуры, установленные в документах, в соответствии с которыми испытывают изделия; должна иметь систему регистрации результатов испытаний, расчетов, протоколов и систему, устанавливающую правила обращения с образцами, конфиденциальности и безопасности; должна сотрудничать с заказчиками и органами по аккредитации, предоставлять возможность их доступа при проведении испытаний и проверок. Аккредитация регламентируется нормами на процесс ее выполнения и требованиями к органу по аккредитации. Процесс аккредитации органов по сертификации установлен в стандарте EN 45002 «Общие требования при оценке испытательных лабораторий». Деятельность органов по аккредитации регламентирует стандарт EN 45003 «Общие требования к органам по аккредитации лабораторий».

Стандарт EN 45011 «Общие требования к органам по сертификации, проводящим сертификацию продукции» основан на международных документах по сертификации продукции. Стандарт устанавливает основные положения, которым должен соответствовать орган по сертификации, чтобы быть признанным на национальном или европейском уровне.

Орган по сертификации должен быть беспристрастным и иметь:

- организационную схему, определяющую взаимодействие между испытательными, контрольными и сертификационными функциями;
- сведения об источниках финансирования;
- документированное описание учрежденных им систем сертификации, включающих основные правила и процедуры;
- документацию, определяющую его юридический статус.

Орган по сертификации должен иметь сведения о подготовке и профессиональном опыте персонала, систему регистрации и протоколирования каждой процедуры сертификации, включая отчеты об испытаниях и инспекционном контроле. Деятельность по испытаниям, которую осуществляет орган по сертификации, должна удовлетворять требованиям стандартов EN 45001 и EN 45002.

Орган по сертификации действует на основе руководства по качеству и обязан контролировать использование выданных им лицензий, сертификатов и знаков соответствия.

Обязательным условием функционирования органов по сертификации и испытательных лабораторий является соответствие нормам, регламентирующим их деятельность. Требования к органам по сертификации заложены в стандарте EN 45012 «Общие требования к органам по сертификации, проводящим сертификацию систем обеспечения качества». Стандарт EN 45013 «Общие требования к органам по сертификации, проводящим аттестацию персонала» устанавливает общие требования, которые орган по аттестации должен соблюдать при аттестации персонала.

Орган по аттестации должен иметь: организационную схему, которая устанавливает связь между функциями по оценке и аттестации; сведения об источниках финансирования; документацию внутренней системы качества; документацию, определяющую его юридический статус.

Орган по аттестации должен располагать письменной информацией о квалификации, подготовке и профессиональном опыте каждого сотрудника. Орган по аттестации должен иметь систему документации, регистрации каждой процедуры аттестации и контроля за аттестованным персоналом и руководство по качеству. Он должен вести перечень аттестованных сотрудников, который должен быть доступен общественности с указанием области аттестации для каждого сотрудника, а также осуществлять контроль за использованием своих сертификатов компетентности.

Европейский стандарт EN 45014 «Общие требования к декларации поставщика о соответствии» устанавливает определенные требования к декларациям поставщиков. Согласно этому стандарту поставщик может заявлять под свою ответственность о том, что его продукция находится в соответствии с конкретно обозначенным стандартом. Поставщик дол-

жен контролировать все виды своей деятельности, влияющие на качество продукции, чтобы обеспечить безусловное выполнение всех требований нормативных документов, на которые он ссылается в декларации. Декларирование производителя о соответствии товара требованиям установленных норм приобретает все большее значение.

Контрольные вопросы

1. В каких целях осуществляется подтверждение соответствия?
2. В каких формах осуществляется подтверждение соответствия?
3. В какой форме осуществляется добровольное подтверждение соответствия?
4. В каких случаях и в каких формах проводится обязательное подтверждение соответствия?
5. В чем отличие знака соответствия от знака обращения на рынке?
6. В чем отличие декларирования соответствия от обязательной сертификации?
7. В чем отличие системы сертификации от схемы сертификации?
8. Приведите структуру системы сертификации?
9. Какими критериями пользуются при выборе схемы сертификации?
10. Какие способы доказательств используются для подтверждения соответствия?
11. Перечислите основные этапы процесса сертификации.
12. Какие международные организации занимаются вопросами сертификации?
13. Приведите примеры региональных и национальных организаций по сертификации.

СЛОВАРЬ ТЕРМИНОВ

Абсолютные измерения – прямые измерения одной или нескольких величин с использованием значений физических констант.

Абсолютная погрешность – отклонение результата измерения от истинного (или действительного) значения, выражаемое в единицах измеряемой величины.

Адаптация – приспособление системы к фактическим условиям.

Аккредитация – официальное признание органом по аккредитации компетентности физического или юридического лица выполнять работы в определенной области оценки соответствия.

Аккредитуемый орган – орган, который управляет системой аккредитации и проводит аккредитацию организаций, являющихся объектами аккредитации.

Алгоритм измерения – точное предписание о порядке выполнения операций, обеспечивающих измерение физической величины.

Аналоговый измерительный прибор – средство измерений, показания которого являются непрерывной функцией изменения измеряемой величины.

Аттестация методики выполнения измерений – установление и подтверждение ее соответствия предъявляемым к ней метрологическим требованиям.

Аудит – проверка соблюдения (выполнения) правовых норм.

Величина – свойство чего-либо, которое может быть выделено среди других свойств и оценено тем или иным способом, в том числе и количественно.

Виртуальный прибор – прибор, состоящий из персонального компьютера с программным обеспечением и встроенной в него аналого-цифровой платой сбора данных.

Внешние погрешности – погрешности, связанные с отклонением одной или нескольких влияющих величин от нормальных значений или выходом их за пределы нормальной области.

Воспроизводимость – возможность воспроизведения единицы физической величины с наименьшей погрешностью для существующего уровня развития измерительной техники.

Государственный реестр систем сертификации – официальный перечень зарегистрированных систем сертификации.

Градуировочная характеристика – зависимость, определяющая соотношение между сигналами на выходе и входе средства измерений в статическом режиме.

Грубые погрешности (промахи) – погрешности, существенно превышающие ожидаемые при данных условиях измерения.

Декларирование соответствия – форма подтверждения соответствий продукции требованиям технических регламентов.

Декларация о соответствии – документ, удостоверяющий соответствие выпускаемой в обращение продукции требованиям технических регламентов.

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

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

Дисперсия – рассеяние значения погрешности относительно цен распределения.

Дифференциальный метод измерений – метод, когда измеряется разница между измеряемой величиной и близкой ей по значению и известной эталонной.

Достоверность – характеристика качества измерений, отражающая доверие к их результатам.

Единица измерения физической величины – физическая величина фиксированного размера, которой присвоено числовое значение, равное единице, и применяемая для количественного выражения однородных с ней физических величин.

Заявитель – физическое или юридическое лицо, осуществляющее обязательное подтверждение соответствия.

Знак обращения на рынке – обозначение, служащее для информирования приобретателей о соответствии выпускаемой в обращение продукции требованиям технических регламентов.

Знак соответствия – обозначение, служащее для информирования приобретателей о соответствии объекта сертификации требованиям системы добровольной сертификации или национальному стандарту.

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

Идентификация – процедура, посредством которой устанавливается соответствие продукции требованиям, которые предъявляются к ней в нормативных или информационных документах.

Измерение – совокупность действий, выполняемых с помощью средств измерений для нахождения числового значения измеряемой величины в принятых единицах измерения.

Измерительный преобразователь – средство измерений, вырабатывающее сигнал измерительной информации в форме, удобной для передачи, преобразования, обработки и хранения, но не поддающейся непосредственному восприятию исследователя.

Измерительный прибор – средство измерений, предназначенное для выработки определенного вида сигнала измерительной информации в форме, доступной для непосредственного восприятия оператором.

Измерительная техника – совокупность технических средств и методик проведения измерения.

Технические измерения – измерения, в которых погрешность результата определяют характеристиками средств измерений, регламентированными условиями измерений, и оценивают до проведения измерений.

Инструментальные (аппаратурные) погрешности – погрешности, которые появляются вследствие несовершенства применяемых средств измерения.

Информация – сведения, знания, сообщения, которые содержат элементы новизны для их получателя и используются в процессе принятия решения.

Информационно-измерительная система – совокупность функционально объединенных средств измерений, средств вычислительной техники и вспомогательных устройств, соединенных между собой кана-

лами связи, предназначенных для выработки сигналов измерительной информации о физических величинах, свойственных данному объекту, в форме, удобной для автоматической обработки, передачи и (или) использования ее в автоматических системах управления.

Истинное значение физической величины – значение физической величины, которое идеальным образом отражало бы в качественном и количественном отношениях соответствующее свойство объекта.

Калибровка средства измерений – совокупность операций, выполняемых с целью определения и подтверждения действительных значений метрологических характеристик и/или пригодности к применению средства измерения, не подлежащего государственному метрологическому контролю и надзору.

Качество – совокупность свойств продукции, обуславливающих ее пригодность удовлетворять определенным потребностям в соответствии с ее назначением.

Квалификационные испытания – метод оценки работы лаборатории путем проведения параллельных таких же испытаний в другой аналогичной лаборатории.

Классификатор – систематизированный свод наименований классификационных классов, подклассов, видов и их кодовых обозначений.

Класс точности – обобщенная характеристика средств измерений, определяемая пределами допускаемых основных и дополнительных погрешностей, а также другими свойствами средств измерений, влияющими на точность, значения которых устанавливают в соответствующих стандартах.

Компенсационный метод – метод, при котором действие измеряемой величины компенсируется (уравновешивается) образцовой.

Консенсус – согласие, характеризующееся отсутствием возражений по существенным вопросам в процессе принятия нормативного документа у большинства заинтересованных сторон.

Контролирующий орган (для сертификации) – орган, осуществляющие по поручению органа по сертификации инспектирующую деятельность.

Контроль технический – проверка соответствия продукции или процесса, от которого зависит качество продукции, установленным техническим условиям.

Контроль (надзор) за соблюдением требований технических регламентов – проверка выполнения юридическим лицом или индивидуальным предпринимателем требований технических регламентов к продукции, процессам производства, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации и принятие мер по результатам проверки.

Концепция – система взглядов в явлениях стандартизации.

Комплекс – совокупность объектов стандартизации, составляющих одно целое.

Косвенное измерение – измерение, при котором искомое значение величины находят на основании известной зависимости между этой величиной и величинами, подвергаемыми прямым измерениям.

Критерий – основа оценки эффективности стандартизации, позволяющая избежать субъективных подходов.

Математическое моделирование – конкретное отражение процессов управления или стандартизации от момента абстрагирования до внедрения полученных знаний в практику.

Математическая статистика – раздел математики, посвященный математическим методам систематизации, обработки и использования статистических данных для научных и практических выводов.

Международный стандарт – стандарт, принятый международной организацией.

Мера – средство измерений, воспроизводящее физическую величину заданного размера (значения).

Международный эталон – эталон, принятый по международному соглашению в качестве международной основы для согласования с ним размеров единиц величины, воспроизводимых и хранимых национальными эталонами.

Метод – логическая основа способа действия, основывающаяся на осознанном применении определенных правил в достижении цели стандартизации измерений, испытаний.

Метод замещения – метод, при котором действие измеряемой величины замещается образцовой.

Метод измерения – прием или совокупность приемов сравнения измеряемой физической величины с ее единицей в соответствии с реализованным принципом измерений.

Методика выполнения измерений – документированная совокупность операций и правил, выполнение которых обеспечивает получение результатов измерений с гарантированной точностью в соответствии с принятым методом.

Метод испытаний – установленные технические правила проведения испытаний.

Метод непосредственной оценки – метод, при котором численное значение измеряемой физической величины определяют непосредственно по показанию измерительного прибора.

Метод сравнения – метод измерений, при котором измеряемую величину сравнивают с величиной, воспроизводимой мерой.

Метрология – наука об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства и способах достижения требуемой точности.

Метрологическая служба – совокупность субъектов деятельности и видов работ, направленных на обеспечение единства измерений.

Метрологическая аттестация – признание средства измерений (испытаний) узаконенным для применения на основании тщательных исследований метрологических свойств этого средства.

Метрологическая экспертиза – анализ и оценивание экспертами-метрологами правильности применения требований, правил и норм, в первую очередь связанных с единством и точностью измерений.

Метрологический контроль – сравнение фактических (текущих) значений метрологических характеристик контролируемого объекта с их заданными значениями.

Метрологический надзор – наблюдение за исполнением субъектом обязательных метрологических требований (предписаний).

Метрологическое обеспечение – установление и применение научных и организационных основ, технических средств, правил и норм, необходимых для достижения единства и требуемой точности измерений.

Мостовой метод – метод, когда достигают нулевого значения тока в измерительной диагонали моста, в которую включается чувствительный индикаторный прибор.

Наблюдение – экспериментальная операция, выполняемая в процессе измерений, в результате которой получают одно значение из группы значений величины, подлежащих совместной обработке для получения результата измерения

Национальный (государственный) эталон – эталон, признанный официальным решением в качестве исходного для государства.

Надежность – вероятность того, что изделие будет выполнять свои функции в соответствии с заданными требованиями в намеченный период времени при определенных условиях. Надежность – один из аспектов качества и представляет качество во времени. Она является сложным свойством, состоящим из сочетания свойств – безотказности, долговечности, ремонтпригодности.

Национальный стандарт – стандарт, утвержденный национальным органом Российской Федерации по стандартизации.

Нормативный документ – документ, в котором изложены установленные в процессе стандартизации правила, принципы, характеристики, касающиеся различных видов деятельности или их результатов, доступные широкому кругу заинтересованных в нем пользователей.

Нулевой метод измерений – метод, при котором действие измеряемой величины полностью уравнивается образцовой.

Обеспечение единства измерений – деятельность метрологических служб, направленная на достижение и поддержание единства измерений в соответствии с законодательными актами, а также правилами и нормами, установленными национальными стандартами и другими нормативными документами по обеспечению единства измерений.

Обеспечение качества – совокупность планируемых и систематически осуществляемых процессов, процедур, операций и отдельных мероприятий, необходимых для подтверждения того, что продукция удовлетворяет определенным требованиям к качеству.

Объект измерения – реальный физический объект, свойства которого характеризуются одной или несколькими измеряемыми физическими величинами.

Орган по аккредитации (лабораторий) – орган, который управляет системой аккредитации лабораторий и проводит аккредитацию.

Орган по сертификации – юридическое лицо или предприниматель, аккредитованные в установленном порядке для выполнения работ по сертификации.

Относительные измерения – измерения соотношения величины к одноименной величине, играющей роль единицы, или изменения величины по отношению к одноименной величине, принимаемой за исходную.

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

Охрана окружающей среды – защита среды обитания от неблагоприятного воздействия продукции, процессов и услуг.

Оценивание – операция по приписыванию числа измеряемой величине.

Оценка соответствия – прямое или косвенное определение соблюдения требований, предъявляемых к объекту.

Поверка – определение специальным органом метрологической службы метрологических характеристик средства измерения и установление его пригодности к применению по результатам контроля их соответствия предъявляемым требованиям.

Поверочная схема – утвержденный в установленном порядке документ, устанавливающий средства, методы и точность передачи размеров единиц от государственного эталона рабочим средствам измерений.

Погрешность результата измерений – отклонение результата измерений от истинного (действительного) значения измеряемой величины.

Погрешность средства измерения – разность между показаниями средства измерения и истинным значением измеряемой величины.

Подтверждение соответствия – документальное удостоверение соответствия продукции или иных объектов, процессов производства, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации, выполнения работ или оказания услуг требованиям технических регламентов, положениям стандартов или условиям договоров.

Поправка – значение величины, одноименной с измеряемой, которая вводится в результат измерения для исключения систематических составляющих погрешности.

Правильность – характеристика качества измерений, отражающая близость к нулю систематических погрешностей в их результатах.

Приведенная погрешность – отношение абсолютной погрешности к некоторому нормирующему значению.

Принцип измерений – физическое явление или эффект, положенный в основу измерений (по существу принцип измерений является научной основой метода измерений).

Прямые измерения – измерения, при которых значения физических величин находятся непосредственно из опытных данных.

Продукция – результат деятельности, представленный в материально-вещественной форме и предназначенный для дальнейшего использования в хозяйственных и иных целях.

Рабочий эталон – мера, измерительный прибор или преобразователь, утвержденные в качестве образцовых и служащие для поверки по ним других средств измерений.

Размер физической величины – количественная определенность величины, присущая конкретному предмету, системе, явлению или процессу.

Результат измерения – значение физической величины, полученное путем ее измерения.

Риск – вероятность причинения вреда жизни или здоровью граждан, имуществу физических или юридических лиц, государственному или муниципальному имуществу, окружающей среде, жизни или здоровью животных и растений с учетом тяжести этого вреда.

Сертификация – форма осуществляемого органом по сертификации подтверждения соответствия объектов требованиям технических регламентов, положениям стандартов или условиям договоров.

Сертификат соответствия – документ, удостоверяющий соответствие объекта требованиям технических регламентов, положениям стандартов или условиям договоров.

Система сертификации – совокупность правил выполнения работ по сертификации, ее участников и правил функционирования системы сертификации в целом.

Система единиц физических величин – совокупность основных и производных единиц физических величин, образованная в соответствии с принятыми принципами.

Систематические погрешности – составляющие погрешности измерений, сохраняющиеся постоянными или закономерно изменяющиеся при многократных измерениях величины в одних и тех же условиях.

Случайные погрешности – составляющие погрешности измерений, изменяющиеся случайным образом по значению и знаку при повторных измерениях одной и той же физической величины в одних и тех же условиях.

Совместные измерения – проводимые одновременно измерения двух или нескольких неодновременных величин для установления зависимости между ними.

Совокупные измерения – проводимые одновременно измерения нескольких одноименных физических величин, при которых их значения находят решением системы уравнений, получаемых при прямых или косвенных измерениях различных сочетаний этих величин.

Среднее квадратическое отклонение – характеристика рассеяния результатов измерений одной и той же величины вследствие влияния случайных погрешностей.

Средство измерений – техническое средство (или их комплекс), предназначенное для измерений, имеющее нормированные метрологические характеристики, воспроизводящее и (или) хранящее единицу физической величины, размер которой принимается неизменным в течение известного интервала времени.

Стандарт – документ, в котором в целях добровольного многократного использования устанавливаются характеристики продукции, правила осуществления и характеристики процессов производства, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации, выполнения работ или оказания услуг.

Стандартизация – деятельность по установлению правил и характеристик в целях их добровольного многократного использования, направленная на достижение упорядоченности в сферах производства и обращения продукции и повышение конкурентоспособности продукции, работ или услуг.

Субъективная (личная) погрешность – погрешность измерения, обусловленная погрешностью отсчета оператором показания по шкалам измерительного прибора.

Сходимость результатов измерений – близость друг к другу результатов измерений одной и той же величины, выполненных повторно одними и теми же средствами, одним и тем же методом, в одинаковых условиях и с одинаковой тщательностью.

Технический регламент – документ, который принят международным договором Российской Федерации, ратифицированным в порядке, установленном законодательством Российской Федерации, или Федеральным законом, или указом Президента Российской Федерации, или постановлением Правительства Российской Федерации, и устанавливает обязательные для применения и исполнения требования к объектам технического регулирования (продукции, в том числе зданиям, строениям и сооружениям, процессам производства, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации).

Техническое регулирование – правовое регулирование отношений в области установления, применения и исполнения обязательных требований к продукции, процессам производства, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации, а также в области установления и применения на добровольной основе требований к продукции, процессам производства, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации, выполнению работ или оказанию услуг и правовое регулирование отношений в области оценки соответствия.

Точность результата измерений – одна из характеристик качества измерений, отражающая близость к нулю погрешности результата измерения.

Устройство сравнения (компаратор) – средство измерений, позволяющее сравнивать друг с другом меры однородных физических величин или показания измерительных приборов.

Утверждение типа средства измерения – правовой акт Государственной метрологической службы, заключающийся в признании типа средства измерения пригодным в стране для серийного выпуска.

Физическая величина – свойство, общее в качественном отношении для множества объектов, физических систем, их состояний и происходящих в них процессов, но индивидуальное в количественном отношении для каждого из них.

Цифровой измерительный прибор – средство измерений, автоматически вырабатывающее дискретные сигналы измерительной информации, показания которого представлены в цифровой форме.

Числовое значение физической величины – отвлеченное число, выражающее отношение значения физической величины к соответствующей единице данной физической величины.

Эталон единицы физической величины – средство измерений или комплекс средств измерений, предназначенных для воспроизведения и хранения единицы и передачи ее размера нижестоящим по поверочной схеме средствам измерений, и утвержденных в качестве эталона в установленном порядке.

Эталон-свидетель – средство измерений, служащее для проверки сохранности и неизменности государственного эталона и замены его в случае порчи или утраты.

Эталон-копия – средство измерений, предназначенное для передачи размера единицы рабочим эталонам.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Основная литература

1. Сергеев, А.Г.. Метрология, стандартизация и сертификация: учебник для студентов вузов / А.Г. Сергеев, В.В. Терегеря. – М.: Юрайт: ИД Юрайт, 2011. – 820 с.
2. Любомудров, С.А. Метрология, стандартизация и сертификация: нормирование точности: учеб. пособие для студентов вузов / С.А. Любомудров, А.А. Смирнов, С.Б. Тарасов. – М.: ИНФРА-М, 2012. – 206 с.
3. Сигов, А.С. Метрология, стандартизация и сертификация: учебник для студентов образоват. Учреждений сред. проф. образования / А.С. Сигов, В.И. Нефедов, В.К. Битюков и др.; под ред. А.С. Сигова. – 3-е изд. – М.: ФОРУМ, 2012. – 336 с.

Дополнительная литература

1. Павликов, С.Н. Метрология, стандартизация и сертификация: учебное пособие [для студентов вузов] / С.Н. Павликов, Ю.А. Левашов; Мор. гос. ун-т им. адм. Г.И. Невельского. – Владивосток: МГУ, 2009. – 178 с.
2. Чубенко, Е.Ф. Метрология, стандартизация и сертификация: учеб. пособие [для студентов вузов] / Е.Ф. Чубенко. – Владивосток: Изд-во ВГУЭС, 2011. – 152 с.
3. Сергеев, А.Г. Метрология: история, современность, перспективы: учеб. пособие для студентов вузов / А.Г. Сергеев. – 2-е изд. – М.: Логос, 2011. – 384 с.: ил.
4. Зайцев, С.А. Метрология: учебник для студентов вузов / С.А. Зайцев, Д.Д. Грибанов, Л.А. Лось и др.; под общ. ред. С.А. Зайцева. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: ФОРУМ, 2011. – 464 с.: ил.
5. Сигов, А.С. Метрология, стандартизация и технические измерения: учебник для студ. вузов / А.С. Сигов, В.И. Нефедов; под ред. А.С. Сигова. – М.: Высш. шк., 2008. – 624 с.: ил.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
Глава 1. Введение в метрологию	4
1.1. Роль метрологического обеспечения в науке и технике. Метрология – цели и задачи	4
1.2. Величины, физические величины	7
1.3. Виды физических величин, измерительные шкалы	10
1.4. Системы единиц физических величин и принципы их построения.....	16
1.5. Из истории создания систем единиц физических величин	21
1.6. Международная система единиц.....	26
1.7. Другие системы единиц, используемые в практике измерений. Внесистемные единицы	31
1.8. Классификация измерений	34
Практическая работа Единицы физических величин.....	39
Глава 2. Погрешности измерений.....	44
2.1. Классификация погрешностей	44
2.2. Правила округления результатов измерений и значений погрешности	48
2.3. Случайные погрешности и их вероятностное описание. Понятие случайной величины	49
Практическая работа. Расчёт методических погрешностей	61
Лабораторный практикум. Многократные измерения и их метрологическая обработка.....	65
Лабораторный практикум. Исследование погрешностей аналогового вольтметра	73
Глава 3. Средства и методы измерений	82
3.1. Классификация средств измерений	82
3.2. Метрологические характеристики средств измерений, классы точности.....	86
3.3. Методы измерений	91
3.4. Поверочные схемы	93
Лабораторный практикум. Измерение частоты и временных интервалов	97

Глава 4. Измерительная техника	102
4.1. Масштабные измерительные преобразователи	102
4.2. Электромеханические измерительные преобразователи и приборы.....	105
4.3. Электронные аналоговые приборы.....	111
4.4. Электронно-лучевые осциллографы	115
4.5. Цифровые измерительные преобразователи и приборы	119
4.6. Измерительные информационные системы	123
Практическая работа. Расчёт измерительных схем на магнитоэлектрических преобразователях	128
Лабораторный практикум. Поверка осциллографа	131
Лабораторный практикум. Определение технических характеристик универсального осциллографа.....	142
Глава 5. Техническое регулирование	149
5.1. Обязательные требования к объектам технического регулирования	149
5.2. Федеральный закон Российской Федерации «О техническом регулировании»	151
5.3. Технические регламенты	153
5.4. Государственный контроль (надзор) за соблюдением требований технических регламентов	160
Глава 6. Стандартизация	163
6.1. Общие сведения	163
6.2. Цели стандартизации	165
6.3. Документы в области стандартизации.....	167
6.4. Международная и межгосударственная стандартизация	170
6.5. Правила и методы стандартизации	174
Глава 7. Подтверждение соответствия	185
7.1. Цели, принципы и формы подтверждения соответствия.....	188
7.2. Добровольное подтверждение соответствия и добровольная сертификация	191
7.3. Схемы и системы сертификации	201
7.4. Аккредитация органов по сертификации и испытательных лабораторий (центров)	203
СЛОВАРЬ ТЕРМИНОВ	209
СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	220

Учебное издание

Левашов Юрий Александрович
Белоус Игорь Александрович

**МЕТРОЛОГИЯ, СТАНДАРТИЗАЦИЯ
И ПОДТВЕРЖДЕНИЕ СООТВЕТСТВИЯ**

Учебное пособие

Редактор Л.И. Александрова
Компьютерная верстка М.А. Портновой

Подписано в печать .07.15. Формат 60×84/16.
Бумага писчая. Печать офсетная. Усл. печ. л. .
Уч.-изд. л. . Тираж экз. Заказ

Издательство Владивостокского государственного университета
экономики и сервиса

690014, Владивосток, ул. Гоголя, 41

Отпечатано во множительном участке Издательства ВГУЭС

690014, Владивосток, ул. Гоголя, 41