

**Международный университет природы, общества и
человека “Дубна”**

Кафедра “Биофизика”

Мокров Ю.В.

**МЕТРОЛОГИЯ, СТАНДАРТИЗАЦИЯ
И СЕРТИФИКАЦИЯ**

Учебное пособие

Дубна, 2007

ПРЕДИСЛОВИЕ

Данное пособие предназначено для студентов университета «Дубна», у которых метрология, стандартизация и сертификация не являются основной специальностью. Пособие составлено в соответствии с программой курса «Метрология, стандартизация и сертификация», читаемого автором в объеме 32 академических часов. В нем рассмотрены основы метрологии и технического регулирования, включающего в себя вопросы, связанные с техническими регламентами, стандартизацией и сертификацией.

При написании учебного пособия была использована литература по указанным отраслям знаний, в том числе вышедшие в последнее время нормативные документы и публикации в периодической печати, касающиеся различных аспектов деятельности в области метрологии, стандартизации и сертификации. В частности, рассмотрены положения Федерального закона «О техническом регулировании». Основная использованная литература приведена в разделе «Библиографический список».

Введение данного курса в учебные программы обусловлено все возрастающей ролью метрологии как науки об измерениях и различных аспектов технического регулирования в развитии науки и техники, в производстве, в торговле, образовании, бытовом обслуживании, в повышении качества товаров и услуг и в других областях человеческой деятельности.

Поскольку первоначально курс читался студентам, обучающимся по специальности «Радиационная безопасность человека и окружающей среды», в нем в качестве примеров рассматриваются вопросы, связанные с метрологическим обеспечением и стандартизацией в области измерения ионизирующих излучений.

Автор выражает благодарность Тимошенко Г.Н. за техническую помощь при оформлении учебного пособия.

Часть 1. МЕТРОЛОГИЯ

Глава 1. Метрология как наука об измерениях

1.1. Понятие и основные проблемы метрологии

Слово «*метрология*» по своему образованию состоит из греческих слов «*метро*» – мера и «*логос*» – учение и означает учение о мерах. Слово «мера» в общем смысле означает средство оценки чего-либо. В метрологии оно имеет два значения: как обозначение единицы (например, «квадратные меры») и как средство для воспроизведения единицы величины.

В современной метрологии термин «*мера физической величины*» означает средство измерения, предназначенное для воспроизведения и хранения физической величины одного или нескольких заданных размеров. Примером мер являются гири, измерительные сопротивления и т.п.

В соответствии с принятым определением *метрология* – это наука об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства и способах достижения требуемой точности.

Под *единством измерений* понимается такое их состояние, когда результаты измерений выражаются в узаконенных единицах величин, а погрешности результатов измерений известны с заданной вероятностью и не выходят за установленные пределы. Единство измерений призвано обеспечить прежде всего сопоставимость результатов измерений, полученных в разных местах и в разное время, с помощью различных методов и средств измерений. Это связано со все возрастающим ростом требований в современном обществе к точности и достоверности используемой измерительной информации практически во всех сферах деятельности — научно-технической, экономической и социальной.

Подробнее содержание понятия «единство измерений» будет развернуто ниже, после изучения разделов о единицах величин и погрешностях измерений.

Точность измерений характеризует близость их результатов к истинному значению измеряемой величины и отражает близость к нулю погрешности результата измерений.

Предмет метрологии как науки об измерениях составляют следующие задачи:

- общая теория измерений;
- единицы физических величин и их системы;

- методы и средства измерений;
- методы определения точности измерений;
- основы обеспечения единства измерений;
- эталоны единиц физических величин;
- методы передачи размеров единиц от эталонов к рабочим средствам измерений.

Метрология состоит из следующих основных *разделов*:

- **теоретическая (фундаментальная) метрология**, предметом которой является разработка фундаментальных основ метрологии, таких, например, как общая теория измерений и теория погрешностей, теория единиц физических величин и их систем, теория шкал и поверочных схем и др.;
- **законодательная метрология**, которая представляет собой совокупность обязательных для применения метрологических правил и норм по обеспечению единства измерений, которые функционируют в ранге правовых положений и находятся под контролем государства;
- **практическая (прикладная) метрология**, которая решает вопросы практического применения разработок теоретической метрологии и положений законодательной метрологии, в частности, вопросы поверки и калибровки средств измерений.

Выделение законодательной метрологии с самостоятельным раздел обусловлено необходимостью законодательного регулирования и контроля со стороны государства за деятельностью по обеспечению единства измерений.

Деятельность по обеспечению единства измерений (ОЕИ) регулируется Законом РФ «Об обеспечении единства измерений», принятом в 1993 г. Это закон устанавливает правовые основы обеспечения единства измерений в РФ. Он регулирует отношения государственных органов управления РФ с физическими и юридическими лицами по вопросам изготовления, выпуска, эксплуатации, ремонта, продажи, поверки и импорта средств измерений и направлен на защиту интересов граждан и экономики страны от отрицательных последствий недостоверных результатов измерений. Подробнее правовые вопросы обеспечения единства измерений рассматриваются ниже в соответствующем разделе.

В России сформирована **Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ)** как система управления деятельностью по обеспечению единства измерений, возглавляемая,

реализуемая и контролируемая *Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии (Ростехрегулированием)*. Целью ГСИ является создание общегосударственных правовых, нормативных, организационных, технических условия для решения задач по ОЕИ. Нормативная база ГСИ насчитывает более 2500 обязательных и рекомендательных документов, регламентирующих практически все аспекты в области метрологии. Подробнее о задачах и составе ГСИ будет сказано в разделе о правовых основах ОЕИ.

В настоящей главе рассматриваются основные понятия, входящие в определение метрологии.

1.2 Понятие измерения

Измерение является одной из самых древнейших операций в процессе познания человеком окружающего материального мира. Вся история цивилизации представляет собой непрерывный процесс становления и развития измерений, совершенствования средств методов и измерений, повышения их точности и единообразия мер.

В процессе своего развития человечество прошло путь от измерений на основе органов чувств и частей человеческого тела до научных основ измерений и использования для этих целей сложнейших физических процессов и технических устройств. В настоящее время измерениями охватываются все физические свойства материи практически независимо от диапазона изменения этих свойств.

С развитием человечества измерения приобретали все большее значение в экономике, науке, технике, в производственной деятельности. Многие науки стали называться точными благодаря тому, что они могут устанавливать с помощью измерений количественные соотношения между явлениями природы. По существу, весь прогресс науки и техники неразрывно связан с возрастанием роли и совершенствованием искусства измерений. Д.И. Менделеев говорил, что «наука начинается с тех пор, как начинают измерять. Точная наука немыслима без меры».

Не меньшее значение имеют измерения в технике, производственной деятельности, при учете материальных ценностей, при обеспечении безопасных условий труда и здоровья человека, в сохранении окружающей среды. Современный научно-

технический прогресс невозможен без широкого использования средств измерений и проведения многочисленных измерений.

В нашей стране проводится более десятки миллиардов измерений в день, свыше 4 млн. человек считают измерение своей профессией. Доля затрат на измерения составляет (10-15) % всех затрат общественного труда, достигая в электронике и точном машиностроении (50-70) %. В стране используется около миллиарда средств измерений. При создании современных электронных систем (ЭВМ, интегральных схем и т. п.) до (60-80) % затрат приходится на измерения параметров материалов, компонентов и готовых изделий.

Все это говорит о том, что невозможно переоценить роль измерений в жизни современного общества.

Хотя человек проводит измерения с незапамятных времен и интуитивно этот термин представляется понятным, точно и правильно определить его не просто. Об этом говорит, например, дискуссия по вопросам понятия и определения измерения, прошедшая не так давно на страницах журнала «Измерительная техника». В качестве примера ниже приводятся различные определения понятия «*измерение*», взятые из литературы и нормативных документов разных лет.

1. Измерением называется познавательный процесс, заключающийся в сравнении путем физического эксперимента данной величины с некоторым ее значением, принятым за единицу сравнения (М.Ф. Маликов, Основы метрологии, 1949 г.).
2. Нахождение значения физической величины опытным путем с помощью специальных технических средств (ГОСТ 16263-70 по терминам и определениям метрологии, ныне не действующий).
3. 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 (Рекомендации по межгосударственной стандартизации РМГ 29-99 Метрология. Основные термины и определения, 1999 г.).
4. Совокупность операций, имеющих целью определить значение величины (Международный словарь по терминам в метрологии, 1994 г.).

Из рассмотренных приведенных определений понятия «*измерение*» наиболее предпочтительным, включающим в себя в

той или иной мере все другие приведенные определения, следует считать определение, приведенное в РМГ 29-99. В нем учтена **техническая сторона** измерения как совокупность операций по применению технического средства, показана **метрологическая суть** измерения как процесса сравнения с размером единицы (мерой) и представлена **познавательная сторона** измерения как процесса получения значения величины.

Приведенные выше определения измерения могут быть выражены уравнением, которое в метрологии называется **основным уравнением измерений**:

$$X = \{X\}[X]$$

где X – измеряемая величина; $\{X\}$ – числовое значение измеряемой величины; $[X]$ – единица измерения.

Во всех определениях измерения присутствует понятие величины, или более строго, физической величины.

1.3 Физические величины и их измерения

Физическая величина – одно из свойств физического объекта (физической системы, явления или процесса), общее в качественном отношении для многих физических объектов, но в количественном отношении индивидуальное для каждого из них. Можно сказать также, что физическая величина — это величина, которая может быть использована в уравнениях физики, причем, под физикой здесь понимается в целом наука и технологии.

Слово «величина» часто применяется в двух смыслах: как вообще свойство, к которому применимо понятие больше или меньше, и как количество этого свойства. В последнем случае приходилось бы говорить о «величине величины», поэтому в дальнейшем речь будет идти о величине именно как свойстве физического объекта, во втором же смысле – как о значении физической величины.

В последнее время все большее распространение получает подразделение величин на **физические и нефизические**, хотя следует отметить, что пока нет строгого критерия для такого деления величин. При этом под **физическими** понимают величины, которые характеризуют свойства физического мира и применяются в физических науках и технике. Для них существуют единицы

измерения. Физические величины в зависимости от правил их измерения подразделяются на три группы:

- величины, характеризующие свойства объектов (длина, масса);
- величины, характеризующие состояние системы (давление, температура);
- величины, характеризующие процессы (скорость, мощность).

К **нефизическим** относят величины, для которых нет единиц измерения. Они могут характеризовать как свойства материального мира, так и понятия, используемые в общественных науках, экономике, медицине. В соответствии с таким разделением величин принято выделять измерения физических величин и **нефизические измерения**. Другим выражением такого подхода являются два разных понимания понятия измерения:

- измерение в **узком смысле** как экспериментальное сравнение одной измеряемой величины с другой известной величиной того же качества, принятой в качестве единицы;
- измерение в **широком смысле** как нахождение соответствий между числами и объектами, их состояниями или процессами по известным правилам.

Второе определение появилось в связи с широким распространением в последнее время измерений нефизических величин, которые фигурируют в медико-биологических исследованиях, в частности, в психологии, в экономике, в социологии и других общественных науках. В этом случае правильнее было бы говорить не об измерении, а об **оценивании величин**, понимая оценивание как установление качества, степени, уровня чего-либо в соответствии с установленными правилами. Другими словами, это операция по приписыванию путем вычисления, нахождения или определения числа величине, характеризующей качество какого-либо объекта, по установленным правилам. Например, определение силы ветра или землетрясения, выставление оценки фигуристам или оценок знаний учащихся по пятибалльной шкале.

Понятие *оценивание* величин не следует путать с понятием оценки величин, связанным с тем, что в результате измерений мы фактически получаем не истинное значение измеряемой величины, а лишь его оценку, в той или иной степени близкую к этому значению.

Рассмотренное выше понятие «*измерение*», предполагающее наличие единицы измерения (меры), соответствует понятию измерения в узком смысле и является более традиционным и классическим. В этом смысле оно и будет пониматься ниже — как измерение физических величин.

Ниже приведены *основные понятия*, относящиеся к физической величине (здесь и далее все основные понятия по метрологии и их определения приводятся по упомянутой выше рекомендации по межгосударственной стандартизации РМГ 29-99):

- ***размер физической величины*** — количественная определенность физической величины, присущая конкретному материальному объекту, системе, явлению или процессу;

- ***значение физической величины*** — выражение размера физической величины в виде некоторого числа принятых для нее единиц;

- ***истинное значение физической величины*** — значение физической величины, которое идеальным образом характеризует в качественном и количественном отношении соответствующую физическую величину (может быть соотнесено с понятием абсолютной истины и получено только в результате бесконечного процесса измерений с бесконечным совершенствованием методов и средств измерений);

- ***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;

- ***единица измерения физической величины*** — физическая величина фиксированного размера, которой условно присвоено числовое значение, равное 1, и применяемая для количественного выражения однородных с ней физических величин;

- ***система физических величин*** — совокупность физических величин, образованная в соответствии с принятыми принципами, когда одни величины принимаются за независимые, а другие определяются как функции этих *независимых величин*;

- ***основная*** физическая величина — физическая величина, входящая в систему величин и условно принятая в качестве независимой от других величин этой системы.

- **производная физическая величина** – физическая величина, входящая в систему величин и определяемая через основные величины этой системы;
- **система единиц физических величин** – совокупность основных и производных единиц физических величин, образованная в соответствии с принципами для заданной системы физических величин.

1.4 Шкалы измерений

Понятия физическая величина и измерение тесным образом связаны с понятием **шкалы физической величины** – упорядоченной совокупностью значений физической величины, служащей исходной основой для измерений данной величины. **Шкалой измерений** называют порядок определения и обозначения возможных значений конкретной величины или проявлений какого-либо свойства. Понятия шкалы возникли в связи с необходимостью изучать не только количественные, но и качественные свойства природных и рукотворных объектов и явлений.

Различают несколько типов шкал.

1. Шкала наименований (классификации) – это самая простая шкала, которая основана на приписывании объекту знаков или цифр для их идентификации или нумерации. Например, атлас цветов (шкала цветов) или шкала (классификация) растений Карла Линнея. Данные шкалы характеризуются только отношением эквивалентности (равенства) и в них отсутствуют понятия больше, меньше, отсутствуют единицы измерения и нулевое значение. Этот вид шкал приписывает свойствам объектов определенные числа, которые выполняют функцию имен. Процесс оценивания в таких шкалах состоит в достижении эквивалентности путем сравнения испытуемого образца с одним из эталонных образцов. Таким образом, шкала наименований отражает качественные свойства.

2. Шкала порядка (ранжирования) – упорядочивает объекты относительно какого-либо их свойства в порядке убывания или возрастания, например, землетрясений, силы ветра. Эти шкалы описывают уже количественные свойства. В данной шкале невозможно ввести единицу измерения, так как эти шкалы в принципе нелинейны. В ней можно говорить лишь о том, что больше или меньше, хуже или лучше, но невозможно дать количественную оценку во сколько раз больше или меньше. В

некоторых случаях в шкалах порядка может быть нулевая отметка. Например, в шкале Бофорта оценки силы ветра (отсутствие ветра). Примером шкалы порядка является также пятибалльная шкала оценки знаний учащихся. Ясно, что «пятерка» характеризует лучшее знание предмета, чем «тройка», но во сколько раз лучше, сказать невозможно. Другими примерами шкалы порядка являются шкала силы землетрясений (например, шкала Рихтера), шкалы твердости, шкалы силы ветра. Некоторые из этих шкал имеют эталоны, например, шкалы твердости материалов. Другие шкалы не могут их иметь, например, шкала волнения моря.

Шкалы порядка и наименований называют *нечисловыми* шкалами.

3. Шкала интервалов (разностей) содержит разность значений физической величины. Для этих шкал имеют смысл соотношения эквивалентности, порядка, суммирования интервалов (разностей) между количественными проявлениями свойств. Шкала состоит из одинаковых интервалов, имеет условную (принятую по соглашению) единицу измерения и произвольно выбранное начало отсчета – нуль. Примером такой шкалы являются различные *шкалы времени*, начало которых выбрано по соглашению (от Рождества Христова, от переселения пророка Мухаммеда из Мекки в Медину). Другими примерами шкалы интервалов являются шкала расстояний и температурная шкала Цельсия. Результаты измерений по этой шкале (разности) можно складывать и вычитать.

4. Шкала отношений – это шкала интервалов с естественным (не условным) нулевым значением и принятые по соглашению единицы измерений. В ней нуль характеризует естественное нулевое количество данного свойства. Например, абсолютный нуль температурной шкалы. Это наиболее совершенная и информативная шкала. Результаты измерений в ней можно вычитать, умножать и делить. В некоторых случаях возможна и операция суммирования для *аддитивных величин*. Аддитивной называется величина, значения которой могут быть суммированы, умножены на числовой коэффициент и разделены друг на друга (например, длина, масса, сила и др.). Неаддитивной величиной называется величина, для которой эти операции не имеют физического смысла, например, термодинамическая температура. Примером шкалы отношений является *шкала масс* – массы тел можно суммировать, даже если они не находятся в одном месте.

5. Абсолютные шкалы – это шкалы отношений, в которых однозначно (а не по соглашению) присутствует определение единицы измерения. Абсолютные шкалы присущи относительным единицам (коэффициенты усиления, полезного действия и др.), единицы таких шкал являются безразмерными.

6. Условные шкалы – шкалы, исходные значения которых выражены в условных единицах. К таким шкалам относятся шкалы наименований и порядка.

Шкалы разностей, отношений и абсолютные называются **метрическими (физическими) шкалами**.

1.5 Системы физических величин

Физическая величина X может быть при помощи математических действий выражена через другие физические величины $A, B, C \dots$ уравнением вида:

$$X = k A^{\alpha} B^{\beta} C^{\gamma} \dots,$$

где k – коэффициент пропорциональности; α, β, γ – показатели степени.

Формулы вида (2), выражающие одни физические величины через другие, называются **уравнениями между физическими величинами**. Коэффициент пропорциональности в таких уравнениях за редким исключением равен 1. Значение этого коэффициента не зависит от выбора единиц, а определяется только характером связи величин, входящих в уравнение.

Для каждой **системы величин** число основных величин должно быть вполне определенным и его стараются свести к минимуму. **Основные величины** могут выбираться произвольно, но важно, чтобы система была удобной для практического применения. Как правило, в качестве основных выбирают величины, характеризующие **коренные свойства материального мира**: длину, массу, время, силу, температуру, количество вещества и др. Каждой основной величине присвоен символ в виде прописной буквы латинского или греческого алфавита, называемой **размерностью** основной физической величины. Например, длина имеет размерность L , масса — M , время — T , сила тока — I и т. д.

Понятие размерности вводится и для производной величины.

Размерностью производной физической величины называется выражение в форме степенного одночлена, составлен-

ного из произведений символов основных величин в различных степенях и отражающее связь данной физической величины с физическими величинами, принятыми в данной системе величин за основные, с коэффициентом пропорциональности, равным 1. Степени символов основных величин, входящих в одночлен, могут быть целыми, дробными, положительными и отрицательными в зависимости от связи рассматриваемой величины с основными. Связь производной величины через другие величины системы выражается **определяющим уравнением** производной величины. Размерность производной величины определяется путем подстановки в определяющее уравнение вместо входящих в него величин их размерностей. Причем, для этого используются **простейшие** уравнения связи, которые могут быть представлены в виде формулы (2). Например, если определяющим уравнением для скорости v является уравнение $v = s/t$, где s — длина пути, пройденного за время t , то размерность скорости определяется по формуле L/T .

Форма уравнений, связывающих величины, не зависят от размеров единиц: какие бы единицы мы не выбирали, соотношения величин останутся неизменными и одинаковыми с соотношениями числовых значений. Этим свойством измерение отличается от всех других приемов оценки величин.

Размерность величин обозначается символом \dim . В нашем случае размерность скорости будет выражена как

$$\dim v = LT^{-1}$$

Например, в системе величин LMT (длина, масса, время) размерность любой величины X в общем виде будет выражаться формулой:

$$\dim x = L^l M^m T^t$$

где L, M, T — символы величин, принятых в качестве основных, в данном случае это длина, масса и время; l, m, t — показатели размерности производной величины x .

Размерность является более **общей характеристикой**, чем уравнение связи между величинами, т.к. одну и ту же размерность могут иметь величины разной природы, например, сила и кинетическая энергия.

Размерности имеют широкое практическое применение и позволяют:

- переводить единицы из одной системы в другую;
- проверять правильность расчетных формул;
- оценивать изменение размера производной величины при изменении размеров основных величин.

1.6 Составляющие элементы измерений

Для того чтобы можно было провести измерение и достичь поставленную перед ним цель, необходимо сформулировать измерительную задачу, в которую должны войти следующие **составляющие элементы** измерений:

- **объект измерения**, т.е. измеряемая величина;
- **единица измерения**, с которой сравнивается эта величина;
- **средство измерений**, выбор которого должен быть оптимальным для достижения требуемого результата измерений;
- **результат измерения**, представляющий, как правило, именованное число, например, метр, грамм;
- **точность измерений**, которая, как правило, задается при постановке измерительной задачи.

-

1.7 Классификация измерений

В зависимости от рода измеряемой величины, условий проведения измерений и приемов обработки экспериментальных данных измерения могут классифицироваться с различных точек зрения.

С точки зрения **общих приемов** получения результатов они разделены на четыре класса:

- прямые;
- косвенные;
- совокупные;
- совместные.

Прямое измерение – измерения, при котором искомое значение получают непосредственно. Например, измерение длины детали линейкой. Этот термин возник как противоположный термину косвенное измерение. Строго говоря, измерение всегда прямое и рассматривается как сравнение величины с ее единицей. В таком случае лучше применять термин **прямой метод измерений**.

Косвенное измерение – определение искомого значения величины на основании результатов прямых измерений других величин, функционально связанных с искомой величиной. Например, определение объема цилиндра по результатам измерений его диаметра и высоты. Косвенные измерения относятся к явлениям, которые непосредственно не воспринимаются органами чувств и познание которых требует экспериментальных устройств. Исторической предпосылкой косвенных измерений было открытие закономерных связей и единства различных явлений в отдельных областях природы и во всей природе в целом, что привело к установлению закономерных связей между различными физическими величинами.

Совокупные измерения – проводимые одновременно измерения нескольких одноименных величин, при котором искомые значения величин определяют путем решения системы уравнений, получаемых при измерениях этих величин в различных сочетаниях. При этом для определения значений искомых величин число уравнений должно быть не меньше числа величин. Примером совокупных измерений являются измерения, когда значение массы отдельных гирь из набора определяют по известному значению массы одной из гирь и по результатам измерений масс различных сочетаний гирь.

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

Совместные и совокупные измерения характеризуются тем, что состоят из совокупности рядов прямых измерений и числовые значения искомых величин определяются из совокупности уравнений типа:

$$F_1(Y_1, Y_2, \dots, X_1, X_2, \dots) = 0$$

$$\dots\dots\dots F_n(Y_1, Y_2, \dots, X_{n1}, X_{n2}, \dots) = 0$$

где Y_1, Y_2, \dots – значения искомых величин, X – значения величин, измеряемых прямым измерением,

F – известные функциональные зависимости, причем, если эти зависимости неизвестны, то их отыскание уже выходит за пределы измерений и является предметом научного исследования.

Пример совместных измерений: измерение, при котором электрическое сопротивление резистора при температуре 20°C и его температурные коэффициенты находят по данным прямых измерений сопротивления и температуры, выполненных при разных температурах.

По *физическому смыслу* измерения можно было бы делить на прямые и косвенные.

По *числу измерений* одной и той же величины измерения делятся на однократные и многократные. От числа измерений зависит методика обработки экспериментальных данных. При многократных наблюдениях для получения результата измерений приходится прибегать к статистической обработке результатов наблюдений.

По *характеру изменения* измеряемой величины в процессе измерений они делятся на статические и динамические (величина изменяется в процессе измерений).

По *отношению к основным единицам* измерения делятся на абсолютные и относительные.

Абсолютное измерение – измерение, основанное на прямых измерениях одной или нескольких основных величин и (или) использовании значений физических констант. Например, измерение силы $F = mg$ основано на измерении основной величины – массы m и использовании физической постоянной g .

Относительное измерение – измерение отношения величины к одноименной величине, играющей роль единицы, или измерение изменения величины по отношению к одноименной величине, принимаемой за исходную. Например, измерение активности радионуклида в источнике по отношению к активности радионуклида в однотипном источнике, аттестованной в качестве эталонной меры активности.

Существуют и другие классификации измерений, например, по связи с объектом (контактные и бесконтактные), по условиям измерений (равноточные и неравноточные).

Следует различать понятия *измерение и наблюдение*.

Наблюдения при измерении – операции, проводимые при измерении и имеющие целью своевременно и правильно произвести отчет. Результаты наблюдений подлежат дальнейшей обработке для получения результата измерения. Для вычисления результата измерения следует из каждого наблюдения следует исключить

систематическую погрешность. В итоге получаем исправленный результат данного наблюдения из числа нескольких, а за результат измерения принимаем среднее арифметическое из исправленных результатов наблюдений. При измерении с однократным наблюдением термином наблюдение пользоваться не стоит.

В настоящее время все измерения в соответствии с физическими законами, используемыми при их проведении, сгруппированы в 13 **видов измерений**. Им в соответствии с классификацией были присвоены двухразрядные коды видов измерений: геометрические (27), механические (28), расхода, вместимости, уровня (29), давления и вакуума (30), физико-химические (31), температурные и теплофизические (32), времени и частоты (33), электрические и магнитные (34), радиоэлектронные (35), виброакустические (36), оптические (37), параметров ионизирующих излучений (38), биомедицинские (39).

1.8 Принципы, методы и методики измерений

Наряду с рассмотренными выше основными характеристиками измерений, в теории измерений рассматриваются такие их характеристики, как **принцип и метод измерений**.

Принцип измерений – физическое явление или эффект, положенное в основу измерения. Например, использование силы тяжести при измерении массы взвешиванием.

Метод измерений – прием или совокупность приемов сравнения измеряемой величины с ее единицей в соответствии с реализованным принципом измерений. Как правило, метод измерений обусловлен устройством средств измерений. Некоторыми примерами распространенных методов измерений являются следующие методы.

Метод непосредственной оценки – метод, при котором значение величины определяют непосредственно по показывающему средству измерений. Например, взвешивание на циферблатных весах или измерение давления пружинным манометром.

Дифференциальный метод – метод измерений, при котором измеряемая величина сравнивается с однородной величиной, имеющей известное значение, незначительно отличающееся от значения измеряемой величины, и при котором измеряется разность

между этими двумя величинами. Этот метод может дать очень точные результаты. Так, если разность составляет 0,1 % измеряемой величины и оценивается прибором с точностью до 1 %, то точность измерения искомой величины составит уже 0,001 %. Например, при сравнении одинаковых линейных мер, где разность между ними определяется окулярным микрометром, позволяющим ее оценить до десятых долей микрона.

Нулевой метод измерений – метод сравнения с мерой, в котором результирующий эффект воздействия измеряемой величины и меры на прибор сравнения доводят до нуля. Мера – средство измерений, предназначенное для воспроизведения и хранения физической величины. Например, измерение массы на равноплечных весах при помощи гирь. Принадлежит к числу очень точных методов.

Метод сравнения с мерой – метод измерений, в котором измеряемую величину сравнивают величиной, воспроизводимой мерой. Например, измерение напряжения постоянного тока на компенсаторе сравнением с известной ЭДС нормального элемента. Результат измерения при этом методе либо вычисляют как сумму значения используемой для сравнения меры и показания измерительного прибора, либо принимают равным значению меры. Существуют различные модификации этого метода:

- метод измерения **замещением** (измеряемую величину замещают мерой с известным значением величины, например, при взвешивании поочередным помещением массы и гирь на одну и ту же чашку весов),
- метод измерений **дополнением**, в котором значение измеряемой меры дополняется мерой этой же величины с таким расчетом, чтобы на прибор сравнения воздействовала их сумма, равная заранее заданному значению.

Глава 2. Системы единиц физических величин

2.1. Основные понятия

Многообразие единиц физических величин на определенной ступени развития общества стало тормозить экономические, торговые и научные связи. Даже отдельные государства и их административные области для одних и тех же величин вводили

свои единицы. В разных областях науки и техники появлялись свои, специфические единицы, удобные только именно для этой отрасли.

В связи с этим возникла тенденция к **унификации единиц** физических величин, необходимость в системах единиц, которые охватывали бы единицы величин как можно больших разделов науки и техники. Ниже приводятся основные понятия, связанные с единицами физических величин и их системами.

Система единиц физических величин — совокупность основных и производных единиц физических величин, образованная в соответствии с принципами для заданной системы физических величин. Например, международная система единиц (СИ).

Основная единица системы — единица основной физической величины в данной системе единиц. Основные единицы могут выбираться произвольно, поэтому для одной и той же системы величин может быть образовано несколько систем единиц.

Производная единица системы — единица производной физической величины системы единиц, образованная в соответствии уравнением, связывающим ее с основными единицами или с основными и уже определенными производными.

Системная и внесистемная единицы – единицы, входящие и не входящие в принятые системы единиц. Например, единицы, не входящие в СИ, разделяют на следующие группы:

1. допускаемые к применению наравне с единицами СИ без ограничения срока;
2. допускаемые к применению единицы относительных и логарифмических величин;
3. единицы, временно допускаемые к применению до принятия по ним соответствующих международных решений;
4. внесистемные единицы, применение которых в новых разработках не допускается.

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

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

Когерентные производные единицы образуются с помощью простейших уравнений между величинами, где числовые

коэффициенты равны 1. Преимущества когерентной системы единиц – простота выполнения расчетов и использования системы.

Например, единица скорости $[v]$ в СИ находится из уравнения:

$$v = s / t$$

где v – скорость; s – длина пройденного пути; t – время движения.

Если подставить вместо длины пути и времени обозначения их единиц СИ то единица скорости будет

$$[v] = [s] / [t] = 1 \text{ м/с}.$$

Для образования единицы энергии может, например, использоваться уравнение с коэффициентом, отличным от единицы, например:

$$E = \frac{1}{2} mv^2$$

В этом случае для образования когерентной единицы в правую часть подставляются величины со значениями, дающие после умножения на коэффициент числовое значение, равное единице. Когерентная единица энергии в СИ образуется из выражения:

$$[E] = \frac{1}{2} (2 \text{ кг}) \cdot [v]^2 = \frac{1}{2} (2 \text{ кг}) \cdot (1 \text{ м/с})^2 = 1 \text{ кг} \cdot \text{м}^2/\text{с}^2 = 1 \text{ Дж}.$$

Единицей энергии СИ является джоуль, равный ньютон-метру. В данном примере он равен кинетической энергии тела массой 2 кг , движущегося со скоростью 1 м/с .

Кратная и дольная единица величины – это единица, в целое число раз большая или меньшая системной единицы. Например, кратная – 1 километр, дольная – 1 см.

2.2 Метрическая система мер

1795 г во Франции был принят Закон о новых мерах и весах, который установил основную **единицу длины** – метр, равный десятиmillionной части четверти дуги меридиана, проходящего через Париж. Отсюда идет и название системы – **метрическая**. Были установлены и производные единицы: **литр** как мера вместимости жидких и сыпучих тел, **грамм** как единица веса (вес чистой воды при температуре 4 градуса Цельсия в объеме куба с ребром 0,01 м), **ар** как единица площади (площадь квадрата со стороной 10 м), **стер** как единица объема (куб с ребром 0,1 м) и

секунда как единица времени ($1/86400$ часть средних солнечных суток). Позднее, в 1799 г. основной единицей массы стал килограмм и был изготовлен его платиновый прототип.

В 1875 г. была подписана **Метрическая конвенция** с целью обеспечения международного единства мер. В ее основу положены единицы длины и массы, а для образования кратных и дольных единиц использовалась десятичная система. Таким образом, была установлена **метрическая система мер**.

В настоящее время метрическая система мер принята в большинстве стран мира. Но существуют и другие системы. Например, **английская система мер**, в которой за основные единицы приняты фут, фунт и секунда.

2.2 Построение систем единиц физических величин

При построении систем единиц физических величин выделяют два этапа: 1 этап – **выбор основных единиц**; 2 этап – **образование производных единиц**.

Последовательность расположения производных единиц должна удовлетворять при этом следующим условиям:

- 1) первой должна быть величина, которая выражается только через основные величины;
- 2) каждая последующая должна быть величиной, которая выражается только через основные и такие производные, которые ей предшествуют. Например, такая последовательность единиц: площадь, объем, плотность.

Основным принципом при построении системы единиц является **удобство** использования единиц в науке, промышленности, торговли. При этом руководствуются рядом правил: простотой образования производных единиц, высокой точностью воспроизведения основных и производных единиц и близостью их размеров к размерам физических величин, чаще всего встречающихся в практической деятельности. Кроме того, число основных единиц всегда стараются сделать минимальным.

2.3 Примеры систем единиц физических величин

Система Гаусса. В качестве основных единиц в ней выбраны **миллиметр, миллиграмм, секунда** и построена система магнитных величин. Система получила название **абсолютной**. В 1851 г. Вебер

распространил ее на область электрических величин. В настоящее время представляет лишь исторический интерес, т.к. единицы имеют слишком малый размер. Однако открытый Гауссом **принцип** лежит в основе построения современных систем единиц — это деление на **основные и производные единицы**.

Система СГС была принята в 1881 г. с основными единицами **сантиметр, грамм, секунда**. Эта система удобна для физических исследований. На основе ее возникло семь систем электрических и магнитных величин. В настоящее время система СГС используется в теоретических разделах физики и астрономии.

Естественная система единиц основана на **физических константах**. Первая такая система была предложена в 1906 г. Планком. В качестве основных единиц были выбраны: скорость света в вакууме, гравитационная постоянная, постоянные Больцмана и Планка. Преимущество этих систем – при построении физических теорий они придают физическим законам более **простой вид** и некоторые формулы освобождаются от числовых коэффициентов. Однако единицы физических величин имеют в них размер, неудобный для практики. Например, единица длины равна в этой системе $4,03 \cdot 10^{-35}$ м. Кроме того, еще не достигнута такая точность измерения выбранных универсальных констант, чтобы можно было установить все производные единицы.

2.4 Относительные и логарифмические величины и единицы

Относительные и логарифмические величины широко распространены в науке и технике, т.к. они характеризуют состав и свойства материалов, отношение энергетических величин, например, относительную плотность, относительную диэлектрическую проницаемость, усиление и ослабление мощности.

Относительная величина – это безразмерное отношение физической величины к одноименной физической величине, принимаемой за исходную. Например, атомные и молекулярные массы химических элементов по отношению к 1/12 массы атома углерода-12. Относительные величины могут выражаться в безразмерных единицах, в процентах, промиле (отношение равно 10^{-3}), в миллионных долях.

Логарифмическая величина представляет собой логарифм безразмерного отношения двух одноименных физических величин.

Они применяются, например, для выражения уровня звукового давления, усиления, ослабления и т.п.

Единицей логарифмической величины является **бел (Б)**: $1 \text{ Б} = \lg (P_2 / P_1)$ при $P_2 = 10P_1$, где P_2 и P_1 – одноименные величины мощности, энергии и т.п. Для отношения двух одноименных величин, связанных с силой (напряжения, давления и т.п.) бел определяется по формуле:

$$1\text{Б} = 2 \lg (F_2/F_1) \text{ при } F_2 = 10^{0,5} F_1.$$

Дольной единицей от бела является децибел, равный 0,1 Б.

2.6 Международная система единиц (СИ)

Развитие науки и техники все настойчивее требовало **унификации единиц** измерений. Требовалась единая система единиц, удобная для практического применения и охватывающая различные области измерений. Кроме того, она должна была быть когерентной. Так как метрическая система мер широко использовалась в Европе с начала 19 века, то она была взята за основу при переходе к единой международной системе единиц.

В 1960 г. XI Генеральная конференция по мерам и весам утвердила **Международную систему единиц** физических величин (русское обозначение СИ, международное SI) на основе шести основных единиц. Было принято решение:

- присвоить системе, основанной на шести основных единицах, наименование «Международная система единиц»;
- установить международное сокращение для наименования системы – SI;
- ввести таблицу приставок для образования кратных и дольных единиц;
- образовать 27 производных единиц, указав, что могут быть добавлены и другие производные единицы.

В 1971 к СИ была добавлена седьмая основная единица – количества вещества (моль).

При построении СИ исходили из следующих **основных принципов**:

- система базируется на основных единицах, которые являются независимыми друг от друга;
- производные единицы образуются по простейшим уравнениям связи и для величины каждого вида устанавливается только одна

- единица СИ;
- система является когерентной;
- допускаются наряду с единицами СИ широко используемые на практике внесистемные единицы;
- в систему входят десятичные кратные и дольные единицы.

Преимущества СИ:

- **универсальность**, т.к. она охватывает все области измерений;
- **унификация** единиц для всех видов измерений – применение одной единицы для данной физической величины, например, для давления, работы, энергии;
- единицы СИ по своему размеру **удобны для практического применения**;
- переход на нее **повышает уровень точности измерений**, т.к. основные единицы этой системы могут быть воспроизведены более точно, чем единицы других систем;
- это единая международная система и ее единицы **распространены**.

В СССР Международная система (СИ) была введена в действие ГОСТ 8.417-81. По мере дальнейшего развития СИ из нее был исключен класс дополнительных единиц, введено новое определение метра и введен ряд других изменений. В настоящее время в РФ действует межгосударственный стандарт ГОСТ 8.417-2002, который устанавливает единицы физических величин, применяемых в стране. В стандарте указано, что подлежат обязательному применению единицы СИ, а также десятичные кратные и дольные этих единиц.

Кроме того, допускается применять некоторые единицы, не входящие в СИ, и их дольные и кратные единицы. В стандарте указаны также внесистемные единицы и единицы относительных величин.

Основные единицы СИ представлены в таблице.

Величина		Единица		
Наименование	Размерность	Наименование	Обозначение	
			русское	международн.
Длина	L	метр	м	m
Масса	M	килограмм	кг	kg
Время	T	секунда	с	s
Электрический ток	I	ампер	A	A

Термодинамическая температура	Θ	кельвин	К	К
Количество вещества	N	моль	моль	mol
Сила света	J	кандела	кд	cd

Производные единицы СИ образуются по правилам образования когерентных производных единиц (пример см. выше). Приведены примеры таких единиц и производных единиц, имеющих специальные наименования и обозначения. 21 производной единице дали наименования и обозначения по **именам ученых**, например, герц, ньютон, паскаль, беккерель.

В отдельном разделе стандарта приведены единицы, **не входящие в СИ**. К ним относятся:

1. **Внесистемные единицы**, допускаемые к применению наравне с СИ из-за их практической важности. Они разделены на области применения. Например, во всех областях применяются единицы *тонна, час, минута, сутки, литр*; в оптике – *диоптрия*, в физике – *электрон-вольт* и т.п.
2. Некоторые **относительные и логарифмические величины** и их единицы. Например, *процент, промилле, бел*.
3. Внесистемные единицы, **временно** допускаемые к применению. Например, *морская миля, карат (0,2 г), узел, бар*.

В отдельном разделе приведены правила написания обозначений единиц, использования обозначений единиц в заголовках граф таблиц и т.п.

В **приложениях** к стандарту даны правила образования когерентных производных единиц СИ, таблица соотношений некоторых внесистемных единиц с единицами СИ и рекомендации по выбору десятичных кратных и дольных единиц.

Ниже приводятся примеры некоторых производных единиц СИ.

Единицы, в наименования которых входят **наименования основных единиц**. Примеры: единица площади - **квадратный метр**, размерность L^2 , обозначение единицы m^2 ; единица потока ионизирующих частиц - **секунда в минус первой степени**, размерность T^{-1} , обозначение единицы s^{-1} .

Единицы, имеющие **специальные названия**. Примеры:

сила, вес – **ньютон**, размерность ЛМТ^{-2} , обозначение единицы Н (международное N); энергия, работа, количество теплоты – **джоуль**, размерность $\text{Л}^2\text{МТ}^{-2}$, обозначение Дж (J).

Единицы, наименования которых образованы с использованием **специальных наименований**. Примеры: момент силы – наименование **ньютон-метр**, размерность $\text{Л}^2\text{МТ}^{-2}$, обозначение Н·м (N·m); удельная энергия – наименование **джоуль на килограмм**, размерность $\text{Л}^2\text{T}^{-2}$, обозначение Дж/кг (J/kg).

Десятичные кратные и дольные единицы образуются с помощью множителей и приставок, от 10^{24} (йотта) до 10^{-24} (йокто).

Присоединение к наименованию **двух и более приставок подряд** не допускается, например, не килокилограмм, а тонна, являющаяся внесистемной единицей, допускаемой наряду с СИ. В связи с тем, что наименование основной единицы массы содержит приставку *кило*, для образования дольных и кратных единиц массы используют дольную единицу – грамм и приставки присоединяются к слову «грамм» — миллиграмм, микрограмм.

Выбор кратной или дольной единицы от единицы СИ диктуется прежде всего удобством ее применения, причем, **числовые значения** полученных величин должны быть приемлемы на практике. Считается, что числовые значения величин легче всего воспринимаются в диапазоне от 0,1 до 1000.

В некоторых областях деятельности всегда используют одну и ту же дольную или кратную единицу, например, в чертежах в машиностроении размеры всегда выражаются в миллиметрах.

Для снижения вероятности ошибок при расчетах десятичные и кратные дольные единицы рекомендуется подставлять только в конечный результат, а в процессе вычислений все величины выражать в единицах СИ, заменяя приставки степенями числа 10.

В ГОСТ 8.417-2002 приведены **правила написания** обозначения единиц, основные из которых следующие.

Следует применять обозначения единиц **буквами или знаками**, причем устанавливается два вида буквенных обозначений: **международные и русские**. Международные обозначения пишутся при отношениях с зарубежными странами (договора, поставки продукции и документации). При использовании на территории РФ используются русские обозначения. При этом на табличках, шкалах и щитках средств измерений применяются только международные обозначения.

Названия единиц пишутся с маленькой буквы, если они не стоят в начале предложения. Исключение составляет градус Цельсия.

В обозначениях единиц **точку как знак сокращения не ставят**, печатаются они прямым шрифтом. Исключения составляют сокращения слов, которые входят в наименование единицы, но сами не являются наименованиями единиц. Например, мм рт. ст.

Обозначения единиц применяют после числовых значений и помещают в строку с ними (без переноса на следующую строку). Между последней цифрой и обозначением следует оставлять **пробел**, кроме знака, поднятого над строкой.

При указании значений величин с **предельными отклонениями** следует заключать числовые значения **в скобки** и обозначения единиц помещать после скобок или проставлять их и после числового значения величины и после ее предельного отклонения.

Буквенные обозначения единиц, входящих в **произведение**, следует отделять **точками на средней линии, как знаками умножения**. Допускается отделять буквенные обозначения пробелами, если это не приводит к недоразумению. Геометрические размеры обозначаются знаком «х».

В буквенных обозначениях отношения единиц в качестве **знака деления** должна применяться **только одна черта**: косая или горизонтальная. Допускается применять обозначения единиц в виде произведения обозначений единиц, возведенных в степени.

При применении косой черты обозначения единиц в числителе и знаменателе следует помещать **в одну строку**, произведение обозначений в знаменателе следует заключать **в скобки**.

При указании производной единицы, состоящей из двух и более единиц, не допускается комбинировать **буквенные обозначения** и **наименования единиц**, т.е. для одних обозначения, для других – наименования.

Обозначения единиц, наименования которых образованы по фамилиям ученых, пишутся **с прописной (заглавной) буквы**.

Допускается применять обозначения единиц в пояснениях обозначений величин к формулам. Помещение обозначений единиц в одной строке с формулами, выражающими зависимости между

величинами и их числовыми значениями, представленными в буквенной форме, не допускается.

В стандарте выделены **единицы** по областям знаний в физике и указаны рекомендованные кратные и дольные единицы. Выделено 9 областей использования единиц:

1. пространство и время;
2. периодические и связанные с ними явления;
3. механика;
4. теплота;
5. электричество и магнетизм;
6. свет и связанные с ним электромагнитные излучения;
7. акустика;
8. физическая химия и молекулярная физика;
9. ионизирующие излучения.

Глава 3. Средства измерений и их свойства

Измерения выполняются с помощью технических средств, которые называются **средствами измерений (СИ)**. Разработка СИ является задачей приборостроения. В метрологии СИ рассматриваются с точки зрения их единой классификации и выявления параметров, которые обеспечивают получение результата измерений с заданной точностью. Здесь же рассматриваются методы и средства передачи размеров единиц от эталонов к рабочим средствам измерений.

3.1 Понятие и классификация средств измерений

Средство измерений (СИ) – техническое средство, предназначенное для измерений, имеющее нормированные метрологические характеристики, воспроизводящее или хранящее единицу физической величины, размер которой принимают неизменной в течение известного интервала времени.

Приведенное определение выражает суть средства измерений, которое, во-первых, **хранит или воспроизводит единицу**, во-вторых, эта единица **неизменна**. Эти важнейшие факторы и обуславливают возможность проведения измерений, т.е. делают техническое средство именно средством измерений. Этим средства измерений отличаются от других технических устройств.

К средствам измерений относятся меры, измерительные: преобразователи, приборы, установки и системы.

Мера физической величины – средство измерений, предназначенное для воспроизведения и (или) хранения физической величины одного или нескольких заданных размеров, значения которых выражены в установленных единицах и известны с необходимой точностью. Примеры мер: гири, измерительные резисторы, концевые меры длины, радионуклидные источники и др.

Меры, воспроизводящие физические величины лишь одного размера, называются **однозначными** (гиря), нескольких размеров – **многозначные** (миллиметровая линейка – позволяет выражать длину как в мм, так и в см). Кроме того, существуют наборы и магазины мер, например, магазин емкостей или индуктивностей.

При измерениях с использованием мер сравнивают измеряемые величины с известными величинами, воспроизводимыми мерами. Сравнение осуществляется разными путями, наиболее распространенным средством сравнения является **компаратор**, предназначенный для сличения мер однородных величин. Примером компаратора являются рычажные весы.

К мерам относятся **стандартные образцы и образцовое вещество**, которые представляют собой специально оформленные тела или пробы вещества определенного и строго регламентированного содержания, одно из свойств которых является величиной с известным значением. Например, образцы твердости, шероховатости.

Измерительный преобразователь (ИП) – техническое средство с нормативными метрологическими характеристиками, служащее для преобразования измеряемой величины в другую величину или измерительный сигнал, удобный для обработки, хранения, индикации или передачи. Измерительная информация на выходе ИП, как правило, недоступна для непосредственного восприятия наблюдателем. Хотя ИП являются конструктивно обособленными элементами, они чаще всего входят в качестве составных частей в более сложные измерительные приборы или установки и самостоятельного значения при проведении измерений не имеют.

Преобразуемая величина, поступающая на измерительный преобразователь, называется **входной**, а результат преобразования – **выходной** величиной. Соотношение между ними задается **функцией**

преобразования, которая является его основной метрологической характеристикой.

Для непосредственного воспроизведения измеряемой величины служат **первичные преобразователи**, на которые непосредственно воздействует измеряемая величина и в которых происходит трансформация измеряемой величины для ее дальнейшего преобразования или индикации. Примером первичного преобразователя является термopapa в цепи термoeлектрического термометра. Одним из видов первичного преобразователя является **датчик** – конструктивно обособленный первичный преобразователь, от которого поступают измерительные сигналы (он «дает» информацию). Датчик может быть вынесен на значительное расстояние от средства измерений, принимающего его сигналы. Например, датчик метеорологического зонда. В области измерений ионизирующих излучений датчиком часто называют детектор.

По характеру преобразования ИП могут быть **аналоговыми, аналого-цифровыми (АЦП), цифро-аналоговыми (ЦАП)**, то есть, преобразующими цифровой сигнал в аналоговый или наоборот. При аналоговой форме представления сигнал может принимать непрерывное множество значений, то есть, он является непрерывной функцией измеряемой величины. В цифровой (дискретной) форме он представляется в виде цифровых групп или чисел. Примерами ИП являются измерительный трансформатор тока, термометры сопротивлений.

Измерительный прибор – средство измерений, предназначенное для получения значений измеряемой физической величины в установленном диапазоне. Измерительный прибор представляет измерительную информацию в форме, доступной для **непосредственного восприятия** наблюдателем.

По **способу индикации** различают **показывающие и регистрирующие приборы**. Регистрация может осуществляться в виде непрерывной записи измеряемой величины или путем печатания показаний прибора в цифровой форме.

Приборы **прямого действия** отображают измеряемую величину на показывающем устройстве, имеющем градуировку в единицах этой величины. Например, амперметры, термометры.

Приборы сравнения предназначены для сравнения измеряемых величин с величинами, значения которых известны. Такие приборы используются для измерений с большей точностью.

По действию измерительные приборы разделяют на *интегрирующие и суммирующие, аналоговые и цифровые, самопишущие и печатающие*.

Измерительная установка и система – совокупность функционально объединенных мер, измерительных приборов и других устройств, предназначенных для измерений одной или нескольких величин и расположенная в одном месте (*установка*) или в разных местах объекта измерений (*система*). Измерительные системы, как правило, являются *автоматизированными* и по существу они обеспечивают автоматизацию процессов измерения, обработки и представления результатов измерений. Примером измерительных систем являются автоматизированные системы радиационного контроля (АСРК) на различных ядерно-физических установках, таких, например, как ядерные реакторы или ускорители заряженных частиц.

По *метрологическому назначению* средства измерений делятся на рабочие и эталоны.

Рабочее СИ – средство измерений, предназначенное для измерений, не связанное с передачей размера единицы другим средствам измерений. Рабочее средство измерений может использоваться и в качестве индикатора. **Индикатор** – техническое средство или вещество, предназначенное для установления наличия какой-либо физической величины или превышения уровня ее порогового значения. Индикатор не имеет нормированных метрологических характеристик. Примерами индикаторов являются осциллограф, лакмусовая бумага и т.д.

Эталон – средство измерений, предназначенное для воспроизведения и (или) хранения единицы и передачи ее размера другим средствам измерений. Среди них можно выделить *рабочие эталоны* разных разрядов, которые ранее назывались *образцовыми средствами измерений*. Более подробно эталоны будут рассмотрены ниже.

Классификация средств измерений проводится и по другим различным признакам. Например, по *видам измеряемых величин*, о чем было сказано выше в разделе 1.7., по виду шкалы (с равномерной или неравномерной шкалой), по связи с объектом измерения (контактные или бесконтактные).

3.2 Метрологические характеристики СИ

Оценка пригодности средств измерений для решения тех или иных измерительных задач проводится путем рассмотрения их **метрологических характеристик**.

Метрологическая характеристика (МХ) – характеристика одного из свойств средства измерений, влияющая на результат измерений и его погрешность. Метрологические характеристики позволяют судить об их пригодности для измерений в известном диапазоне с известной точностью. Метрологические характеристики, устанавливаемые нормативными документами на средства измерений, называют **нормируемыми** метрологическими характеристиками, а определяемые экспериментально – **действительными**.

Для каждого типа СИ устанавливаются свои метрологические характеристики. Ниже рассматриваются наиболее распространенные на практике метрологические характеристики.

Диапазон измерений СИ – область значений величины, в пределах которой нормированы его допускаемые пределы погрешности. Для мер это их номинальное значение, для преобразователей — диапазон преобразования. Различают **нижний и верхний** пределы измерений, которые выражаются значениями величины, ограничивающими диапазон измерений снизу и сверху.

Погрешность СИ — разность между показанием средства измерений – X_n и истинным (действительным) значением измеряемой величины – X_o .

Существует распространенная классификация погрешностей средств измерений. Ниже приводятся примеры их наиболее часто используемых видов.

Абсолютная погрешность СИ – погрешность средства измерений, выраженная в единицах измеряемой величины: $\Delta X = X_n - X_o$. Абсолютная погрешность удобна для практического применения, т.к. дает значение погрешности в единицах измеряемой величины. Но при ее использовании трудно сравнивать по точности приборы с разными диапазонами измерений. Эта проблема снимается при использовании относительных погрешностей.

Если абсолютная погрешность не изменяется во всем диапазоне измерения, то она называется аддитивной, если она изменяется пропорционально измеряемой величине (увеличивается

с ее увеличением), то она называется мультипликативной

Относительная погрешность СИ – погрешность средства измерений, выраженная отношением абсолютной погрешности СИ к результату измерений или к действительному значению измеренной величины: $\delta = \Delta X / X_0$. Относительная погрешность дает наилучшее из всех видов погрешностей представление об уровне точности измерений, который может быть достигнут при использовании данного средства измерений. Однако она обычно существенно изменяется вдоль шкалы прибора, например, увеличивается с уменьшением значения измеряемой величины. В связи с этим часто используют приведенную погрешность.

Приведенная погрешность СИ – относительная погрешность, выраженная отношением абсолютной погрешности средства измерений к условно принятому значению величины X_N , которое называют **нормирующим**: $\gamma = \Delta X / X_N$.

Относительные и приведенные погрешности обычно выражают либо **в процентах**, либо **в относительных единицах** (долях единицы).

Для показывающих приборов нормирующее значение устанавливается в зависимости от особенностей и характера шкалы. Приведенные погрешности позволяют сравнивать по точности средства измерений, имеющие разные пределы измерений, если абсолютные погрешности каждого из них не зависят от значения измеряемой величины.

По условиям проведения измерений погрешности средств измерений подразделяются на **основные и дополнительные**.

Основная погрешность СИ – погрешность средства измерений, применяемого в нормальных условиях, т.е. в условиях, которые определены в НТД не него как нормальные. Нормальные значения влияющих величин указываются в стандартах или технических условиях на средства измерений данного вида в форме номиналов с нормированными отклонениями. Наиболее типичными нормальными условиями являются:

- температура $(20 \pm 5)^\circ \text{C}$;
- относительная влажность $(65 \pm 15) \%$;
- атмосферное давление (100 ± 4) кПа или (750 ± 30) мм рт. ст.;
- напряжение питания электрической сети $220 \text{ В} \pm 2 \%$ с частотой 50 Гц.

Иногда вместо номинальных значений влияющих величин указывается нормальная область их значений. Например, влажность (30 – 80) %.

Дополнительная погрешность СИ – составляющая погрешности СИ, возникающая дополнительно к основной погрешности вследствие отклонения какой-либо из влияющих величин от нормального ее значения. Деление погрешностей на основные и дополнительные обусловлено тем, что свойства средств измерений зависят от внешних условий.

Погрешности по своему происхождению разделяются на **систематические и случайные**.

Систематическая погрешность СИ – составляющая погрешности средства измерений, принимаемая за постоянную или закономерно изменяющуюся. Систематические погрешности являются в общем случае функциями измеряемой величины и влияющих величин (температуры, влажности, давления, напряжения питания и т.п.).

Случайная погрешность СИ – составляющая погрешности средства измерений, изменяющаяся случайным образом. Случайные погрешности средств измерений обусловлены случайными изменениями параметров составляющих эти СИ элементов и случайными погрешностями отсчета показаний приборов.

При конструировании прибора его случайную погрешность стараются сделать незначительной в сравнении с другими погрешностями. У хорошо сконструированного и выполненного прибора *случайная погрешность незначительна*. Однако при увеличении чувствительности средств измерений обычно наблюдается увеличение случайной погрешности. Тогда при повторных измерениях одной и той же величины в одних и тех же условиях результаты будут различными. В таком случае приходится прибегать **многократным измерениям** и к статистической обработке получаемых результатов. Как правило, случайную погрешность приборов снижается до такого уровня, что проводить многократные измерения нет необходимости.

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

Градуировочная характеристика СИ – зависимость между значениями величин на входе и выходе средства измерений,

полученная экспериментально. Может быть выражена в виде формулы, графика или таблицы.

3.3 Использование СИ

С точки зрения применения в зависимости от решаемой измерительной задачи и дальнейшего использования результатов измерений средств измерений можно разделить на стандартизованные и нестандартизованные.

Стандартизованное СИ – средство измерений, изготовленное и применяемое в соответствии с требованиями государственного или отраслевого стандарта. Стандартизованные средства измерений обычно подвергаются испытаниям и вносятся в Государственный реестр.

Нестандартизованное СИ – средства измерений, стандартизация требований к которому признана нецелесообразной. К нестандартизованным обычно относятся узко специализированные средства измерений, изготовленные в единичных экземплярах и не предназначенные для массового производства. Измерительные задачи, решаемые с помощью таких средств измерений, носят ограниченный и локальный характер. Как правило, такие средства измерений используются на одном или нескольких предприятиях для вспомогательных измерений. Часто они применяются в качестве **индикаторов**. К понятию стандартизованного средства измерений примыкает понятие узаконенного средства измерений.

Узаконенное СИ – средство измерений, признанное годным и допущенное для применения уполномоченным на то органом. Примеры узаконенных средств измерений: государственные эталоны становятся таковыми в результате утверждения национальным органом по стандартизации, рабочие средства измерений, предназначенные для серийного выпуска, которые узакониваются путем **утверждения типа** (см. ниже).

Все многообразие средств измерений подразделяется на типы и виды.

Тип средств измерений – совокупность средств измерений одного и того же назначения, основанных на одном и том же принципе действия, имеющих одинаковую конструкцию и изготовленных по одной технической документации. То есть, тип средств измерений – это абсолютно одинаковые приборы,

различающиеся лишь заводскими номерами. В отличие от типа различают вид средств измерений, который включает в себя их более широкий круг.

Вид средства измерений – совокупность СИ, предназначенных для измерения данной физической величины. Вид средств измерений может включать в себя несколько их типов. Например, амперметр является видом средства измерений для измерения силы тока.

Возможность или невозможность использования средства измерения для решения поставленной измерительной задачи характеризуется такими понятиями, как метрологическая исправность и метрологический отказ.

Метрологическая исправность СИ – состояние средств измерений, при котором все нормируемые метрологические характеристики соответствуют установленным требованиям. Тогда они могут использоваться в соответствии с их назначением и метрологическими характеристиками.

Метрологический отказ СИ – выход метрологической характеристики средства измерений за установленные пределы. Если метрологический отказ произошел из-за технических неполадок, то они должны быть устранены. Если же прибор технически исправен, то в случае метрологического отказа его класс точности должен быть понижен.

3.4 Нормирование погрешностей СИ

Средства измерений можно использовать только тогда, когда известны их метрологические характеристики. Обычно указываются **номинальные значения** параметров средств измерений и допускаемые отклонения от них. Сведения о метрологических характеристиках приводятся в технической документации на средства измерений или указываются на них самих. Как правило, реальные метрологические характеристики имеют отклонения от их номинальных значений. Поэтому устанавливают **границы** для отклонений реальных метрологических характеристик от номинальных значений – **нормируют их**. Нормирование метрологических характеристик средств измерений позволяет избежать произвольного установления их характеристик разработчиками.

С помощью нормируемых метрологических характеристик

решаются следующие **основные задачи**:

- предварительный расчет с их помощью погрешностей результатов технических измерений (до проведения измерений);
- выбор средств измерений по заданным характеристикам их погрешностей.

Нормирование характеристик СИ проводится в соответствии с положениями стандартов. Например, ГОСТ 8.009-84 «ГСИ. Нормируемые метрологические характеристики средств измерений». Соответствие средств измерений установленным для них нормам делает эти средства **взаимозаменяемыми**.

Одной из важнейших метрологических характеристик СИ является их **погрешность**, знание которой необходимо для оценивания погрешности измерения.

Необходимо отметить, что погрешность СИ является только одной из составляющих погрешности результата измерений, получаемого с использованием данного СИ. Другими составляющими являются погрешность метода измерений и погрешность оператора, проводящего измерения.

Погрешности средств измерений могут быть обусловлены различными причинами:

- **неидеальностью свойств** средства измерений, то есть отличием его реальной функции преобразования от номинальной;
- **воздействием влияющих величин** на свойства средств измерений;
- **взаимодействием** средства измерений с объектом измерений — изменением значения измеряемой величины вследствие воздействия средства измерения;
- **методами обработки** измерительной информации, в том числе с помощью средств вычислительной техники.

Погрешности конкретных экземпляров СИ устанавливают только для эталонов, для остальных СИ вся информация об их погрешностях представляет собой те **нормы**, которые для них установлены. Нормирование погрешностей изложено в Рекомендации 34 МОЗМ «Классы точности средств измерений» и в ГОСТ 8.401-80 «Классы точности средств измерений. Общие требования».

В основе **нормирования погрешностей** средств измерений лежат следующие основные положения.

1. В качестве норм указывают **пределы допускаемых погрешностей**, включающие в себя систематические и случайные составляющие.

Под **пределом допускаемой погрешности** понимается наибольшее значение погрешности средства измерений, при котором оно еще признается годным к применению. Обычно устанавливают пределы, т.е. зоны, за которую не должна выходить погрешность. Данная норма отражает то положение, что средства измерений можно применять с **однократным считыванием показаний**.

2. **Порозы** нормируют все свойства СИ, влияющие на их точность: отдельно нормируют **основную погрешность**, по отдельности – все **дополнительные погрешности** и другие свойства, влияющие на точность измерений. При выполнении данного требования обеспечивается **максимальная однородность** средств измерений одного типа, то есть близкие значения дополнительных погрешностей, обусловленных одними и теми же факторами. Это дает возможность заменять один прибор другим однотипным без возможного увеличения суммарной погрешности.

Пределы допускаемых погрешностей средств измерения применяются как для абсолютной, так и для относительной погрешности.

Пределы допускаемой абсолютной погрешности устанавливают по формуле $\Delta = \pm a$ для аддитивной погрешности. Для мультипликативной погрешности они устанавливаются в виде линейной зависимости

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

где x – показание измерительного прибора, a и b – положительные числа, не зависящие от x .

Предел допускаемой относительной погрешности (в относительных единицах) для мультипликативной погрешности устанавливают по формуле

$$\delta = \Delta / x = \pm c.$$

Для аддитивной погрешности формула имеет вид:

$$\delta = \Delta / x = \pm [c + d (x_k / x - 1)]$$

где x_k – конечное значение диапазона измерений прибора; c и d – относительные величины.

Первое слагаемое в этой формуле имеет смысл относительной погрешности при $x = x_k$, второе — характеризует рост относительной погрешности при уменьшении показаний прибора. **Пределы допускаемой приведенной погрешности** (в процентах) следует устанавливать по формуле

$$\gamma = 100\Delta / x_N = \pm p$$

где x_N — нормирующее значение; p — отвлеченное положительное число из ряда 1; 1,5; 2; 2,5; 4; 5; 6, умноженное на 10^n ($n = 1, 0, -1, -2$ и т.д.)

Нормирующее значение принимается равным: конечному значению шкалы (если 0 находится на краю шкалы), сумме конечных значений шкалы (если 0 внутри шкалы), номинальному значению измеряемой величины, длине шкалы.

3.5 Класс точности СИ и его обозначение

Установление рядов пределов допускаемых погрешностей позволяет упорядочить требования к средствам измерений по точности. Это упорядочивание осуществляется путем установления классов точности СИ.

Класс точности СИ — обобщенная характеристика данного типа СИ, отражающая уровень их точности, выражаемая **пределами допускаемой основной**, а в некоторых случаях **и дополнительных погрешностей** (они рассмотрены выше), а также другими характеристиками, влияющими на точность. Класс точности применяется для средств измерений, используемых в технических измерениях, когда нет необходимости или возможности выделить отдельно систематические и случайные погрешности, оценить вклад влияющих величин с помощью дополнительных погрешностей. Класс точности позволяет судить о том, в каких пределах находится погрешность средств измерений **одного типа**, но не является непосредственным показателем точности измерений, выполняемых с помощью **каждого** из этих средств. Класс точности СИ конкретного типа устанавливают в стандартах технических требований или других нормативных документах.

При выражении предела допускаемой основной погрешности в форме **абсолютной погрешности** класс точности в документации и на средствах измерения обозначается прописными буквами латинского алфавита или римскими цифрами. Чем дальше буква от

начала алфавита, тем больше погрешность. Расшифровка соответствия букв значению абсолютной погрешности осуществляется в технической документации на средство измерения.

Выражение класса точности через относительные и приведенную погрешности рассмотрено в предыдущем разделе

В настоящее время по отношению к современным средствам измерений понятие класс точности применяется довольно редко. В основном он чаще всего используется для описания характеристик электроизмерительных приборов, аналоговых стрелочных приборов всех типов, некоторых мер длины, весов, гирь общего назначения, манометров.

Примеры обозначения классов точности для различных форм выражения погрешности приведены в таблице.

Обозначение классов точности

Пределы допускаемой основной погрешности	Обозначения		Форма выражения погрешности
	в документации	на приборе	
$\gamma = \pm 1,5$	Класс точности 1,5	1,5	Приведенная погрешность
$\delta = \pm 0,5$	Класс точности 0,5	0,5	Относительная погрешность, постоянная
$\delta = \pm [0,02 + 0,01(x_k/x - 1)]$	Класс точности 0,02/0,01	0,02/0,01	Относительная погрешность, возрастает с уменьшением x

3.6 Эталоны и их использование

Решение задачи обеспечения единства измерений требует тождественности единиц одной и той же величины, которые передаются средствами измерения. Это достигается путем точного воспроизведения и хранения единиц физических величин и передачи их размеров используемым средствам измерений. Воспроизведение, хранение и передача размеров единиц осуществляется с помощью **эталонов**. Под **воспроизведением** единицы физической величины понимается совокупность операций по ее материализации путем создания фиксированной по размеру физической величины в соответствии с ее определением. Эталоны классифицируются по

различным признакам. Так, они делятся на первичные, вторичные и рабочие. **Первичный эталон** воспроизводит единицу с наивысшей (по сравнению с другими эталонами той же величины) точностью. **Государственный первичный эталон** – это эталон, признанный в качестве исходного на территории государства. **Вторичный эталон** получает размер единицы от первичного эталона. **Рабочий эталон** предназначен для передачи размера единицы рабочим средствам измерений, так как для поверки многочисленных рабочих средств измерений нецелесообразно использовать очень точный и дорогой первичный эталон. Этот термин заменяет применявшийся ранее термин **образцовое средство измерений**. Рабочие эталоны подразделяют на разряды: 1-й, 2-й и т.д.

Эталонная база РФ состоит из 118 государственных эталонов и более 300 вторичных эталонов. Государственные эталоны служат для воспроизведения физических величин, поэтому структура эталонной базы соответствует структуре единиц СИ. Основа этой базы — эталоны основных единиц СИ кроме эталона единицы количества вещества (моль). Одной из причин того, что эталон единицы количества вещества не создан, является недостаточная четкость определения этой единицы и отсутствует метод ее измерения в соответствии с определением. Тем более, эту единицу трудно назвать основной, так как в ее определение связано с единицей массы. Вполне возможно, что эта единица будет переведена в разряд специальных единиц массы.

Большинство эталонов сосредоточено в двух **метрологических институтах** РФ – Всероссийском научно-исследовательском институте метрологии им. Д.И. Менделеева (ВНИИМ) и Всероссийском научно-исследовательском институте физико-технических и радиотехнических измерений (ВНИИФТРИ).

В области измерения параметров ионизирующих излучений применяются 14 государственных эталонов: 9 во ВНИИМ, 5 во ВНИИФТРИ.

Эталоны предназначены не только для воспроизведения единицы физической величины, но и для передачи ее размера другим эталонам и рабочим средствам измерений. Под **передачей размера единицы величины** понимается приведение размера величины, хранимой средством измерений, к размеру единицы, воспроизводимой эталоном. Эта процедура осуществляется при **поверке** средств измерений.

Поверка средств измерений – установление органом государственной метрологической службы (или другим официально уполномоченным органом, организацией) пригодности СИ к применению на основе экспериментально определяемых метрологических характеристик и подтверждения их соответствия установленным обязательным требованиям.

Поверке подвергают СИ, подлежащие государственному метрологическому контролю и надзору и используемые в здравоохранении, охране окружающей среды, обеспечении безопасности труда, обороны, в торговых, банковских, почтовых операциях, при испытаниях контроля качества продукции и в других важных сферах деятельности.

При поверке рабочих средств измерений используют *эталон*, как правило, рабочий эталон, а процедура проведения поверки регламентируется обязательными требованиями, которые устанавливаются *нормативными документами по поверке*. В качестве таких документов используются либо методические указания по поверке, либо государственные (национальные) стандарты. Например, ГОСТ 8.355-79. «Радиометры нейтронов. Методы и средства поверки».

Общие вопросы организации и проведения поверки регламентируются *Правилами по метрологии* Государственной системы обеспечения единства измерений (ГСИ). Например, «ПР 50.2.006-94. Правила по метрологии. Порядок проведения поверки средств измерений».

Проводят поверку специально обученные специалисты, аттестованные в качестве *поверителей* органами Государственной метрологической службы.

Результаты поверки средств измерений, признанных годными к применению, оформляют выдачей *свидетельства о поверке*, нанесением *поверительного клейма* на приборы или в техническую документацию (паспорт) прибора. Поверку СИ могут проводить также *метрологические службы* юридических лиц, *аккредитованные* на право поверки средств измерений в государственных метрологических органах.

Поверка подразделяется на *первичную* (при выпуске средств измерений), *периодическую* (при их эксплуатации), *внеочередную*, *инспекционную* (при различных проверках), *комплектную* (всей измерительной установки или системы целиком), *поэлементную*

(отдельных элементов установки или системы), **выборочную** (отдельных экземпляров средств измерений).

Передача размера единицы от эталона к рабочим средствам измерений регламентируется **поверочными схемами**.

Поверочная схема для СИ – нормативный документ, устанавливающий соподчинение средств измерений, участвующих в передаче размера единицы от эталона к рабочим средствам измерений, с указанием методов и погрешности при передаче.. Различают **государственные** (на все средства измерений данной величины в стране) и **локальные** поверочные схемы (на средства измерений в регионе, отрасли, предприятии). Требования к поверочным схемам определены стандартом ГСИ «ГОСТ 8.061-80. Поверочные схемы. Содержание и построение».

В качестве примера стандарта на поверочную схему для средств измерений конкретного типа можно привести Межгосударственный стандарт ГСИ «ГОСТ 8.033-96. Государственная поверочная схема для средств измерений активности радионуклидов, потока и плотности потока альфа-, бета-частиц и фотонов радионуклидных источников».

Средства измерений, не входящие в сферу государственного метрологического контроля, могут подвергаться **калибровке**.

Калибровка СИ – совокупность операций, устанавливающих соотношение между значением величины, полученным с помощью данного СИ и соответствующим значением величины, определенной с помощью эталона, с целью определения действительных метрологических характеристик этого СИ.

Результаты калибровки позволяют **определять**:

- действительные значения измеряемой величины;
- поправки к показаниям средств измерений;
- погрешность средств измерений.

Результаты калибровки удостоверяются **калибровочным знаком**, наносимым на СИ, или **сертификатом о калибровке**. Калибровке присущ ряд особенностей по сравнению с поверкой. Это добровольная процедура и она может выполняться любой метрологической службой. При этом аккредитация на право калибровки также является добровольной (не обязательной) процедурой.

Отмеченные особенности калибровки являются следствием **разгосударствления** процессов контроля за метрологической

исправностью средств измерений – отказом от их всеобщей обязательности поверки.

Хотя калибровка может проводиться любой метрологической службой и является добровольной процедурой, для ее проведения необходимы определенные условия. Основное из них – **прослеживание измерений**, т.е. обязательная передача размера единицы от эталона к калибруемому рабочему средству измерений.

Для организации работ по калибровке в РФ создана **Российская система калибровки (РСК)**, в которую входят государственные научные метрологические центры, органы ГМС, метрологические службы юридических лиц, объединенные целью ОЕИ в сферах, не подлежащих государственному метрологическому контролю и надзору.

Российская система калибровки базируется на следующих **принципах**:

- обязательность передачи размеров единиц от государственных эталонов к рабочим СИ;
- профессионализм и техническая компетентность;
- самоокупаемость.

Глава 4. Погрешности измерений

4.1 Понятие погрешности измерений

Непосредственной задачей измерения является определение значений измеряемой величины. В результате измерения физической величины с истинным значением X_n мы получаем оценку этой величины $X_{изм.}$ – результат измерений. При этом следует четко различать два понятия: **истинные значения** физических величин и их эмпирические проявления – **действительные значения**, которые являются результатами измерений и в конкретной измерительной задаче могут приниматься в качестве истинных значений. Истинное значение величины неизвестно и оно применяют только в теоретических исследованиях. Результаты измерений являются продуктами нашего познания и представляют собой приближенные оценки значений величин, которые находятся в процессе измерений. Степень приближения полученных оценок к истинным (действительным) значениям измеряемых величин зависит от многих факторов: метода измерений, использованных средств измерений и их погрешностей, от свойств органов чувств

операторов, проводящих измерения, от условий, в которых проводятся измерения и т.д. Поэтому между истинным значением физической величины и результатом измерений всегда имеется различие, которое выражается **погрешностью измерений** (то же самое, что погрешностью результата измерений).

Погрешность результата измерения — отклонение результата измерения от истинного (действительного) значения измеряемой величины:

$$\Delta X = X_{изм} - X_{ист}$$

Так как истинное значение измеряемой величины всегда неизвестно и на практике мы имеем дело с действительными значениями величин X_o , то формула для определения погрешности в связи с этим приобретает вид:

$$\Delta X = X_{изм} - X_o$$

4.2 Модели объекта и погрешности измерений

Задачей измерений является получение значений физической величины, характеризующей соответствующие свойства реального объекта измерений. Однако, вследствие того, что истинное значение измеряемой величины нам неизвестно, возникает вопрос — а что же тогда мы должны измерить? Для ответа на этот вопрос вводится некий идеализированный образ объекта измерений — **модель объекта измерений**, соответствующие параметры которой можно наилучшим образом представить в качестве истинного значения измеряемой величины. Модель реального объекта измерений обычно представляет собой некоторую его **абстракцию** и ее определение формируется на основе логических, физических и математических представлений. В качестве примера рассмотрим решение часто рассматриваемой в литературе простейшей измерительной задачи — определение диаметра диска. Реальный объект измерения — диск, представляется его математической моделью — кругом. При этом делается предположение, что диаметр круга идеальным образом отражает то свойство реального диска, которое мы называем его диаметром. По определению диаметр круга одинаков во всех направлениях, поэтому, чтобы проверить соответствие нашей модели реальному объекту (диску), мы должны провести измерения диска в нескольких направлениях. Из полученных результатов измерений могут следовать два вывода.

Если разброс измеренных значений, то есть разности результатов измерений между собой, не превышают заданную в измерительной задаче погрешность измерений диаметра диска, то в качестве результата измерений можно принять любое из полученных значений.

Если же разность результатов измерений превышает заданную погрешность измерений, то это означает, что для данной измерительной задачи принятая модель не подходит и необходимо ввести новую модель объекта измерений. Такой моделью, например, может быть круг, имеющий диаметр, равный наибольшему измеренному значению (описывающий круг).

Другой пример – измерение площади комнаты. Представив пол комнаты в виде прямоугольника, ее площадь можно найти как произведение длины комнаты на ширину. Но если окажется, что ширина комнаты неодинакова по ее длине, то необходимо принять другую модель — например, представить пол комнаты в виде трапеции и определять площадь уже по другой формуле.

Аналогично модели измерений вводится и понятие **модели погрешности измерений**. Например, деление погрешностей по их происхождению, свойствам, способам выражения и т.д. Так, для выражения случайных погрешностей чаще всего используются вероятностные модели. При этом случайная погрешность характеризуется не одним значением, а тем диапазоном значений, в котором она может находиться с определенной вероятностью. Для выбранной модели погрешностей устанавливаются законы ее распределения и те параметры этих распределений, которые являются показателями погрешности, а также статистические методы оценки этих параметров по результатам измерений. Подробнее модели погрешности измерений будут рассмотрены ниже.

4.3 Источники погрешности измерений

Погрешность результата измерения имеет много составляющих, каждая из которых обусловлена различными факторами и источниками. Типичный подход к анализу и оцениванию погрешностей состоит в выделении этих составляющих, их изучении по отдельности и суммировании по принятым правилам. Определив количественные параметры всех составляющих погрешности и зная способы их суммирования, можно правильно оценить погрешность

результата измерений и при возможности скорректировать его с помощью введения поправок.

Ниже приводятся некоторые **источники** появления погрешностей измерений:

- неполное соответствие объекта измерений принятой его модели;
- неполное знание измеряемой величины;
- неполное знание влияния условий окружающей среды на измерение;
- несовершенное измерение параметров окружающей среды;
- конечная разрешающая способность прибора или порог его чувствительности;
- неточность передачи значения единицы величины от эталонов к рабочим средствам измерений;
- неточные знания констант и других параметров, используемых в алгоритме обработки результатов измерения;
- аппроксимации и предположения, реализуемые в методе измерений;
- субъективная погрешность оператора при проведении измерений;
- изменения в повторных наблюдениях измеряемой величины при очевидно одинаковых условиях и другие.

Группируя перечисленные выше и другие причины появления погрешностей измерений, их можно разделить на погрешности **метода измерений, средств измерений (инструмента)** и **оператора**, проводящего измерения. Несовершенство каждого этого компонента измерения вносит вклад в погрешность измерения. Поэтому в общем виде погрешность можно выразить следующей формулой:

$$\Delta X = \Delta_{\text{м}} + \Delta_{\text{и}} + \Delta_{\text{л}}$$

где $\Delta_{\text{м}}$ – методическая погрешность (погрешность метода); $\Delta_{\text{и}}$ – инструментальная погрешность (погрешность средств измерений); $\Delta_{\text{л}}$ – личная (субъективная) погрешность.

Основные причины возникновения инструментальной погрешности приведены в разделе о средствах измерений.

Методическая погрешность возникает из-за недостатков используемого метода измерений. Чаще всего это является следствием различных допущений при использовании эмпирических зависимостей между измеряемыми величинами или конструктивных

упрощений в приборах, используемых в данном методе измерений.

Субъективная погрешность связана с такими индивидуальными особенностями операторов, как внимательность, сосредоточенность, быстрота реакции, степень профессиональной подготовленности. Такие погрешности чаще встречаются при большой доле ручного труда при проведении измерений и почти отсутствуют при использовании автоматизированных средств измерений.

4.4 Классификация погрешностей измерений

Представленная выше классификация погрешностей измерений связана с **причинами** их возникновения. Кроме этого существуют и другие признаки, по которым классифицируются погрешности.

По **характеру проявления** (свойствам погрешностей) они разделяются на систематические и случайные, по **способам выражения** – на абсолютные и относительные.

Абсолютная погрешность выражается в единицах измеряемой величины, а **относительная погрешность** представляет собой отношение абсолютной погрешности к измеренному (действительному) значению величины и ее численное значение выражается либо в процентах, либо в долях единицы.

Опыт проведения измерений показывает, что при многократных измерениях одной и той же неизменной физической величины при постоянных условиях погрешность измерений можно представить в виде двух слагаемых, которые по-разному проявляются от измерения к измерению. Существуют факторы, постоянно или закономерно изменяющиеся в процессе проведения измерений и влияющие на результат измерений и его погрешность. Погрешности, вызываемые такими факторами, называются **систематическими**.

Систематическая погрешность – составляющая погрешности измерения, остающаяся постоянной или закономерно изменяющаяся при повторных измерениях одной и той же величины. В зависимости от характера изменения систематические погрешности подразделяются на **постоянные, прогрессирующие, периодические, изменяющиеся по сложному закону**.

Близость к нулю систематической погрешности отражает

правильность измерений.

Систематические погрешности обычно оцениваются либо путем теоретического **анализа условий измерения**, основываясь на известных свойствах средств измерений, либо использованием **более точных средств измерений**. Как правило, систематические погрешности стараются исключить с помощью поправок. **Поправка** представляет собой значение величины, вводимое в неисправленный результата измерения с целью исключения систематической погрешности. Знак поправки противоположен знаку величины. На возникновение погрешностей влияют также и факторы, нерегулярно появляющиеся и неожиданно исчезающие. Причем интенсивность их тоже не остается постоянной. Результаты измерения в таких условиях имеют различия, которые индивидуально непредсказуемы, а присущие им закономерности проявляются лишь при значительном числе измерений. Погрешности, появляющиеся в результате действия таких факторов, называются **случайными погрешностями**.

Случайная погрешность – составляющая погрешности измерения, изменяющаяся случайным образом (по знаку и значению) при повторных измерениях одной и той же величины, проведенных с одинаковой тщательностью.

Незначительность случайных погрешностей говорит о хорошей **сходимости измерений**, то есть о близости друг к другу результатов измерений, выполненных повторно одними и теми же средствами, одним и тем же методом, в одинаковых условиях и с одинаковой тщательностью.

Обнаруживаются случайные погрешности путем **повторных измерений** одной и той же величины в одних и тех же условиях. Они не могут быть исключены опытным путем, но могут быть оценены при обработке результатов наблюдений. Деление погрешностей измерений на случайные и систематические очень важно, т.к. учет и оценка этих составляющих погрешности требует разных подходов.

Факторы, вызывающие погрешности, как правило, можно свести к общему уровню, когда влияние их на формирование погрешности является более или менее одинаковым. Однако некоторые факторы могут проявляться неожиданно сильно, например, резкое падение напряжения в сети. В таком случае могут возникать погрешности, существенно превышающие погрешности,

оправданные условиями измерений, свойствами средств измерений и метода измерений, квалификацией оператора. Такие погрешности называются *грубыми, или промахами*.

Грубая погрешность (промах) – погрешность результата отдельного измерения, входящего в ряд измерений, которая для данных условий резко отличается от остальных значений погрешности. Грубые погрешности необходимо всегда исключать из рассмотрения, если известно, что они являются результатом очевидных промахов при проведении измерений. Если же причины появления резко выделяющихся наблюдений установить нельзя, то для решения вопроса об их исключении используют статистические методы. Существует несколько критериев, которые позволяют выявить грубые погрешности. Некоторые из них рассмотрены ниже в разделе об обработке результатов измерений.

4.5 Случайные погрешности

4.5.1 Статистическая устойчивость распределения наблюдений

При наличии случайных погрешностей измерений прибегают к многократным наблюдениям и последующей статистической обработке их результатов. При этом результаты наблюдений и измерений и случайные погрешности рассматриваются как **случайные величины**, то есть величины, которые характеризуют случайное явление и в результате измерений принимают то или иное значение. Обработка результатов таких наблюдений возможна, если их рассеивание обнаруживает определенные **статистические закономерности**. Если же результаты наблюдений разбросаны произвольно, то использовать какие-либо способы обработки таких наблюдений и получить результат измерения не представляется возможным.

Поэтому при формулировании конкретной задачи измерений и при получении результатов наблюдений необходимо прежде всего проверить наличие закономерностей в распределении наблюдений. Если такие закономерности обнаруживаются, то распределение наблюдений обладает **статистической устойчивостью** и для их обработки возможно применение методов теории вероятностей и математической статистики. При этом необходимо отметить, что обнаружение статистических закономерностей в распределении результатов наблюдений проводится после исключения из них всех

известных систематических погрешностей.

4.5.2 Дифференциальные и интегральные законы распределения случайной величины

Случайная величина наилучшим и исчерпывающим образом характеризуется в теории вероятностей **законом ее распределения**. Этот закон устанавливает связь между возможными значениями случайной величины и соответствующими этим значениям вероятностям их появления. Существует две формы описания закона распределения случайной величины – **дифференциальная и интегральная**. Причем, в метрологии в основном используется дифференциальная форма – закон распределения **плотности вероятностей** случайной величины.

Дифференциальный закон распределения характеризуется **плотностью распределения вероятностей $f(x)$** случайной величины x . Вероятность P попадания случайной величины в интервал от x_1 до x_2 при этом дается формулой:

$$P\{x_1 \leq x \leq x_2\} = \int_{x_1}^{x_2} f(x) dx$$

Графически эта вероятность представляет собой отношение площади под кривой $f(x)$ в интервале от x_1 до x_2 к общей площади, ограниченной всей кривой распределения. Как правило, площадь под всей кривой распределения вероятностей нормируют на единицу.

В данном случае представлено распределение **непрерывной** случайной величины. Кроме них существуют и **дискретные** случайные величины, принимающие ряд определенных значений, которые можно пронумеровать.

Интегральный закон распределения случайной величины представляет собой функцию $F(x)$, определяемую формулой

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

Вероятность, что случайная величина будет меньше x_1 дается значением функции $F(x)$ при $x = x_1$:

$$F(x_1) = P\{x < x_1\}$$

Хотя закон распределения случайных величин является их полной вероятностной характеристикой, нахождение этого закона является довольно трудной задачей и требует проведения

многочисленных измерений. Поэтому на практике для описания свойств случайной величины используют различные **числовые характеристики распределений**. К ним относятся **моменты** случайных величин: **начальные и центральные**, которые представляют собой некоторые **средние значения**. При этом если усредняются величины, отсчитываемые от начала координат, то моменты называются **начальными**, а если от центра распределения – то **центральными**.

Начальный момент k -го порядка определяется формулой:

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

Наибольший практический интерес представляет начальный момент первого порядка - **математическое ожидание случайной величины m_1 ($k=1$)**:

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

Математическое ожидание определяет положение **центра группирования** случайной величины, вокруг которого наблюдается ее рассеяние. Экспериментальной оценкой математического ожидания при многократных измерениях является **среднее арифметическое значение** измеряемой величины.

Центральный момент k -го порядка определяется формулой:

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

Особую роль играет центральный момент второго порядка. Он называется **дисперсией D** случайной величины и характеризует **рассеяние** отдельных ее значений:

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

На практике чаще используется **среднее квадратическое отклонение σ (СКО)** случайной величины, определяемое формулой:

$$\sigma = \sqrt{D}$$

При более подробном изучении распределений случайной величины используются моменты более высоких порядков. Так, любой нечетный центральный момент характеризует **асимметрию** распределения. Например, третий момент используют для

нахождения **коэффициента асимметрии** кривой распределения относительно математического ожидания. Четвертый центральный момент характеризует остроту вершины кривой распределения.

4.5.3 Характеристики оценки измеряемой величины

Задачей измерения является нахождение по полученным наблюдениям наилучшей оценки измеряемой величины – **результата измерения** и оценки точности этого результата, т.е. степени его близости к истинному значению величины – **погрешности измерений**. При этом считается, что закон распределения наблюдений и погрешностей известен. Под **оценкой** в данном случае понимается нахождение значений параметров этих распределений случайных величин по ограниченному числу наблюдений. Полученные оценки параметров распределений являются лишь приближениями к истинным значениям этих параметров и используются в качестве результата измерений и его погрешности. Для того чтобы оценку, получаемую по результатам многократных наблюдений, можно было использовать в качестве параметра функции распределения случайной величины, она должна отвечать ряду требований — быть состоятельной, несмещенной и эффективной.

Состоятельная оценка – это оценка, которая при увеличении числа наблюдений стремится к истинному значению оцениваемого параметра.

Несмещенная оценка - оценка, математическое ожидание которой равно истинному значению оцениваемого параметра.

Эффективная оценка – оценка, имеющая наименьшую дисперсию по сравнению с любой другой оценкой данного параметра.

Методы нахождения оценок параметров распределений, а по ним результатов измерений и их погрешностей зависят от вида функции распределения и от тех **соглашений по обработке результатов измерений**, которые нормируются в рамках законодательной метрологии в нормативной документации.

4.5.4 Примеры распределения случайных величин

Способы нахождения значений случайной величины зависят от вида функции ее распределения. Однако на практике такие

функции, как правило, неизвестны. Если же случайный характер результатов наблюдений обусловлен погрешностями измерений, то полагают, что наблюдения имеют **нормальное распределение**. Это обусловлено тем, что погрешности измерений складываются из большого числа небольших возмущений, ни одно из которых не является преобладающим. Согласно же **центральной предельной теореме** сумма бесконечно большого числа взаимно независимых бесконечно малых случайных величин с любыми распределениями имеет **нормальное распределение**. Нормальное распределение для случайной величины x с математическим ожиданием m_1 и дисперсией σ имеет вид:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-m_1)^2}{2\sigma^2}}$$

Реально даже воздействие ограниченного числа возмущений приводит к нормальному распределению результатов измерений и их погрешностей. В настоящее время наиболее полно разработан математический аппарат именно для случайных величин, имеющих нормальное распределение. Если же предположение о нормальности распределения отвергается, то статистическая обработка наблюдений существенно усложняется и в таком случае невозможно рекомендовать общую методику статистической обработки наблюдений. Часто даже не известно, какая характеристика распределения может служить оценкой истинного значения измеряемой величины.

Выше приведено аналитическое выражение нормального распределения для случайной измеряемой величины x . Переход к **нормальному распределению случайных погрешностей** $f(\Delta x)$ осуществляется переносом центра распределений в m_1 и откладывания по оси абсцисс погрешности $\Delta x = x - m_1$.

Нормальное распределение характеризуется двумя параметрами: математическим ожиданием m_1 и средним квадратическим отклонением σ .

При многократных измерениях несмещенной, состоятельной и эффективной оценкой m_1 для группы из n наблюдений является среднее арифметическое \bar{x} :

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}.$$

Нужно сказать, что среднее арифметическое дает оценку математического ожидания результата наблюдений и может быть **оценкой истинного (действительного) значения** измеряемой величины только **после исключения** систематических погрешностей.

Оценка S среднего квадратического отклонения (СКО) дается формулой:

$$S^2 = \frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$$

Эта оценка характеризует **рассеяние** единичных результатов измерений в ряду равноотстоящих измерений одной и той же величины около их среднего значения.

Другими оценками рассеяния результатов в ряду измерений являются **размах** (разница между наибольшим и наименьшим значением), модуль **средней арифметической погрешности** (арифметическая сумма погрешностей, деленная на число измерений) и доверительная граница погрешности (подробно рассматривается ниже).

СКО является наиболее удобной характеристикой погрешности в случае ее дальнейшего преобразования. Например, для нескольких некоррелированных слагаемых СКО суммы определяется по формуле:

$$S = \sqrt{\sum_{i=1}^n S^2}.$$

Оценка S характеризует рассеяние единичных результатов наблюдений относительно среднего значения, то есть в случае, если мы за результат измерений примем отдельный исправленный результат наблюдений. Если же в качестве результата измерений принимается среднее арифметическое, то СКО этого среднего $S(\bar{x})$ определяется по формуле:

$$S(\bar{x}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}}$$

Нормальное распределение погрешностей имеет следующие

свойства:

1. симметричность, т.е. погрешности, одинаковые по величине, но противоположные по знаку, встречаются одинаково часто;
2. математическое ожидание случайной погрешности равно нулю;
3. малые погрешности более вероятны, чем большие;
4. чем меньше σ , тем меньше рассеяние результатов наблюдений и больше вероятность малых погрешностей.

Другим распространенным в метрологии распределением случайной величины является **равномерное распределение** – распределение, при котором случайная величина принимает значения в пределах конечного интервала от x_1 до x_2 с постоянной плотностью вероятностей.

Дифференциальная функция равномерного распределения имеет вид:

$$\begin{aligned} f(x) &= c && \text{при } x_1 \leq x \leq x_2 \\ f(x) &= 0 && \text{при } x_2 < x < x_1 \end{aligned}$$

При нормировке площади кривой распределения на единицу, получаем, что $c(x_2 - x_1) = 1$ и $c = 1/(x_2 - x_1)$.

Равномерное распределение характеризуется математическим ожиданием $m_1 = \frac{x_1 + x_2}{2}$, дисперсией $D_x = \frac{x_2 - x_1}{12}$ или СКО $\sigma = \frac{x_2 - x_1}{2\sqrt{3}}$

Кроме рассмотренных примеров распределений случайных величин существуют и другие важные для практического использования распределения дискретных случайных величин, например, **биномиальное распределение и распределение Пуассона**. В настоящем курсе они не рассматриваются.

4.5.5 Доверительные интервалы

Приведенные выше оценки параметров распределения случайных величин в виде среднего арифметического для оценки математического ожидания и СКО для оценки дисперсии называются **точечными оценками**, так как они выражаются одним числом. Однако в некоторых случаях знание точечной оценки является недостаточным. Наиболее корректной и наглядной оценкой случайной погрешности измерений является оценка с помощью **доверительных интервалов**.

Симметричный интервал в границах $\pm \Delta x(P)$ называется **доверительным интервалом** случайной погрешности с довери-

тельной вероятностью P , если площадь кривой распределения между абсциссами $-\Delta x$ и $+\Delta x$ составляет P -ю часть всей площади под кривой плотности распределения вероятностей. При нормировке всей площади на единицу P представляет часть этой площади в долях единицы (или в процентах). Другими словами, в интервале от $-\Delta x(P)$ до $+\Delta x(P)$ с заданной вероятностью P встречаются $P \cdot 100\%$ всех возможных значений случайной погрешности.

Доверительный интервал для нормального распределения находится по формуле:

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

где коэффициент t зависит от доверительной вероятности P .

Для нормального распределения существуют следующие соотношения между доверительными интервалами и доверительной вероятностью: 1σ ($P=0,68$), 2σ ($P=0,95$), 3σ ($P=0,997$), 4σ ($P=0,999$).

Доверительные вероятности для выражения результатов измерений и погрешностей в различных областях науки и техники принимаются равными. Так, в **технических измерениях** принята доверительная вероятность 0,95. Лишь для особо точных и ответственных измерений принимают более высокие доверительные вероятности. В **метрологии** используют, как правило, доверительные вероятности 0,97, в исключительных случаях 0,99. Необходимо отметить, что точность измерений должна соответствовать поставленной измерительной задаче. Излишняя точность ведет к неоправданному расходу средств. Недостаточная точность измерений может привести к принятию по его результатам ошибочных решений с самыми непредсказуемыми последствиями, вплоть до серьезных материальных потерь или катастроф.

При проведении многократных измерений величины x , подчиняющейся нормальному распределению, доверительный интервал может быть построен для любой доверительной вероятности по формуле:

$$\Delta x = t_q \cdot S(\bar{x})$$

где t_q – коэффициент Стьюдента, зависящий от числа наблюдений n и выбранной доверительной вероятности P . Он определяется с помощью таблицы q -процентных точек распределения Стьюдента, которая имеет два параметра: $k = n - 1$ и $q = 1 - P$; $S(\bar{x})$ – оценка среднего квадратического отклонения среднего арифметического.

Доверительный интервал для погрешности $\Delta x(P)$ позволяет

построить **доверительный интервал для истинного (действительного) значения измеряемой величины**, оценкой которой является среднее арифметическое \bar{x} . Истинное значение измеряемой величины находится с доверительной вероятностью P внутри интервала: $[\bar{x} - t_q \cdot S(\bar{x}); \bar{x} + t_q \cdot S(\bar{x})]$. Доверительный интервал позволяет выяснить, насколько может измениться полученная в результате данной серии измерений оценка измеряемой величины при проведении повторной серии измерений в тех же условиях. Необходимо отметить, что доверительные интервалы строят для **нестандартных величин**, значения которых неизвестны. Такими являются истинное значение измеряемой величины и средние квадратические отклонения. В то же время оценки этих величин, получаемые в результате обработки данных наблюдений, являются случайными величинами.

Недостатком доверительных интервалов при оценке случайных погрешностей является то, что при произвольно выбираемых доверительных вероятностях нельзя суммировать несколько погрешностей, т.к. доверительный интервал суммы не равен сумме доверительных интервалов. Суммируются дисперсии независимых случайных величин: $D_\Sigma = \sum D_i$. То есть, для возможности суммирования составляющие случайной погрешности должны быть представлены своими СКО, а не предельными или доверительными погрешностями.

4.6 Систематические погрешности

Обнаружение и исключение систематических погрешностей представляет собой сложную задачу, требующую глубокого анализа всей совокупности результатов наблюдений, используемых средств, методов и условий измерений. При этом необходимо отметить, что устранение систематических погрешностей осуществляется не путем математической обработки результатов наблюдений, а применением соответствующих **методов измерений**. В частности, проведением измерений различными **независимыми методами** или выполнением измерений с параллельным применением **более точных средств измерений**.

Существуют некоторые специальные **приемы проведения измерений**, которые позволяют исключить части систематических погрешностей:

1. **Исключение** самого источника погрешностей.

2. **Замещение** измеряемой величины равновеликой ей известной величиной так, чтобы при этом в состоянии и действии всех используемых средств измерений не происходило никаких изменений. Таким путем может быть исключена погрешность компаратора.
3. **Компенсация** погрешности по знаку путем проведения измерений в прямом и обратных направлениях одним и тем же прибором. Например, определяя значение измеряемой величины при подходе к определенной точке шкалы слева и справа от нее и вычисляя среднее значение.
4. Наблюдения **через период** изменения влияющей величины. Это позволяет исключить погрешности, изменяющиеся по периодическому закону.
5. Измерения одной величины несколькими **независимыми методами** с последующим вычислением среднего взвешенного значения измеряемой величины.
6. Измерения одной величины **несколькими приборами** с последующим вычислением среднего арифметического из показаний всех приборов.

Систематические погрешности устраняются путем введения **поправок**, которые находятся разными путями и представляют собой значения абсолютных погрешностей, которые вычитаются из результата измерений. Так, инструментальные составляющие систематической погрешности находят по результатам **поверки** средств измерений.

Поправки для учета **влияющих величин** вычисляют с использованием известных **функций или коэффициентов влияния** по результатам вспомогательных измерений этих величин. Но введение поправок не исключает полностью систематические погрешности, так как остаются, например, погрешности определения поправок. Эти неисключенные части представляют собой **неисключенные остатки систематических погрешностей (НСП)**.

Так как полностью исключить систематические погрешности невозможно, то возникает задача оценивания границ или других параметров этих погрешностей. Как правило, систематическая погрешность результата измерения оценивается по ее **составляющим**. Эти составляющие бывают либо известны заранее, либо могут быть определены с помощью вспомогательных данных,

например, вычислены для каждой из влияющих величин. В качестве их могут выступать и погрешности определения поправок. Неисключенная систематическая погрешность характеризуется *границей* каждой ее составляющей.

В связи с этим возникает задача **суммирования** составляющих систематической погрешности. При этом составляющие должны рассматриваться как случайные величины и суммироваться методами теории вероятностей, что предполагает знание функции распределения этих составляющих. Однако, закон распределения элементарных составляющих погрешности, как правило, неизвестен. Поэтому при суммировании руководствуются следующим **практическим правилом**, основанном на здравом смысле и интуиции:

1. если известна оценка границ погрешности, то ее распределение следует считать **равномерным**;
2. если же известна оценка СКО погрешности, распределение следует считать **нормальным**.

Применение этого правила позволяет статистически суммировать составляющие систематической погрешности. В соответствии с ним при отсутствии дополнительной информации неисключенные остатки систематической погрешности рассматриваются как случайные величины, имеющие **равномерное распределение**.

Границы неисключенной систематической погрешности Θ при числе слагаемых большим или равным 4 вычисляются по формуле:

$$\Theta = k \cdot \sqrt{\sum_i g_i^2}$$

где g_i - граница i -ой составляющей погрешности; k - коэффициент, определяемый доверительной вероятностью. При $P = 0,95$ $k = 1,1$, при $P = 0,99$ $k = 1,4$.

При числе слагаемых меньших или равных 3 значения g_i суммируются арифметически по модулю. Если же суммировать НСП арифметически при любом числе слагаемых, то полученная оценка будет хотя и надежной, но завышенной.

Доверительную вероятность для вычисления границ неисключенной систематической погрешности принимают той же, что при вычислении доверительных границ случайной погрешности.

4.7 Методы обработки результатов прямых измерений

Основные положения методов обработки результатов прямых измерений с многократными наблюдениями определены в ГОСТ 8.207-76.

За результат измерения принимают *среднее арифметическое* данных n наблюдений, из которых исключены систематические погрешности. При этом предполагается, что результаты наблюдений после исключения из них систематических погрешностей принадлежат нормальному распределению. Для вычисления результата измерения следует из каждого наблюдения исключить систематическую погрешность и получить в итоге исправленный результат i -го наблюдения. Затем вычисляется среднее арифметическое этих исправленных результатов, которое принимается за результат измерения. Среднее арифметическое является состоятельной, несмещенной и эффективной оценкой измеряемой величины при нормальном распределении данных наблюдений.

Следует отметить, что иногда в литературе вместо термина *результат наблюдения* иногда применяют термин *результат отдельного измерения*, из которого исключены систематические погрешности. При этом за результат измерения в данной серии из нескольких измерений понимают среднее арифметическое значение. Это не меняет сути излагаемых ниже процедур обработки результатов.

При статистической обработке групп результатов наблюдений следует выполнять следующие *операции*:

1. Исключить из каждого наблюдения известную систематическую погрешность и получить исправленный результат отдельного наблюдения x .
2. Вычислить среднее арифметическое исправленных результатов наблюдений, принимаемое за результат измерения:

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

3. Вычислить оценку S среднего квадратического отклонения группы наблюдений:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{(n-1)}}$$

Проверить наличие *грубых погрешностей* – нет ли значений $(x_i - \bar{x})$, которые выходят за пределы $\pm 3S$. При нормальном законе распределений с вероятностью, практически равной 1 (0,997), ни одно из значений этой разности не должно выйти за указанные пределы. Если они имеются, то следует исключить из рассмотрения соответствующие значения x_i и заново повторить вычисления \bar{x} и оценку S .

4. Вычислить оценку СКО $S(\bar{x})$ результата измерения (среднего арифметического)

$$S(\bar{x}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}}$$

5. Проверить гипотезу о нормальности распределения результатов наблюдений.

Существуют различные приближенные методы проверки нормальности распределения результатов наблюдений. Некоторые из них приведены в ГОСТ 8.207-76. При числе наблюдений меньше 15 в соответствии с этим ГОСТ принадлежность их к нормальному распределению не проверяют. Доверительные границы случайной погрешности определяют лишь в том случае, если заранее известно, что результаты наблюдений принадлежат этому распределению. Приблизительно о характере распределения можно судить, построив гистограмму результатов наблюдений. Математические методы проверки нормальности распределения рассматриваются в специальной литературе.

6. Вычислить доверительные границы ε случайной погрешности (случайной составляющей погрешности) результата измерения

$$\varepsilon = t_q S(\bar{x})$$

где t_q - коэффициент Стьюдента, зависящий от числа наблюдений и доверительной вероятности. Например, при $n = 14$, $P = 0,95$ $t_q = 2,16$. Значения этого коэффициента приведены в приложении к указанному стандарту.

7. Вычислить границы суммарной неисключенной систематической погрешности (НСП) результата измерений Θ (по формулам раздела 4.6).

8. Проанализировать соотношение Θ и $S(\bar{x})$:

Если $\frac{\Theta}{S(\bar{x})} < 0,8$, то НСП по сравнению со случайными погрешностями пренебрегают, и граница погрешности результата $\Delta = \varepsilon$. Если

$\frac{\Theta}{S(\bar{x})} > 8$, то случайной погрешностью можно пренебречь и граница

погрешности результата $\Delta = \Theta$. Если оба неравенства не выполняются, то границу погрешности результата находят путем построения композиции распределений случайных погрешностей и НСП по формуле: $\Delta = KS_{\Sigma}$, где K – коэффициент, зависящий от соотношения случайной погрешности и НСП; S_{Σ} – оценка суммарного СКО результата измерения. Оценку суммарного СКО вычисляют по формуле:

$$S_{\Sigma} = \sqrt{1/3 \cdot \sum \theta_i^2 + S^2(\bar{x})}.$$

Коэффициент K вычисляют по эмпирической формуле:

$$K = \frac{\varepsilon + \Theta}{S(\bar{x}) + \sqrt{1/3 \cdot (\sum \Theta_i^2)}}.$$

Доверительная вероятность для вычисления Θ и ε должна быть одной и той же.

Погрешность от применения последней формулы для композиции равномерного (для НСП) и нормального (для случайной погрешности) распределений достигает 12 % при доверительной вероятности 0,99.

9. Записать результат измерений. Написание результата измерений предусмотрено в двух вариантах, так как следует различать измерения, когда получение значения измеряемой величины является конечной целью, и измерения, результаты которых будут использоваться для дальнейших вычислений или анализа.

В первом случае достаточно знать общую погрешность результата измерения и при симметричной доверительной погрешности результаты измерений представляют в форме: $\bar{x} \pm \Delta, P$, где \bar{x} – результат измерения.

Во втором случае должны быть известны характеристики составляющих погрешности измерения – оценка среднего квадратического отклонения результата измерения $S(\bar{x})$, границы НСП Θ , число выполненных наблюдений n . При отсутствии данных о виде функций распределения составляющих погрешности

результата и необходимости дальнейшей обработки результатов или анализа погрешностей, результаты измерений представляют в форме:

$$\bar{x}; S(\bar{x}), n, \Theta$$

Если границы НСП вычислены в соответствии с п.4.6, то дополнительно указывают доверительную вероятность Р.

Оценки $S(\bar{x})$, Θ и производные от их величины могут быть выражены как в абсолютной форме, то есть в единицах измеряемой величины, так и относительной, то есть как отношение абсолютного значения данной величины к результату измерения. При этом вычисления по формулам настоящего раздела следует проводить с использованием величин, выраженных только в абсолютной или в относительной форме.

4.8 Однократные измерения

В технике большинство измерений являются **однократными**, т.е. для получения результата измерения используется одно показание прибора. К такому виду относятся, например, измерения при проведении индивидуального дозиметрического контроля, при которых часто используется один детектор. Результат однократного измерения включает в себя все присущие ему погрешности (инструментальную, методическую, субъективную), в каждой из которых могут быть как систематические, так и случайные составляющие. Если при этом необходимо **точно** оценить погрешность результата измерений, то следует выявить и оценить все составляющие погрешностей и просуммировать их.

Случайная составляющая погрешности не может быть рассчитана по результатам измерения, хотя она неявно присутствует в нем. В качестве **оценки случайной составляющей погрешности** может быть использован, например, **коэффициент вариации**, определяемый предварительно в процессе многократных измерений при изучении воспроизводимости показаний данного прибора. Коэффициент вариации находится как отношение оценки среднего квадратического отклонения к среднему арифметическому показаний прибора при многократных измерениях. В некоторых случаях случайная погрешность может определяться доверительными границами.

Оценку систематических погрешностей можно получить

по характеристикам используемого прибора (по паспортным данным или из свидетельства о поверке) и метода измерения (путем его анализа). Из документации на прибор можно оценить и учесть дополнительные систематические погрешности.

Основные этапы оценки погрешности при однократных измерениях с точным оцениванием погрешности следующие:

1. Учитывается систематическая погрешность прибора.
2. Оценивается систематическая погрешность метода измерений.
3. Оцениваются по документации на прибор дополнительные систематические погрешности, обусловленные влияющими величинами.
4. Из отсчета прибора исключаются все известные систематические погрешности (в соответствии с пп. 1, 2, 3) и определяется исправленный результат измерения, который содержит НСП и случайные составляющие погрешности.
5. Оцениваются границы Θ_i составляющих НСП, распределение которых принимается равномерным. Ими могут быть, например, погрешности эталонов при поверке СИ, погрешности поправок и т.п. После этого определяются границы Θ суммарной НСП по приведенным выше формулам.
6. Предварительно перед использованием прибора определяется коэффициент вариации – оценка случайной погрешности, которая используется при последующих однократных измерениях с прибором.
7. Сопоставляются оценки НСП и случайной погрешности по критериям предыдущего раздела и при возможности пренебрежения какой-либо из них определяются границы погрешности результата Δ .

Если необходимо учитывать обе составляющие, то в качестве границы погрешности результата измерения Δ принимается суммарная средняя квадратическая погрешность S_{Σ} , вычисляемая по формуле раздела 4.7 с определением СКО результата измерений и полуэмпирического коэффициента K . Для исключения грубых погрешностей однократное измерение следует повторять 2-3 раза и за результат принимать среднее арифметическое.

На практике часто встречаются измерения, для которых нет необходимости точно оценивать погрешность. В таких измерениях в качестве результата принимают значение отсчета x , а для

оценивания погрешности измерения используются предел допускаемой основной погрешности прибора Δ_{np} и дополнительные погрешности прибора Ψ_i от влияющих величин. Субъективные погрешности при этом считаются малыми и ими пренебрегают.

Оценка погрешности результата измерения Δ_{Σ} определяется как сумма абсолютных величин основной погрешности и суммарной систематической по формуле:

$$\Delta_{\Sigma} = \Delta_{np} + \sum \Psi_i.$$

Более точная оценка погрешности может быть получена статистическим сложением составляющих по формуле раздела 4.7 в предположении их равномерного распределения.

4.9 Определение результатов косвенных измерений и оценивание их погрешностей

Методы обработки результатов косвенных измерений изложены в Методических указаниях РД 50-555-85 «Измерения косвенные. Определение результатов измерений и оценивание их погрешностей».

Основные этапы обработки результатов косвенных измерений следующие.

1. Искомое значение величины Y находят на основании результатов измерений аргументов $x_1, \dots, x_n, \dots, x_m$, связанных с искомой величиной нелинейной зависимостью $Y = f(x_1, \dots, x_n, \dots, x_m)$. Вид функции f должен быть известен из теоретических предпосылок или установлен экспериментально. Погрешность неизвестной величины Y зависит от погрешностей измерения аргументов. Ниже рассматривается случай, когда аргументы независимы друг от друга.

2. Оценка СКО случайной погрешности $S(Y)$ вычисляют по формуле:

$$S(Y) = \sqrt{\sum_{i=1}^m \left(\frac{df}{dx_i} \right)^2 \cdot S^2(x_i)}$$

где x_i – результат измерения i -го аргумента; $S(x_i)$ – оценка СКО результата измерения x_i -го аргумента (определяется по формулам раздела 4.6.7).

3. Доверительные границы случайной погрешности ϵ , при условии, что распределение погрешностей результатов измерений аргументов не противоречит нормальному распределению, определяют по

формуле: $\varepsilon = t_q \cdot S(Y)$

4. Границу неисключенной систематической погрешности результата измерения вычисляют по формуле

$$\Theta = k \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^m \left(\frac{df}{dx_i} \right)^2 \cdot g_i^2}$$

где k – поправочный коэффициент для принятой доверительной вероятности и числа m составляющих НСП, для $P=0,95$ коэффициент $k = 1,1$.

5. Погрешность результата измерения вычисляют в зависимости от соотношения границ НСП и случайной погрешности. При $0,8 < \frac{\Theta}{S(Y)} < 8$ доверительную границу результата косвенного изме-

рения Δ вычисляют по формуле $\Delta = K[\varepsilon + \Theta]$, где K – коэффициент, зависящий от отношения $\frac{\Theta}{S(Y)}$ и доверительной вероятности

(значения K приведены в указанных РД).

6. Результат измерений вычисляется по приведенной выше формуле. Если предполагается исследование и сопоставление результатов измерений или анализ погрешностей, то результат измерения и его погрешность представляют в виде

$$Y, S(Y), n, \Theta.$$

Если границы погрешности результата измерения симметричны, то результат измерения и его погрешность представляют в виде $Y \pm \Delta$.

7. При неизвестных распределениях погрешностей измерений аргументов и при наличии корреляции между ними результат косвенного измерения и его погрешность определяются методом приведения, основанном на приведении ряда отдельных значений косвенно измеряемой величины к ряду прямых измерений. Подробно этот метод описан в упомянутых выше РД.

4.10 Записи погрешностей и правила округления

Для единообразия выражения результатов измерений и погрешностей формы их представления стандартизируются. Основные правила при этом следующие.

Так как погрешности определяют лишь зону недоверности результата измерений, знать их очень точно не

требуется. Поэтому в окончательной записи погрешность выражается *одной или двумя значащими цифрами*. Значащими цифрами числа являются цифры, остающиеся после отбрасывания стоящих впереди нулей. Так, в числах 0,12 и 0,012 находится по две значащие цифры. Принято, что наименьшие разряды числовых значений результата измерений и погрешности должны быть одинаковы: $20,56 \pm 0,25$ или $2,1 \pm 0,1$. Одной из самых распространенных ошибок при оценивании результатов и погрешностей измерений является вычисление их с чрезмерно большим числом значащих цифр. Как правило, в этом нет необходимости и только при *промежуточных вычислениях* можно удерживать по 3-4 значащие цифры.

Лишь при наиболее точных вычислениях оставляют две цифры. Результат измерения должен быть записан так, чтобы он оканчивался десятичным знаком того же разряда, что и значение погрешности. Большее число разрядов не нужно, так как это не уменьшит неопределенности результата, характеризуемого этой погрешностью. Уменьшение же числа разрядов путем округления увеличивает неопределенность результата измерений и уменьшает его точность. Например, погрешность округления погрешности до двух значащих цифр составляет 5 %, а до одной значащей цифры – не более 50 %.

Установлены следующие *правила округления* результатов и погрешностей измерений:

1. Результат измерения округляется так, чтобы он оканчивался цифрой того же разряда, что и значение его погрешности. Если десятичная дробь в числовом значении результата измерений оканчивается нулями, то их отбрасывают только до того разряда, который соответствует разряду числового значения погрешности. Например, результат 3, 2800 при погрешности 0,001 округляют до 3,280.
2. Если цифра старшего из отбрасываемых разрядов меньше 5, то остающиеся цифры числа не изменяют, лишние цифры в целых числах заменяют нулями, а в десятичных дробях отбрасывают. Например, число 267 245 при сохранении четырех значащих цифр должно быть округлено до 267 200; число 165,245 до 165,2.
3. Если цифра старшего отбрасываемого разряда больше или равна 5, но за ней следуют отличные от нуля цифры, то последнюю

оставляемую цифру увеличивают на единицу: 14597→14600; 123,58→124;

4. Если отбрасываемая цифра равна 5, а следующие за ней цифры неизвестны или равны нулю, то последнюю сохраняемую цифру не изменяют, если она четная, и увеличивают, если она нечетная: 10,5→10; 11,5→12.

Глава 5. Концепция неопределенности измерений

В 1993 г. под эгидой семи международных организаций, в том числе МКМВ, МЭК, ИСО, МОЗМ, было издано «**Руководство по выражению неопределенности измерений**» (далее – Руководство). Целями Руководства были:

- обеспечение полной информации о том, как составлять отчеты о неопределенности измерений;
- представление основы для международного сопоставления результатов измерений;
- предоставление универсального метода для выражения и оценивания неопределенности измерений, применимого ко всем видам измерений и всем типам данных, используемых при измерениях.

В 2003 г. введены в действие Рекомендации по межгосударственной стандартизации **РМГ 43-2001 «Применение «Руководства по выражению неопределенности измерений»**. Они распространяются на методы оценивания точности результатов измерений, содержат практические рекомендации по применению Руководства и показывают соответствие между формами представления результатов измерений с использованием погрешности и неопределенности измерений.

Руководство рекомендует выражать характеристики точности измерений в показателях **неопределенности измерений**, а не в показателях **погрешности измерений**, принятой в отечественной метрологической практике. Вместо понятия **истинное значение** измеряемой величины вводится понятие **оцененное значение**.

Вместо деления погрешностей **по природе их появления** на систематические и случайные вводится деление **по способу оценивания** неопределенностей – методами математической статистики или иными методами.

Причин появления концепции неопределенности измерений

довольно много, но основные из них следующие.

1. Появление **новых (нетрадиционных) областей измерения** (психология, социология, медицина и др.), где постулаты традиционной метрологии (физическая величина, единица измерений, мера, эталон, погрешность измерения) не работают;
2. Влияние **новых научных направлений** кибернетического толка (кибернетики, теории информации, математической статистики и др.), в которых понятие «неопределенность» играет существенную роль. Это, как правило, связано с широким толкованием понятия неопределенности как «сомнения» в том, что, например, результат измерения представляет значение измеряемой величины. Примеры такого толкования термина неопределенности: неопределенность выбора устраняется информацией, степень неопределенности множества зависит от числа элементов в множестве и др.
3. Отход от понятия *истинного значения* измеряемой величины **как непознаваемого**, в силу чего понятие погрешности теряет смысл и погрешность невозможно вычислять, т.к. она содержит никогда не известное истинное значение.
4. Раздельная оценка систематических и случайных погрешностей и использование для них разных характеристик (доверительных границ и СКО) дает завышенные оценки погрешности. Кроме того, применение двух характеристик погрешности при определении результата неудобно, особенно при его дальнейшем использовании.
5. Необходимость простой в применении и общепризнанной универсальной методики для характеристики результата измерения.

5.1 Основные положения концепции неопределенности измерений

В Руководстве вместо понятия «**погрешность измерения**» вводится понятие «**неопределенность измерения**». При этом неопределенность измерения трактуется в двух смыслах:

- 1) В **широком смысле** как «сомнение» относительно достоверности результата измерения. Например, сомнение в том, насколько точно после внесения всех поправок результат измерения представляет значение измеряемой величины.

2) В *узком смысле* неопределенность измерения понимается как параметр, связанный с результатом измерения, который характеризует разброс значений, которые могли бы быть обоснованно приписаны измеряемой величине.

В данной концепции неопределенность измерения понимается именно в узком смысле.

Неопределенность измерения – параметр, связанный с результатом измерения, который характеризует дисперсию (разброс) значений, которые могли бы быть обоснованно приписаны измеряемой величине. Необходимо ясно представлять, что неопределенность измерения – это не доверительный интервал в традиционном понимании (при заданной доверительной вероятности). Вероятность здесь характеризует *меру доверия*, а не частоту события.

Неопределенность измерения обычно имеет много составляющих. Некоторые из них могут быть оценены из статистического распределения результатов рядов измерений и могут характеризоваться **экспериментальными стандартными отклонениями** (аналог СКО). Другие составляющие оценивают из предполагаемых распределений вероятностей, основанных на опыте или другой информации. Они также могут характеризоваться **стандартными отклонениями**.

Неопределенность результата измерения отражает отсутствие точного знания значения измеряемой величины. Оно даже после внесения поправки на известные систематические погрешности все еще является только **оценкой** измеряемой величины вследствие неопределенности, возникающей из-за случайных эффектов и неточной поправки результата на систематические погрешности.

Водятся две оценки неопределенности:

- **оценка по типу А** – метод оценивания неопределенности путем **статистического анализа рядов наблюдений**;
- **оценка по типу В** – метод оценивания **иным способом**, чем статистический анализ рядов наблюдений.

Целью классификации на тип А и тип В является показ двух различных **способов** оценки составляющих неопределенности.

Стандартную неопределенность типа А получают из **функции плотности вероятности**, полученной из наблюдаемого распределения по частоте.

Стандартную неопределенность типа В получают из *предполагаемой функции плотности вероятностей*, основанной на уверенности в том, что событие произойдет. Эта вероятность часто называется *субъективной вероятностью*.

В большинстве случаев измеряемая величина Y не является прямо измеряемой, а зависит от m других измеряемых величин X_1, X_2, \dots, X_m , называемых входными, через функциональную зависимость:

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

Сами входные величины X , от которых зависит выходная величина Y , рассматриваются как измеряемые величины. В свою очередь они могут зависеть от других величин, включая поправки и поправочные коэффициенты на систематические эффекты. Это ведет к сложной функциональной зависимости f , которая, как правило, не может быть записана точно. Кроме того, f можно определить экспериментально или она может существовать как алгоритм, который должен быть реализован численно.

Оценку входной измеряемой величины Y , обозначенную как y , получают из приведенного выше уравнения, используя входные оценки x_1, x_2, \dots, x_m для значений величин X_1, X_2, \dots, X_m . Выходная оценка y , которая является результатом измерения, выражается уравнением:

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_m)$$

Стандартная неопределенность по типу А – u_A оценивается по результатам многократных измерений, причем, исходными данными для ее вычисления являются их результаты x_{i1}, \dots, x_{in_i} , где $i = 1, \dots, m$, n_i – число измерений i -ой входной величины. Стандартную неопределенность единичного измерения i -й входной величины $u_{A,i}$ вычисляют по формуле:

$$u_{A,i} = \sqrt{\frac{1}{n_i - 1} \sum_{q=1}^{n_i} (x_{iq} - \bar{x}_i)^2},$$

где $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{q=1}^{n_i} x_{iq}$ – среднее арифметическое i -й входной величины.

Стандартную неопределенность $u_A(x_i)$ измерений i -й входной величины, при которой результат определяют как среднее арифметическое, вычисляют по формуле:

$$u_A(x_i) = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{q=1}^{n_i} (x_{iq} - \bar{x}_i)^2}.$$

Стандартная неопределенность по типу В используется для оценки величины x , которая не была получена в результате повторных наблюдений. Связанная с ней оцененная стандартная неопределенность $u_B(x_i)$ определяется на базе научного суждения, основанного на всей доступной информации о возможной изменчивости x . Фонд такой информации может включать:

- данные предварительных измерений;
- данные, полученные в результате опыта, или общие данные о поведении и свойствах соответствующих материалов и приборов;
- спецификации изготовителя;
- данные о поверке, калибровке, сведения изготовителя о приборе, сертификаты и т.п.;
- неопределенности, приписываемые справочным данным из справочников.

Например, если в свидетельстве о калибровке утверждается, что неопределенность массы эталона равняется 240 мкг на уровне трех стандартных отклонений, то стандартная неопределенность эталона массы равна $240 \text{ мкг} : 3 = 80 \text{ мкг}$.

Для неопределенности типа В применяется аппарат **субъективной теории вероятностей**: вероятность характеризует **меру доверия**, а не частоту событий, как это используется в концепции погрешности, основанной на частотной теории вероятностей. Для определения неопределенности по типу В широко используется **априорная информация** о неточности используемых данных.

Неопределенность по типу В может быть задана, например, и как некоторое кратное стандартного отклонения, так и как интервал, имеющий 90, 95 или 99 процентный уровень доверия. Если не указано иного, то можно предположить, что использовалось нормальное распределение для вычисления неопределенности. Поэтому стандартную неопределенность можно определить, разделив приведенное значение на соответствующий для нормального распределения коэффициент (см. ниже).

Часто приходится оценивать стандартную неопределенность $u(x)$, связанную с влияющим фактором X , значения которого нахо-

дятся в заданных пределах от $x - \Delta$ до $x + \Delta$. По имеющейся информации о величине X необходимо принять некоторое априорное распределение вероятности возможных значений X внутри заданных пределов. После этого стандартная неопределенность находится делением Δ на коэффициент k , зависящий от принятой функции распределения: $u(x) = \Delta/k$. Наиболее типичными случаями при этом являются:

1. известны только пределы, в которых может находиться значение X , т.е. 2Δ ;
2. известно значение $x_{изв}$ и пределы, обычно симметричные, допускаемых значений $\pm\Delta$;
3. известен интервал от $(x_{изв} - \Delta_p)$ до $(x_{изв} + \Delta_p)$, охватывающий заданную долю p вероятности.

В первом случае в предположении равномерного распределения значение коэффициента k может быть принято для симметричных границ равным $\sqrt{3}$.

Во втором случае из-за известного значения $x_{изв}$ можно предположить, что вероятность нахождения X вблизи $x_{изв}$ больше, чем вблизи границ $x_{изв} \pm \Delta$. Т.е. можно принять треугольное распределение вероятности в качестве некоторого среднего между равномерным (прямоугольным) и нормальным. Значение коэффициента k при этом равно $\sqrt{6}$.

В третьем случае распределение вероятности принимается нормальным и значение коэффициента k зависит от заданной вероятности. Например, для $p = 0,99$ он равен 2,58.

Могут встречаться и другие модификации прямоугольного и нормального распределений, например, в виде равнобедренной трапеции с шириной верхней части, равной $2\Delta\beta$, где β находится в диапазоне от 1 (прямоугольное распределение) до 0 (треугольное распределение). Тогда значение $u(x)$ определяется исходя из формулы $u^2(x) = \Delta^2 (1 + \beta^2)/6$.

Правильное использование фонда доступной информации для оценивания стандартной неопределенности по типу В требует **интуиции**, основанной на опыте и общих знаниях, и является мастерством, которое приходит с практикой.

Оценивание неопределенности по типу В позволяет выйти за рамки традиционного статистического подхода, отнесенного к оцениванию по типу А, и находить значения составляющих

неопределенности, для которых получение необходимой статистической информации затруднено или невозможно. К описанию же неопределенностей применяют статистический подход, независимо от способа их оценивания (имея в виду, что все поправки на систематические погрешности уже введены). Это видно на способе определения суммарной стандартной неопределенности.

Суммарная стандартная неопределенность $u_c(y)$ – это стандартная неопределенность результата измерения, когда результат получают из значений ряда других величин. Оцененное стандартное отклонение, связанное с выходной оценкой или с результатом измерения y , называют **суммарной стандартной неопределенностью** и обозначают $u_c(y)$.

Суммарная стандартная неопределенность для некоррелированных входных оценок определяется из формулы:

$$u_c(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^m \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \right)^2 u^2(x_i)}$$

В этой формуле неопределенность u может определяться как по типу А, так и по типу В.

Суммарная стандартная неопределенность представляет собой оцененное стандартное отклонение и характеризует разброс значений, которые могут быть с достаточным основанием приписаны измеряемой величине Y .

Несмотря на то, что суммарная неопределенность может использоваться для выражения неопределенности результата измерения, в некоторых случаях, например, в торговле или при измерениях, касающихся здоровья или безопасности, часто необходимо дать меру неопределенности, которая указывает интервал для результата измерения, в пределах которого находится **большая часть** распределения значений измеряемой величины. Для этого используется понятие **расширенной неопределенности**.

Расширенная неопределенность используется для выражения неопределенности результата измерения в торговле, промышленности, регулирующих актах, при охране здоровья и безопасности в качестве **дополнительной меры неопределенности**. Расширенную неопределенность U получают путем умножения суммарной стандартной неопределенности $u_c(y)$ на **коэффициент охвата k** :

$$U = k u_c(y)$$

Тогда результат измерения выражается как $Y = y \pm U$. Это означает, что наилучшей оценкой значения, приписываемого величине Y , является y , и что интервал от $y - U$ до $y + U$ содержит, как можно ожидать, большую часть распределения значений, которые можно с достаточной уверенностью приписать Y .

Понятия доверительный интервал и доверительный уровень (вероятность) применяются в статистике к интервалу при условии, что все составляющие неопределенности были бы получены из оценивания по типу А, т.е. при статистической обработке результатов наблюдений. В настоящей концепции слово *доверие* не используется для модификации слова «интервал» при ссылке на интервал, определяемый U . Термин *доверительный уровень* также не используется в связи с интервалом и более предпочтительным является термин *уровень доверия*. U рассматривается как задание интервала вокруг результата измерения, который содержит большую часть p распределения вероятностей, характеризуемого результатом и его суммарной стандартной неопределенностью. Таким образом, p является *вероятностью охвата* или *уровнем доверия* для этого интервала.

При возможности следует оценивать и указывать уровень доверия p , связанный с интервалом U , хотя умножение $u_c(y)$ на постоянную величину не дает никакой новой информации, а представляет уже имевшуюся информацию в новом виде. Но следует признать, что уровень доверия p будет неопределенным как из-за ограниченного знания распределения вероятностей y и $u_c(y)$, так и из-за неопределенности самой $u_c(y)$.

Значение коэффициента охвата k выбирается на основе уровня доверия, требуемого интервалом от $y - U$ до $y + U$, и обычно имеет значение от 2 до 3. Но он может и выходить за пределы этого диапазона. На практике связь коэффициента k с заданным уровнем доверия нелегко осуществить из-за отсутствия полного знания распределения вероятностей, характеризуемого результатом измерений и суммарной стандартной неопределенностью. Однако, если это распределение вероятностей близко к нормальному, то можно предположить, что принятие $k = 2$ дает интервал, имеющий уровень доверия около 95 %, а при $k = 3$ – около 99 %. В предположении равномерного распределения коэффициент охвата имеет, соответственно, значения 1,65 и 1,71.

При **представлении результата измерения и его неопределенности** следует исходить из принципа, что лучше дать слишком много информации, чем слишком мало. Например, следует:

- описать методы, используемые для вычисления результата измерения и его неопределенности из экспериментальных наблюдений и входных данных;
- перечислить все составляющие неопределенности и показать, как они оценивались;
- дать анализ данных таким образом, чтобы можно было легко повторить вычисление представляемого результата;
- дать все поправки и константы, используемые в анализе, и их источники.

Можно рекомендовать следующую **процедуру оценивания и выражения неопределенности**.

1. Выразить математическую зависимость между измеряемой величиной Y и входными величинами X_i , от которых она зависит. Функция f должна содержать каждую величину, включая все поправки и поправочные множители, которая может дать значительную составляющую в неопределенность результата измерения.
2. Определить x_i – оцененное значение входной величины X_i либо на основе статистического анализа рядов наблюдений, либо другими способами.
3. Оценить стандартную неопределенность $u(x_i)$ каждой входной оценки x_i либо по типу А, либо по типу В.
4. Рассчитать результат измерения, т.е. оценку y измеряемой величины Y из функциональной зависимости f , используя полученные оценки входных величин x_i .
5. Определить суммарную стандартную неопределенность $u_c(y)$ результата измерения y из стандартных неопределенностей, связанных с входными оценками.
6. При необходимости дать расширенную неопределенность, следует умножить суммарную стандартную неопределенность $u_c(y)$ на коэффициент охвата k , который обычно находится в диапазоне от 2 до 3. Например, значения коэффициента охвата, который создает интервал, имеющий уровень доверия p при допущении нормального распределения, имеют следующие значения:

уровень доверия p , %	коэффициент охвата k
68,27	1
90	1,645
95	1,960
95,45	2
99	2,576
99,73	3

5.2 Сопоставление концепций погрешности и неопределенности измерений

Концепции погрешности и неопределенности измерений преследуют **единую цель** – количественно охарактеризовать результат измерения с точки зрения его точности. В обеих концепциях прослеживается **единая схема** оценки характеристик погрешности и неопределенности измерения: начиная с **анализа измерительной задачи и уравнения измерения**, выявления всех **источников погрешности (неопределенности)** результата измерения, **введения поправок** на все известные систематические эффекты (погрешности) и, наконец, **оценивания характеристик** составляющих погрешности (стандартных неопределенностей) и **вычисления характеристик погрешности (неопределенности)** результата измерения.

Ниже приводятся используемые в этих концепциях оценки характеристик погрешности (неопределенности) измерения.

1. Для характеристики случайной погрешности используется **среднее квадратическое отклонение (СКО)**: σ и его оценка s для единичного измерения и $s(\bar{x})$ для среднего арифметического \bar{x} в серии измерений.

Если необходимо указание случайной погрешности с доверительной вероятностью, большей, чем 68 %, то вычисляются **доверительные границы** случайной погрешности ε по формуле:

$$\varepsilon = t_q s(\bar{x})$$

где t_q - коэффициент Стьюдента, который зависит от доверительной вероятности и числа наблюдений. неопределенность по типу А)

В концепции неопределенности используется неопределенность по типу А, определяемая как **экспериментальное стандартное отклонение** единичного измерения и **экспериментальное стандартное отклонение** среднего значения, определяемые,

соответственно, по формулам, аналогичным для определения s и $s(\bar{x})$.

2. **Границы неисключенной систематической погрешности** (НСП) Θ результата измерения вычисляют путем построения композиции границ неисключенных систематических погрешностей θ_i , обусловленных различными источниками (они трактуются как квазислучайные величины). В предположении их равномерного распределения Θ вычисляется по формуле:

$$\Theta = k \sqrt{\sum g_i^2}$$

где k – коэффициент, определяемый принятой доверительной вероятностью. При доверительной вероятности 0,95 он равен 1,1, при доверительной вероятности 0,99 он равен 1,4. Доверительная вероятность принимается той же, что и при вычислении доверительных границ случайной погрешности результата измерения.

В концепции неопределенности измерений вычисляется стандартная неопределенность по типу В, примеры вычисления которой были рассмотрены выше.

3. Для выражения **суммарной погрешности**, учитывающим случайные погрешности и НСП, находится **суммарная средняя квадратическая погрешность результата измерения** S_Σ по формуле раздела 4.6.7.

В концепции неопределенности для этой цели используется **суммарная стандартная неопределенность** $u_c(y)$ определяется по приведенным выше формулам.

4. **Доверительные границы погрешности результата измерения** Δ_Σ (граница доверительного интервала) находится путем построения композиции распределений случайных погрешностей и НСП по формулам раздела 4.6.7.

В концепции неопределенности измерений используется **расширенная неопределенность**, которая вычисляется путем умножения суммарной неопределенности на коэффициент охвата, находящийся в диапазоне от 2 до 3.

Таким образом, можно констатировать **соответствие** между неопределенностями и погрешностями на уровне **количественных оценок**. Так, для расширенной неопределенности и границы погрешности результата измерения их количественные оценки

различаются лишь на погрешность оценивания погрешности. Следует при этом отметить, что процедура определения коэффициента охвата, соответствующего коэффициенту t_{Σ} в концепции погрешности формализована строже и более удобна для практике.

Однако, **интерпретация** отмеченных количественных оценок различна в этих двух концепциях. Так, доверительные границы погрешности, отложенные от результата измерения, накрывают истинное значение измеряемой величины с заданной доверительной вероятностью. В то время как аналогичный интервал - расширенная неопределенность трактуется как интервал, содержащий заданную долю распределения значений, которые могли бы быть обоснованно приписаны измеряемой величине. В общем случае нет однозначного соответствия между случайными погрешностями и неопределенностями, вычисленными по типу А, а также между НСП и неопределенностями, вычисленными по тип В. Деление на случайные и систематические погрешности обусловлено природой их появления и свойствами, которые проявляются в процессе измерений. Деление же неопределенностей на тип А и В обусловлено методами их расчета.

Следует отметить, что несомненным **достоинством** концепции неопределенности измерений является единый принцип использования стандартной неопределенности для всех составляющих погрешности, что привлекательно для практического использования.

И, наконец, в «Руководстве по выражению неопределенности измерений» оговаривается тот случай, когда все источники неопределенности учтены и количественно оценены, а измерительная задача корректно поставлена. В таком случае неопределенность является мерой возможной погрешности. Такая ситуация как раз и является наиболее распространенной в метрологической практике. Например, при передаче размеров единиц физических величин.

5.3 Использование концепции неопределенности

В связи с появлением Руководства и ряда отечественных документов по использованию неопределенности измерений, возникает вопрос, следует ли полностью отказаться от концепции

погрешности измерений и перейти на принципы, изложенные в Руководстве. Среди метрологов нет единого мнения в этом вопросе. Так, в упомянутом выше РМГ 43-2001 говорится, что концепцией неопределенности целесообразно пользоваться при проведении совместных работ с зарубежными странами, при подготовке публикаций в зарубежной печати и при выполнении международных метрологических работ.

Кроме того, ряд авторов предлагает для тех видов и групп средств измерений, которые обеспечены поверочными схемами, восходящими к государственным эталонам, сохранить концепцию погрешности измерений. Это объясняется тем, что величины, воспроизводимые эталонами, имеют наивысшую на данный момент времени точность и воспринимаются как истинные значения величин.

Для тех же видов и средств измерений, которые не обеспечены государственными эталонами и поверочными схемами, можно использовать концепцию неопределенности измерений и разрабатывать документацию в соответствии с Руководством.

Глава 6. Правовые основы обеспечения единства измерений

6.1 Необходимость правового регулирования метрологической деятельности

Метрология относится к такой сфере деятельности, основные положения которой должны быть закреплены именно законом, принимаемым в соответствии с законодательством страны. Это связано с тем, что все юридические нормы, направленные на охрану прав и законных интересов потребителей, должны регулироваться законодательными актами, принимаемыми высшим законодательным органом страны. Законодательство в области метрологии должно содействовать экономическому и социальному развитию страны путем защиты от отрицательных последствий недостоверных результатов измерений.

Деятельность по обеспечению единства измерений (ОЕИ) осуществляется в соответствии с:

- Конституцией РФ (ст. 71p);
- Законом РФ «Об обеспечении единства измерений»;
- Постановлением Правительства РФ от 12.02.94 №100

- «Об организации работ по стандартизации, обеспечению единства измерений, сертификации продукции и услуг»;
- ГОСТ Р 8.000-2000 «Государственная система обеспечения единства измерений. Основные положения».

6.2. Основные положения Закона РФ «Об обеспечении единства измерений»

Цели Закона:

- защита от недостоверных результатов измерений;
- содействие научно-техническому и экономическому прогрессу на основе использования эталонов и результатов измерений гарантированной точности;
- создание благоприятных условий для международных и межфирменных связей;
- адаптации российской системы измерений к мировой практике.

В отличие от зарубежных стран, где федеральные органы устанавливают только основы законодательства об ОЕИ, в РФ эти отношения регулируются лишь федеральными законодательными актами.

Основные понятия, применяемые для целей Закона

В ст. 1 приведены основные понятия, которые законодательно закреплены и принимаются для целей Закона. К ним относятся понятия единства и средства измерений, эталон, метрологическая служба, поверка и калибровка средств измерений, аккредитация на право поверки и др. Необходимо отметить, что эти определения соответствуют официальной терминологии Международной организации законодательной метрологии (МОЗМ).

Государственное управление ОЕИ

Статья 4 Закона определяет орган, который осуществляет государственное управление деятельностью по ОЕИ – ранее это был Комитет РФ по стандартизации, метрологии и сертификации (Госстандарт России), который после выхода Закона РФ «О техническом регулировании» и реорганизации Правительства РФ с 2004 г называется Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии (Ростехрегулирование). В этой же статье определена компетенция данного органа.

Единицы величин, средства измерений и выполнение измерений

Статьи 6-8 Закона посвящены единицам величин и средствам и методикам выполнения измерений. В них указывается,

что в РФ допускаются к применению единицы величин СИ. Но указано, что правительством РФ могут быть допущены к применению также и внесистемные единицы величин.

В статье 9 указано, что измерения должны осуществляться в соответствии с аттестованными в установленном порядке методами выполнения измерений (МВИ)

Метрологические службы

Закон определяет состав и компетенцию Государственной метрологической службы и иные государственные службы ОЕИ (ст.10). Государственная метрологическая служба выполняет работы по ОЕИ в масштабах страны и включает:

- государственные научные метрологические центры (ВНИИМ, ВНИИФТРИ, СНИИМ, УНИИМ и др.);
- территориальные органы ГМС.

К иным государственным службам ОЕИ относятся:

- Государственная служба времени и частоты и определения параметров вращения Земли (ГСВЧ);
- Государственная служба стандартных образцов состава и свойств вещества и материалов (ГССО);
- Государственная служба стандартных справочных данных и физических константах и свойствах веществ и материалов (ГСССД).

Государственная метрологическая служба подчиняется по вертикали только Федеральному агентству по техническому регулированию и метрологии, в рамках которого она существует обособленно и независимо.

Метрологические службы государственных органов управления и юридических лиц (ст.11) создаются в необходимых случаях для выполнения работ по ОЕИ.

При выполнении работ в некоторых сферах деятельности в соответствии со ст.13 Закона (здравоохранение, охрана окружающей среды, обеспечение безопасности труда, торговые операции, оборона и др.) создания метрологических служб является обязательным.

6.3 Государственный метрологический контроль и надзор

В ст. 12 определены виды государственного метрологического контроля и надзора (ГМКиН): государственный метроло-

гический контроль (ГМК) и государственный метрологический надзор (ГМН).

Сферы распространения ГМКиН, которые осуществляются с целью проверки соблюдения метрологических правил и норм, указаны в ст.13 Закона. Все разрабатываемые, производимые и находящиеся в эксплуатации СИ делятся на две группы:

- применяемые в сферах распространения ГМКиН;
- не применяемые в сферах распространения ГМКиН.

Средства измерений первой группы могут применяться только после утверждения типа, проведения их первичной поверки и последующих периодических поверок в процессе эксплуатации. Для СИ второй группы надзор со стороны государства не проводится.

Государственный метрологический контроль (ГМК) включает:

- утверждение типа СИ;
- поверка СИ;
- лицензирование деятельности на право изготовления, ремонта, продажи и проката СИ.

Утверждение типа СИ – решение (уполномоченного на это государственного органа управления) о признании типа СИ законным для применения на основании их испытаний государственным научным метрологическим центром или другой организацией, аккредитованной на этот вид деятельности. Решение утверждается и удостоверяется сертификатом. Утвержденный тип СИ вносится в Государственный реестр СИ.

Поверка СИ – установление органом ГМС (или другим официально уполномоченным на то органом, организацией) пригодности СИ к применению на основании экспериментально определяемых метрологических характеристик и подтверждения их соответствия установленным обязательным требованиям.

Перечни групп СИ, подлежащих поверке, утверждаются в установленном порядке. Право поверки СИ может быть предоставлено аккредитованным метрологическим службам юридических лиц. Порядок аккредитации определяется Правительством РФ. Поверка осуществляется физическим лицом, аттестованным в качестве поверителя органом Государственной метрологической службы. Положительные результаты поверки СИ удостоверяются поверительным клеймом или свидетельством о поверке. Поверительное клеймо может наноситься как на приборы,

так и на сопроводительные документы на приборы (паспорта, технические описания и т.п.). Различают несколько видов поверки:

- первичная поверка, которой подвергаются СИ, изготовленные и отремонтированные в РФ или ввезенные по импорту;
- периодическая поверка, которой подлежат приборы, находящиеся в эксплуатации;
- внеочередная поверка проводится в некоторых случаях (повреждение поверительного клейма, ввод в эксплуатацию СИ после хранения и т.п.);
- инспекционная поверка – это поверка при осуществлении ГМН.

Лицензирование – выполняемая в обязательном порядке процедура выдачи лицензии на осуществление деятельности на какой-либо вид деятельности. Деятельность по изготовлению, ремонту, продаже и прокату СИ, применяемых в сферах распространения ГМКиН, может осуществляться юридическими и физическими лицами лишь при наличии лицензии. Основанием для выдачи лицензии служит заявление юридического или физического лица и положительные результаты проверки условий осуществления лицензируемого вида деятельности.

Государственный метрологический надзор (ГМН) осуществляется за:

- выпуском, состоянием и применением СИ;
- соблюдением метрологических правил и норм;
- количеством товаров, отчуждаемых при совершении торговых операций (переход материальных ценностей от одного лица к другому);
- за количеством фасованных товаров в упаковках любого вида при их фасовке и продаже.

Основная цель ГМН – защита интересов граждан и государства от отрицательных последствий, вызванных недостоверными результатами измерений. Функции ГМН возложены на органы Государственной метрологической службы. ГМКиН осуществляют должностные лица Госстандарта – государственные инспекторы по ОЕИ, права и обязанности которых изложены в ст. 20 Закона.

6.4 Калибровка СИ

Средства измерений, не подлежащие поверке, могут подвергаться калибровке.

Калибровка СИ – совокупность операций, устанавливающих соотношение между значением величины, полученным с помощью данного средства измерений и соответствующим значением величины, определенным с помощью эталона с целью определения действительных метрологических характеристик этого СИ.

Особенности калибровки:

- подвергаются СИ, не подлежащие ГМКиН;
- добровольная процедура;
- выполняется любой метрологической службой;
- необязательность (добровольность) аккредитации на право калибровки;
- следствие разгосударствления процессов контроля за исправностью СИ – отказ от всеобщей обязательности поверки СИ.

Калибровка может проводиться любой метрологической службой. Это добровольная процедура, однако для ее проведения необходимы определенные условия. Основное условие – прослеживание измерений, т.е. обязательная передача размера единицы от эталона к рабочему средству измерений.

Появление калибровки является следствием процесса разгосударствления процесса контроля за состоянием СИ, своего рода либерализация метрологического контроля.

В РФ создана **Российская система калибровки (РСК)**, в которую входят государственные научные метрологические центры, органы ГМС, метрологические службы юридических лиц, объединенные целью ОЕИ в сферах, не подлежащих ГМКиН.

РСК базируется на принципах:

- обязательность передачи размеров единиц от государственных эталонов к рабочим СИ;
- профессионализм и техническая компетентность;
- самоокупаемость.

6.5 Ответственность за нарушение законодательства по метрологии

В Законе предусмотрена **юридическая ответственность** за нарушение метрологических правил и норм (ст.25). Устанавливаются **меры пресечения или предупреждения** нарушений:

- запреты на применение и выпуск СИ;
- погашение поверительных клейм и аннулирование свидетельств

- о поверке;
- изъятие СИ из эксплуатации;
- выдача обязательных предписаний об устранении нарушений.

Это разновидность **административных взысканий**, которые применяют государственные инспекторы Госстандарта.

Наряду с этим устанавливаются **административная ответственность** в отношении должностных лиц, в частности, денежные штрафы от 5 до 100 минимальных размеров оплаты труда.

Гражданско-правовая ответственность наступает в ситуациях, когда причиняется имущественный или личный ущерб (возмещение ущерба).

Уголовная ответственность наступает, когда имеются признаки состава преступления, предусмотренные УК. К ним относятся: халатность, нарушение правил метрологии, выпуск или продажа товаров (услуг), не отвечающих требованиям безопасности.

Дисциплинарная ответственность определяется администрацией предприятия на основании Кодекса законов о труде.

6.6 Международные организации по метрологии

Обеспечение единства измерений является также и задачей различных международных организаций по метрологии. В качестве примера ниже кратко рассмотрены две наиболее крупные международные организации по метрологии.

Международная организация мер и весов (МОМВ) – межправительственная организация, в состав которой входит Международное бюро мер и весов (МБМВ), основной задачей которого является хранение, совершенствование и сличение национальных и международных эталонов, совершенствование метрической системы измерений и т.п. Например, принятие международной системы единиц (СИ), нового определения секунды и метра.

Международная организация законодательной метрологии (МОЗМ) учреждена в 1956 г., объединяет более 80 государств. Цель ее – разработка общих вопросов законодательной метрологии: установление классов точности СИ, порядок поверки и калибровки СИ, гармонизация методов сличения, поверок и аттестации эталонов, выработка оптимальных форм организации метрологических служб и т.п.

Решения МОЗМ носят рекомендательный характер. Россия отвечает в ней за определенные области метрологии -ведет два технических комитета (ТК): «Средства измерений ионизирующих излучений» и «Приборы для физико-химических измерений».

6.7 Метрологическое обеспечение радиационного контроля

Основные вопросы метрологического обеспечения радиационного контроля изложены в ГОСТ Р 8. -2001 Метрологическое обеспечение радиационного контроля. Основные положения.

Область применения – метрологическое обеспечение радиационных измерений с целью соблюдения принципов радиационной безопасности и требований нормативов, а также с целью наблюдения за состоянием и изменением радиационной обстановки.

Основные определения:

Радиационные измерения – измерения величин и параметров, характеризующих источники и поля ионизирующих излучений, а также радиационное облучение объектов (включая людей).

Радиационный контроль – радиационные измерения, выполняемые с целью определения степени соблюдения принципов радиационной безопасности, требований нормативов или с целью наблюдения за состоянием контролируемого объекта.

Метрологическое обеспечение радиационного контроля (МО РК) – установление и применение научных и организационных основ, технических средств, норм и правил, необходимых для получения достоверной измерительной информации о значениях радиационных характеристик контролируемых объектов.

Основные задачи МО РК:

- обеспечение единообразия применяемых при РК величин и их единиц и основных понятий;
- получение достоверных результатов РК с корректной оценкой неопределенности измерений;
- надлежащий контроль качества измерений при РК.

Основные величины в РК (приложение Б)

Средства измерений в РК:

- деление по функциональному назначению (для представления официальных результатов – группа А и поисковые – группа Б);
- использование нестандартизованных СИ и их МО;
- калибровка СИ группы Б;

- особенности поверки (в ограниченном диапазоне измерений и с корректировкой МХ);
- содержание свидетельства о поверке.

Методическое обеспечение РК включает:

- методики радиационного контроля (МРК);
- методики выполнения измерений радиационных параметров (МВИ).

Возможно объединение этих методик в методике выполнения измерений при РК (МВК).

Правила и процедуры контроля и поддержания качества измерений излагаются в «Руководстве по качеству».

6.8. Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ)

Состав и деятельность ГСИ регламентируется ГОСТ Р 8.000 2000 «государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ)». Ниже рассмотрены основные положения и структура указанного стандарта.

Основные определения

В разделе 2 ГОСТ приведены основные термины и сокращения, которые применяются в данном стандарте.

Общие положения

В разделе 3 указывается, что эта деятельность осуществляется в соответствии с Конституцией РФ, Законом «Об обеспечении единства измерений» и нормативными документами ГСИ. Установлены следующие уровни ГСИ: государственный, федеральных органов исполнительной власти, юридического лица. ГСИ состоит из следующих подсистем: правовая, техническая, организационная.

Цель ГСИ – создание общегосударственных правовых, нормативных, организационных и экономических условий для решения задач по ОЕИ.

Основные задачи ГСИ:

- научные исследования по воспроизведению и передачи размеров единиц;
- установление систем единиц, основных понятий и терминов метрологии;
- создание и совершенствование эталонов и систем передачи размеров единиц;
- осуществление ГМНиК;

- аккредитация метрологических служб.

Состав ГСИ:

ГСИ включает в себя следующие подсистемы:

Правовая подсистема – комплекс взаимосвязанных законодательных и подзаконных актов по ОЕИ

Техническая подсистема:

- совокупность эталонов единиц величин;
- совокупность стандартных образцов свойств вещества;
- совокупность исследовательских, эталонных, измерительных, поверочных лабораторий.

Организационная подсистема:

- государственная метрологическая служба;
- иные госслужбы ОЕИ;
- метрологические службы федеральных органов.

Часть 2. ТЕХНИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ

Система нормирования в области стандартизации и сертификации продукции, процессов производства и услуг в России подвергается в последнее время коренным, если не сказать революционным преобразованиям. Это связано с вступлением в действие с 1 июля 2003 г. Федерального закона РФ от 27 декабря 2002 г. № 184-ФЗ «О техническом регулировании» (далее – Закон). Следует отметить, что Закон носит не только технический характер, как это может показаться из его названия. Он имеет большое **социально-экономическое значение** так как устанавливает новые **правила регулирования** требований к продукции, процессам ее производства, к работам и услугам.

Можно отметить несколько **мотивов** принятия этого закона. Прежде всего – это дальнейшая **дебюрократизация экономики**, отказ от чрезмерного нормирования и мелочной **административной опеки** со стороны федеральных органов исполнительной власти, серьезное повышение **уровня правового регулирования деятельности**, связанной с оборотом продукции, выполнением работ и оказанием услуг.

Другой причиной появления Закона является предстоящее вступление России во **Всемирную торговую организацию (ВТО)** и необходимостью выполнения требований этой и других международных экономических организаций. Так, в Соглашении по

техническим барьерам в торговле указаны в качестве основных барьеров расхождение законодательств разных стран, различие стандартов и процедур проверки соответствия. При этом предусмотрено, что стандарты должны носить **рекомендательный характер**, что национальные стандарты в большей части должны соответствовать международным, а обязательные требования содержаться в технических регламентах.

Под **техническим регулированием** понимается **правовое регулирование** отношений в области:

1. разработки, принятия, применения и исполнения **обязательных требований** к продукции, процессам производства, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации (далее – **к продукции и процессам**);
2. установления и применения **на добровольной основе** требований к продукции, процессам производства, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации, **выполнению работ или оказанию услуг**;
3. **в области оценки соответствия**.

В соответствии с Законом можно выделить следующие **основные направления** деятельности по техническому регулированию:

- технические регламенты;
- стандартизация;
- подтверждение соответствия.

Закон не распространяется на сферу деятельности, связанной с функционированием **единой сети связи РФ**, на государственные **образовательные стандарты**, положения о **бухгалтерском учете**, на стандарты **эмиссии ценных бумаг** и правила **аудиторской деятельности**.

Объектами **обязательных требований** являются:

- продукция;
- процессы производства продукции (требования к ее изготовлению);
- правила эксплуатации продукции (потребления, применения);
- правила хранения, перевозки, реализации и утилизации продукции.

При этом необходимо отметить, что **продукцией** в Законе понимается результат деятельности, представленный в материально-вещественной форме и предназначенный для дальнейшего

использования в хозяйственных и иных целях. Это продукция производственного назначения (станки, машины, приборы и т.д.), товары народного потребления (в том числе энергоносители, вода и т.д.), здания и сооружения как общественного и государственного, так и индивидуального пользования.

Объекты добровольных требований те же, но добавлены **работами и услугами**. Т.е., если на продукцию и связанные с ней процессами распространяются как добровольные, так и обязательные требования, то на выполнение работ и оказание услуг принимаются только добровольные требования.

В Законе не приводится понятие «работа» и «услуга». Государственный стандарт ГОСТ Р 50646-94 определяет **«работу»** как материальную услугу, ее конечный результат выражается в материальной форме. К работе могут быть отнесены жилищно-коммунальные услуги, бытовые работы по ремонту и изготовлению изделий, услуги общественного питания, транспорта и др. Собственно же работами и услугами в понимании данного Закона являются **социально-культурные услуги**, результат которых не имеет материально-вещественной формы и не связан с продукцией. На такие услуги обязательные требования не устанавливаются.

К **основным принципам** технического регулирования относятся:

- применение **единых правил** установления требований к продукции и процессам, выполнению работ или оказанию услуг – для обеспечения **совместимости** требований и форм их изложения в технических регламентах и документах по стандартизации;
- соответствие технического регулирования **уровням развития** национальной экономики, материально-технической базы и науки и техники – для обеспечения возможности **практического применения** требований Закона;
- **независимости** органов по аккредитации и сертификации от изготовителей, продавцов, исполнителей и приобретателей – отсутствие организационной, административной, экономической, финансовой и любой другой формы зависимости;
- **единая система и правила** аккредитации;
- **единства правил и методов исследований и измерений** при обязательной оценке соответствия – для исключения возможных отрицательных последствий от недостоверных результатов

- измерений при нарушении единства измерений;
- единства применений требований технических регламентов независимо от видов или особенностей сделок;
- недопустимости **ограничений конкуренции** при осуществлении аккредитации и сертификации – подчеркивается **коммерческий характер** деятельности органов по сертификации и испытательных лабораторий и недопустимость **монополизации** деятельности со стороны каких-либо этих органов;
- недопустимости **совмещения** полномочий органа государственного контроля и органа сертификации – подчеркивается **принципиально различный характер** государственных органов контроля и органов по сертификации, функции которых могут выполнять лица и организации, осуществляющие предпринимательскую деятельность;
- недопустимости совмещения одним органом полномочий на аккредитацию и сертификацию – подчеркивается государственная функция аккредитации;
- недопустимости **внебюджетного финансирования** государственного контроля за соблюдением требований технических регламентов – обеспечивается **финансовая независимость** органов госконтроля для эффективности их деятельности.

Законодательство РФ о техническом регулировании состоит из Закона, принимаемых в соответствии с ним федеральных законов и иных нормативных правовых актов РФ. При этом федеральные органы исполнительной власти, в том числе и министерства, могут издавать в сфере технического регулирования акты только **рекомендательного характера**. Это относится и к вновь созданным Министерству промышленности и энергетики РФ и подведомственному ему Федеральному агентству по техническому регулированию и метрологии. Таким образом, законодательство о техническом регулировании относится только **к компетенции РФ**. Субъекты РФ не могут принимать нормативные правовые акты в этой области.

Исключение составляет техническое регулирование в отношении оборонной продукции (работ и услуг) и продукции (работ и услуг), сведения о которой составляют государственную тайну. В этой области в случае отсутствия технических регламентов обязательные требования к работам и услугам могут устанавливать федеральные органы исполнительной власти.

Необходимо отметить, что из-за революционного характера Закона, многие нормативные правовые акты РФ в части сферы действия Закона в той или иной мере **противоречат** его положениям. Это относится к некоторым положениям ГК, УК, КоАП, законах «О защите прав потребителей», «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» и др. Поэтому при применении этих правовых актов необходимо сравнивать их положения с соответствующими положениями Закона.

Так как все акты, принимаемые федеральными органами исполнительной власти по вопросам, регулируемым Законом, имеют только рекомендательный характер, то все ранее изданные ими нормативные правовые акты **утрачивают обязательность** со дня вступления в силу Закона. **Исключение** составляют только обязательные требования к продукции и связанным с ней процессам, установленные федеральными органами исполнительной власти, которые действуют до вступления в силу технических регламентов только в целях, соответствующих целям технических регламентов.

Глава 7. Технические регламенты

Технический регламент – документ, который 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).

7.1 Цели применения технических регламентов

Технические регламенты применяются 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.

Принятие технических регламентов в **иных целях** не допускается. Таким образом, целью принятия технических регламентов является установление обязательных требований к продукции и связанным с ней процессам, которые **обеспечивают**

безопасность жизни и здоровья людей, имущества субъектов права, окружающей среды, животных и растений. Эти требования сводятся в основном к установлению для продукции и процессов различных **норм и показателей** технического характера.

Другая цель – предупреждение действий, **вводящих в заблуждение** приобретателей – достигается установлением иных обязательных требований. Для достижения этой цели технические регламенты должны обеспечивать предоставление достоверной информации и исключать появление недостоверной информации. Обеспечение единства измерений является одной из мер, которая предупреждает введение потребителей в заблуждение вследствие недостоверных результатов измерений. Поэтому метрология, одной из задач которой является обеспечения единства измерений, должна входить в сферу технического регулирования, т.е. Закон предусматривает разработку **технических регламентов по ОЕИ**.

7.2 Содержание и применение технических регламентов

Технические регламенты устанавливают **минимально необходимые требования**, обеспечивающие:

- **безопасность** (излучений, механическую, пожарную, промышленную, термическую, химическую, биологическую, взрывобезопасность, электрическую, ядерную, радиационную);
- **электромагнитную совместимость** в части обеспечения безопасности работы приборов и оборудования;
- **единство измерений**.

Технический регламент должен содержать исчерпывающий перечень продукции и процессов, в отношении которых устанавливаются его требования. Содержащиеся в нем обязательные требования имеют **прямое действие** на всей территории РФ. Из этого следует, что исключается принятие какими-либо государственными органами РФ или ее субъектов нормативных актов по вопросам, решение которых должно быть содержанием технических регламентов.

Не включенные в технический регламент требования к продукции и процессам, правилам и формам оценки соответствия, требованиям к терминологии, упаковке, маркировке или этикеткам **не могут** носить обязательный характер.

Технический регламент должен содержать требования к

характеристикам продукции и процессам, но не должен содержать требования к **конструкции и исполнению**. В нем могут содержаться **специальные требования** с учетом степени риска причинения вреда, обеспечивающие защиту отдельных категорий граждан (инвалидов, несовершеннолетних, беременных женщин).

Технический регламент не может содержать требования к продукции, причиняющий **вред жизни или здоровью**, накапливаемый при длительном использовании этой продукции. Он может содержать требования, касающиеся информирования приобретателя о возможном вреде и о факторах, от которых он зависит.

Технические регламенты устанавливают также минимально необходимые **ветеринарно-санитарные и фитосанитарные меры** в отношении продукции, происходящей из отдельных стран и (или) мест, обеспечивающие биологическую безопасность.

Из всех видов технической совместимости (функциональной, геометрической, электрической, прочностной, программной, биологической и др.) в качестве предмета технических регламентов упоминается только электромагнитная совместимость. Отсутствие требований по некоторым видам технической совместимости может привести к трудностям в использовании некоторых видов продукции по их назначению. Поэтому установление требований по таким видам совместимости должно являться не только задачей национальных стандартов, как прописано в Законе, но и технических регламентов.

7.3 Виды технических регламентов

В РФ действуют **общие и специальные** технические регламенты. Обязательные требования к отдельным видам продукции и процессам определяются **совокупностью** требований общих и специальных технических регламентов.

Требования **общего** технического регламента **обязательны** для применения и соблюдения в отношении любых видов продукции и процессов. Эти регламенты применяются по вопросам:

- безопасной эксплуатации и утилизации машин и оборудования;
- безопасной эксплуатации зданий, сооружений, пожарной безопасности;
- биологической и экологической безопасности;

- электромагнитной совместимости;
- ядерной и радиационной безопасности.

Требования **специального** технического регламента учитывают технологические и иные особенности отдельных видов продукции и процессов. Они устанавливают требования только к тем отдельным видам продукции и процессам, в отношении которых цели Закона не обеспечиваются требованиями общих технических регламентов.

7.4 Порядок разработки и принятия технических регламентов

Технический регламент принимается **федеральным законом**. Разработчиком проекта технического регламента может быть **любое лицо**. О разработке проекта технического регламента должно быть опубликовано **уведомление** в печатном издании федерального органа исполнительной власти по техническому регулированию. Оно должно содержать:

- информацию о том, в отношении какой продукции или процесса будут устанавливаться разрабатываемые требования;
- краткое изложение цели и обоснование необходимости разработки;
- информацию о способе ознакомления с проектом;
- фамилию, имя, отчество и почтовый адрес разработчика проекта.

Проект технического регламента должен быть **доступен** заинтересованным лицам для ознакомления. Разработчик проводит **публичное обсуждение** проекта.

Предусмотрен следующий порядок **принятия** технического регламента. Субъект права законодательной инициативы вносит в Госдуму **проект федерального закона** о техническом регламенте, который направляется Госдумой в Правительство РФ. На проект федерального закона Правительство в течение шести месяцев направляет в Госдуму **отзыв** для принятия проекта закона в первом и последующих чтениях с учетом заключения экспертной комиссии.

Существует **особый порядок** разработки и принятия технических регламентов:

- в исключительных случаях **Президент РФ** вправе издать технический регламент своим **указом** без его публичного обсуждения;
- технический регламент может быть принят международным

договором, подлежащим ратификации. В таком случае он издается *постановлением Правительства РФ*.

7.5 Государственный контроль (надзор) за соблюдением требований технических регламентов

Органами государственного контроля за соблюдением требований технических регламентов контроля являются федеральные органы исполнительной власти, органы исполнительной власти субъектов РФ, подведомственные им государственные учреждения, уполномоченные на проведение контроля. Государственный контроль осуществляется *должност-ными лицами* этих органов, причем, не любыми должностными лицами, а *руководителями* (или их заместителями) государственных организаций.

Объектами государственного контроля являются продукция, процессы ее производства, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации. Предметом контроля – соблюдение требований технических регламентов на них. В отношении продукции государственный контроль осуществляется исключительно на стадии *обращения продукции*.

Органы государственного контроля вправе:

- требовать от изготовителя (продавца) *предъявления* декларации о соответствии или сертификата соответствия, подтверждающих соответствие продукции требованиям технических регламентов;
- *выдавать предписания* об устранении нарушений требований технических регламентов в установленный срок;
- принимать мотивированные решения *о запрете* передачи продукции и приостановлении процессов, если иными мерами невозможно устранить нарушения требований технических регламентов;
- приостанавливать или прекращать действие декларации о соответствии или сертификата соответствия;
- привлекать изготовителя к ответственности, предусмотренной законодательством РФ.

За *нарушение* требований технических регламентов и неисполнение предписаний и решений органа государственного контроля изготовитель несет ответственность в соответствии с законодательством РФ. В Законе установлены четыре *основания ответственности* контролируемых субъектов:

- **нарушение требований** технических регламентов;
- **неисполнение предписаний** и решений органа государственного контроля;
- **причинение вреда** жизни или здоровью граждан, имуществу, окружающей среде, жизни или здоровью животных и растений;
- **возникновение угрозы** причинения вреда.

Субъектами ответственности во всех случаях являются изготовитель, исполнитель, продавец. При нарушении требований к **продукции** наступает **гражданско-правовая ответственность**. Причем, определяющим является не сам факт нарушения, а его **последствия**, в частности, причинение вреда жизни или здоровью человека или имущественного ущерба. Реализуется ответственность путем **возмещения убытков и взыскания неустойки**. За нарушение требований к продукции может наступать и **уголовная ответственность** (ст. 238 УК РФ) в случае производства и обращения продукции, не отвечающей требованиям безопасности.

Субъектами ответственности по всем **процессам** являются исполнители. Основными требованиями к процессам должны обеспечивать их **безопасность** для людей и окружающей среды, **сохранность** продукции и имущества. За нарушение требований технических регламентов к производственным процессам, к эксплуатации продукции (оборудования, объектов строительства) возможна административная и уголовная ответственность.

В случае **причинения вреда** в результате несоответствия продукции требованиям технических регламентов изготовитель (исполнитель, продавец) обязан **возместить причиненный вред** и принять меры в целях недопущения причинения вреда впредь. Возмещение вреда регулируется ГК и Законом РФ «О защите прав потребителей». Изготовитель **освобождается от ответственности**, если докажет, что вред причинен вследствие **непреодолимой силы** (наводнение, землетрясение и т.п.) или нарушения потребителем правил использования, хранения или транспортировки товара.

Глава 8. Стандартизация

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 и услуг.

Деятельность по стандартизации весьма динамична, она распространяется на самые разные области деятельности и служит как для повышения их эффективности, так и для достижения более высокой конкурентоспособности на внутреннем и внешнем рынках и взаимопонимания с зарубежными партнерами и контрагентами. Особенно важна роль стандартизации в экономической сфере жизни общества, она должна не только соответствовать изменениям, происходящим там, но и опережать их, чтобы стандарты способствовали развитию производства, а не сдерживали его.

Деятельность по стандартизации проявляется в процессах разработки, опубликования и применения стандартов. Работа в области стандартизации регулируется Федеральным законом «О техническом регулировании» и рядом национальных стандартов, например, ГОСТ Р 1.0 — 2004 «Стандартизация в Российской Федерации. Основные положения».

Главным при определении правового статуса деятельности по стандартизации является **добровольный характер** применения национальных стандартов.

8.1 Цели стандартизации

Стандартизация осуществляется в целях:

- **повышения уровня безопасности** жизни и здоровья граждан, животных и растений, имущества, экологической безопасности, безопасности и содействия соблюдению требований технических регламентов;
- **повышения уровня безопасности объектов** с учетом риска возникновения чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера;
- **обеспечения** научно-технического прогресса, рационального использования ресурсов, государственных заказов, подтверждения соответствия продукции (работ, услуг), выполнения поставок, судебных решений;
- **повышения конкурентоспособности** продукции, работ и услуг;
- технической и информационной **совместимости**;
- **сопоставимости** результатов исследований и измерений;
- **взаимозаменяемости** продукции;

- **создания** систем классификации и кодирования технико-экономической и социальной информации, систем каталогизации продукции, систем обеспечения качества продукции, систем поиска и передачи данных;
- **содействия** проведения работ по унификации.

Одной из целей развития стандартизации в РФ является усиление степени прозрачности Государственной системы стандартизации (ГСС), что является одним из требований членства во Всемирной торговой организации (ВТО). Для вступления в ВТО требуется полная гармонизация методов регулирования внешнеэкономической деятельности с правилами этой организации. В области стандартизации - это приведение нормативных документов ГСС в соответствие с требованиями *Кодекса по стандартам*, главное требование которого состоит в том, чтобы нормативный документ по стандартизации не превратился в технический барьер в торговле.

Примером развития стандартизации в РФ в современных условиях является принятие рассмотренного выше закона о техническом регулировании, которым вводится новый обязательный нормативный документ – технический регламент.

8.2 Принципы стандартизации

- **добровольное** применение стандартов.
- максимальный **учет интересов** заинтересованных лиц.
- применение **международного стандарта** как **основы** разработки национального стандарта.
- недопустимость создания **препятствий** производству и обращению продукции.
- недопустимость установления стандартов, которые **противоречат** техническим регламентам;
- обеспечение условий для единообразного применения стандартов.

Необходимо отметить, что несмотря на добровольный характер применения стандартов работа по стандартизации является **функцией государства** и регулируется государством в лице соответствующих органов РФ.

Сохраняется **обязательность** соблюдения требований национальных стандартов, принятых до 1 июля 2003 г. в части (до

принятия соответствующих технических регламентов):

- защиты жизни и здоровья граждан, имущества (физических и юридических лиц, государственного или муниципального);
- охраны окружающей среды, жизни и здоровья животных и растений;
- предупреждения действий, вводящих в заблуждение приобретателей.

Должна обеспечиваться **открытость** процессов разработки национальных стандартов на всех стадиях, от планирования разработки до принятия стандарта.

Утверждаться национальные стандарты должны при отсутствии серьезных возражений по существенным вопросам у квалифицированного большинства сторон, т.е. при общем согласии (*консенсусе*).

8.3 Организация работ по стандартизации

Организацию работ по стандартизации осуществляет **национальный орган** по стандартизации РФ. Эти функции возложены Правительством РФ на **Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии** (Ростехрегулирование), которое в настоящее время входит в Министерство промышленности и энергетики. В структуре Ростехрегулирования существуют подразделения: 19 НИИ, 13 опытных заводов, Издательство стандартов, 2 типографии, 3 учебных заведения, более 100 территориальных центров (ЦСМ). Оно располагает информационным фондом, в котором хранятся около 22 тыс. стандартов РФ и стран СНГ, более 30 тыс. международных стандартов, более 250 тыс. национальных стандартов зарубежных стран.

Издательство стандартов ежегодно выпускает около 2000 наименований печатной продукции: НД, журналов и приложений к ним.

Функции национального органа по стандартизации:

- утверждение национальных стандартов;
- принятие программы разработки стандартов;
- организация экспертизы проектов стандартов;
- учет национальных стандартов и других документов по стандартизации;
- создание технических комитетов по стандартизации и координацию их деятельности;

- представление РФ в международных организациях по стандартизации.

Работу по организации и разработке национальных стандартов, их согласование и экспертизу проводят **технические комитеты по стандартизации**. При этом непосредственными разработчиками стандарта может быть любое лицо или рабочая группа, состоящая из представителей заинтересованных сторон.

В **состав технических комитетов** по стандартизации могут входить на паритетных началах представители федеральных органов исполнительной власти, научных организаций, общественных объединений предпринимателей и потребителей, саморегулируемых организаций. Научно-технической базой ТК обычно служат предприятия или организации, деятельность которых соответствует специализации технического комитета. ТК являются постоянными рабочими органами по стандартизации.

8.4 Документы в области стандартизации

В процессе проведения работ по стандартизации вырабатываются правила, нормы, требования, касающиеся различных объектов стандартизации, которые оформляются в виде нормативных документов (НД) той или разновидности. Основным видом документов является стандарт.

Стандарт – документ, в котором в целях добровольного многократного использования устанавливаются характеристики продукции, правила осуществления и характеристики процессов производства, выполнения работ или оказания услуг. Стандарт также может содержать требования к терминологии, символике, упаковке, маркировке или этикеткам и правилам их нанесения.

К **документам** в области стандартизации, используемым на территории РФ, относятся:

- **национальные стандарты;**
- **национальные военные стандарты;**
- **межгосударственные стандарты**, введенные в действие в РФ;
- **правила** стандартизации, **нормы** и **рекомендации** в области стандартизации;
- **общероссийские классификаторы** технико-экономической и социальной информации, применяемые в установленном порядке;
- **стандарты организаций.**

Название «национальный стандарт», в отличие от используемого ранее «государственный стандарт», отражает его негосударственный (необязательный) статус, но указывает на возможность его применения на территории РФ.

Национальный стандарт применяют добровольно, после чего все его требования становятся **обязательными для соблюдения**. Это следует из того, что Закон, излагая принципы стандартизации, указывает на добровольность применения стандартов, ничего не говоря о добровольности применения других документов в области стандартизации. Из этого следует, что раз уж принято решение о применении стандарта, то правила его применения становятся обязательными. В противном случае будет дезорганизована вся работа по применению стандартов. Но в случае нарушения правил стандартизации никакие **меры ответственности** перед государством не могут быть установлены и применены.

Обозначение национального стандарта состоит из индекса «ГОСТ Р», регистрационного номера и отделенных от него четырех цифр года утверждения (принятия) стандарта. Например, ГОСТ Р—2000. Регистрационные номера вновь разработанным стандартам присваивают в порядке возрастания номеров по мере их регистрации. При отмене стандарта его номер другому стандарту не присваивают, за исключением его пересмотра или принятия взамен другого стандарта.

Если несколько стандартов имеют **общий объект** стандартизации, то этим стандартам присваивают общий регистрационный номер и отделенный от него точкой дополнительный номер для каждого отдельного стандарта. При этом стандарту, устанавливающему общие (основные) требования, присваивают нулевой дополнительный номер (см. пример в начале раздела 3).

Если стандарт входит в **систему общетехнических или организационно методических национальных стандартов** РФ, то в обозначении стандарта включают одно-, двухразрядный **код системы стандартов**, отделенный от остальной цифровой части обозначения точкой. Например, стандарты по **метеорологии имеют код 8**: ГОСТ Р 8.417—2002 «ГСИ. Единицы величин» или ГОСТ Р 22.10.01-2001.

На **титульном листе стандарта** приводятся следующие данные: полное наименование национального органа РФ стандартизации и его логотип, обозначение стандарта, его статус «Националь-

ный стандарт Российской Федерации», наименование стандарта и выходные данные об издательстве.

Национальные стандарты и общероссийские классификаторы, в т.ч. правила их разработки и применения, представляют собой **национальную систему стандартизации**.

Правила (ПР) и рекомендации (Р) по стандартизации относятся к нормативным документам **методического характера** и могут касаться порядка согласования нормативных документов, создания служб по стандартизации на предприятиях и других вопросов организационного характера.

Общероссийские классификаторы – нормативные документы, распределяющие технико-экономическую и социальную информацию в соответствии с ее **классификацией** (классами, группами, видами и др.) и являющиеся **обязательными** для применения при создании государственных информационных систем и ресурсов.

Порядок их разработки, принятия введения в действие и ведения и применения устанавливается Правительством РФ.

В связи с развитием **информационных технологий** особую актуальность приобрели методы классификации и кодирования информации. Рыночные отношения в экономике требуют существенной модернизации действующих в РФ до последнего времени классификаторов и создания новых. Общероссийские классификаторы должны решить как проблемы согласованности межведомственных потоков информации, так и обеспечить сопоставимость классификаторов различных федеральных органов управления и международных организаций.

В РФ создается **Единая система классификации и кодирования** технико-экономической и социальной информации (ЕСКК), составляющими частями которой являются общероссийские классификаторы, средства их ведения, нормативные и методические документы по их разработке, ведению и применению.

Объектами классификации являются: статистическая информация, макроэкономическая финансовая и правоохранительная деятельность, банковское дело, стандартизация, производство продукции, предоставление услуг и др. Основное предназначение классификаций – обеспечение информационной совместимости во всех областях деятельности.

В РФ действует более 20 общероссийских классификаторов. Например, Общероссийский классификатор стандартов (ОКС),

который создан на основе прямого применения Международного классификатора стандартов ИСО.

Национальные стандарты и общероссийские классификаторы технико-экономической и социальной информации, в том числе правила их разработки и применения, представляют собой **национальную систему стандартизации**.

Стандарты организаций, в т.ч. коммерческих, научных, общественных и других, могут разрабатываться и утверждаться ими самостоятельно исходя из необходимости применения этих стандартов: для целей стандартизации (см. выше), для совершенствования производства и обеспечения качества продукции, выполнения работ и оказания услуг, использование полученных результатов, измерений и разработок.

Стандарты организаций являются **обязательными** только для работников этих организаций.

Порядок разработки, утверждения, учета и отмены стандартов организаций устанавливается ими самостоятельно. Проект стандарта организации может представляться разработчиком в ТК по стандартизации для экспертизы данного проекта.

Стандарты организаций не являются элементами национальной системы стандартизации.

8.5 Виды стандартов

В зависимости от объекта и аспекта стандартизации, а также содержания требований разрабатываются стандарты следующих **видов**:

- стандарты на продукцию;
- стандарты на процессы производства, эксплуатации и т.п.;
- стандарты на услуги;
- стандарты основополагающие (организационно-методические и общетехнические);
- стандарты на термины и определения;
- стандарты на методы контроля (испытаний, измерений, анализа).

Основополагающие стандарты устанавливают общие организационно-методические положения для определенной области деятельности, а также общетехнические требования (нормы и правила), обеспечивающие:

- взаимопонимание, совместимость и взаимозаменяемость;

- техническое единство и взаимосвязь различных областей науки, техники и производства в процессах создания и использования продукции;
- охрану окружающей среды;
- безопасность здоровья людей и имущества и другие общетехнические требования, обеспечивающие интересы национальной экономики и безопасности.

8.6 Применение документов в области стандартизации

Документы в области стандартизации применяют федеральные органы исполнительной власти, субъекты хозяйственной деятельности на всех стадиях производства и оборота продукции, при выполнении работ и оказании услуг, при разработке технической документации, в том числе *технических условий*.

Документы национальной системы стандартизации, международные стандарты, правила стандартизации, нормы стандартизации и рекомендации по стандартизации, национальные стандарты других стран, информация о международных договорах в области стандартизации и подтверждениях соответствия составляют **Федеральный информационный фонд технических регламентов и стандартов**. Он является государственным информационным ресурсом.

В РФ создается и функционирует **Единая информационная система** для обеспечения заинтересованных лиц информацией о документах, входящих в состав упомянутого фонда. Заинтересованным лицам обеспечивается свободный доступ к создаваемым информационным ресурсам.

8.7 Международная стандартизация

Основными международными организациями, осуществляющими деятельность в области международной стандартизации, являются ИСО и МЭК.

1. Международная организация по стандартизации ISO (ИСО)

Создана в 1946 г., аббревиатура использована от греческого *isos* – равный, которая звучит одинаково на всех языках. ИСО занимается стандартизацией во всех областях, кроме электротехники и электроники. В ИСО входят 120 стран, Россию представляет Госстандарт РФ в качестве комитета – члена ИСО. Состоит организация из руководящих и рабочих органов.

Руководящие органы: Генеральная ассамблея, Совет, Техническое руководящее бюро.

Рабочие органы – технические комитеты (ТК), подкомитеты (ПК), технические консультативные группы (ТКГ).

В настоящее время международную стандартизацию в рамках ИСО проводят более 2800 рабочих органов, в том числе 185 ТК, 640 ПК. За Россией закреплено 10 ТК и 31 ПК.

Задачи ИСО – содействовать развитию стандартизации и смежных видов деятельности с целью обеспечения международного обмена товарами и услугами, а также развитию сотрудничества в интеллектуальной, научно-технической и экономической областях.

Основные объекты стандартизации: машиностроение, химия, руды и металлы, информационная техника, строительство, медицина и здравоохранение, окружающая среда, системы обеспечения качества.

Результатом работы ИСО является разработка и издание международных стандартов, которую ведут технические комитеты и рабочие группы по видам деятельности. Существует более 10 тысяч стандартов ИСО, ежегодно принимается 500-600 стандартов. Они не имеют статуса обязательных документов. В РФ применяются **более половины** стандартов ИСО.

Стандарты ИСО представляют собой тщательно отработанный вариант технических требований к продукции (услугам), что существенно облегчает обмен товарами, услугами и идеями между странами. Стандарты ИСО не являются обязательными для всех стран участниц. Лишь около 20 % стандартов ИСО включают требования к конкретной продукции. Основная масса НД касается требований безопасности, взаимозаменяемости, технической совместимости, методов испытаний продукции.

2. Международная электротехническая комиссия (МЭК)

Создана в 1906 г. и ее основная цель – содействие международному сотрудничеству по стандартизации в области электротехники, электроники, радиосвязи, приборостроения путем разработки международных стандартов и других документов.

Представительство каждой страны в МЭК облечено в форму национального комитета. Членами МЭК являются 40 национальных комитетов, представляющих 80% населения Земли. Официальные языки МЭК – английский, французский и русский.

Структура технических органов МЭК, разрабатывающих международные стандарты, аналогична структуре ИСО – это технические комитеты (ТК), подкомитеты (ПК) и рабочие группы (РГ). В работе каждого ТК участвуют 15-25 стран. Россия ведет шесть секретариатов ТК и ПК.

Стандарты МЭК можно разделить на *два вида стандартов: общетехнические* (терминология, стандартные напряжения и частоты, виды испытаний и т.п.) и *технические требования* к конкретной продукции (этот вид стандартов охватывает диапазон от бытовых электроприборов до спутников).

Принято более 2 тыс. стандартов МЭК, они более *конкретны*, чем стандарты ИСО, и более пригодны для прямого применения. Большое значение МЭК придает разработке *стандартов на безопасность* – главной целью стандартизации в области безопасности является поиск защиты от различных видов опасности. В сферу деятельности МЭК входят: травматическая опасность, опасность поражения током, взрывоопасность, опасность излучений оборудования, в т.ч. и от ионизирующих излучений, биологическая опасность и др.

Процедура разработки стандартов МЭК аналогична той, что и в ИСО. В среднем над стандартом работают 3-4 года. МЭК сотрудничает с ИСО, разрабатывая совместно Руководства ИСО/МЭК и директивы ИСО/МЭК по актуальным вопросам стандартизации.

Кроме ИСО и МЭК в международной стандартизации участвуют, в меньшем объеме, и другие международные организации. Такие, как Европейская экономическая комиссия ООН (ЕЭК ООН), Продовольственная и сельскохозяйственная организация ООН (ФАО), Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) и др.

К региональным организациям по стандартизации относятся Европейский комитет по стандартам (СЕН), Межскандинавская организация по стандартизации (ИНСТА), Панамериканский комитет стандартов (КОПАНТ) и др.

В СНГ для работы в по стандартизации, метрологии и сертификации создан в 1992 г. Межгосударственный совет стран – участниц СНГ (МГС), в котором представлены все национальные организации по стандартизации этих государств. МГС принимает межгосударственные стандарты.

В 1995 г Совет ИСО признал МГС региональной организацией по стандартизации в странах СНГ.

8.8 Нормативные документы в области измерения ионизирующих излучений

В области измерений ионизирующих излучений в настоящее время принято более 200 стандартов и других НД. В первую очередь это стандарты на эталоны единиц, работа над которыми началась еще в 20-х годах. В настоящее время действует 14 государственных эталонов единиц измерения ионизирующих излучений, созданных во «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева» и во ВНИИФТРИ. Они являются основой поддержания единства измерений характеристик полей излучения и их взаимодействия с веществом.

Кроме того, существует большое количество стандартов на терминологию, общие технические требования на СИ, на методы и средства поверки СИ. Ниже приведены примеры таких стандартов.

Терминология:

- ГОСТ 15484-81 Излучения ионизирующие и их измерения. Термины и определения.
- ГОСТ 14105-76 Детекторы ионизирующих излучений. Термины и определения.
- ГОСТ 20441-75 Приборы дозиметрические. Основные параметры. Термины и определения.

ГОСТы на эталоны единиц физических единиц и поверочные схемы. Около 20 стандартов. Примеры:

- ГОСТ 8.347-79 Государственный первичный эталон и общесоюзная поверочная схема для средств измерений мощности поглощенной и эквивалентной доз нейтронного излучения.
- ГОСТ 8.031-82 Государственный первичный эталон и поверочная схема для средств измерений потока и плотности потока нейтронов.

ГОСТы на общие технические требования и методы испытаний СИ. Примеры:

- ГОСТ 29074-91 Аппаратура контроля радиационной обстановки. Общие требования
- ГОСТ 25935-83 Приборы дозиметрические. Методы измерения основных параметров.
- ГОСТ Р МЭК 1066-93 Системы дозиметрические термолюминесцентные для индивидуального контроля и

мониторинга окружающей среды. Общие технические требования и методы испытаний.

ГОСТы и Методические указания на методы и средства поверки.

Примеры:

- ГОСТ 8.355-79 Радиометры нейтронов. Методы и средства поверки.
- ГОСТ 8.041-84 Радиометры загрязненности поверхностей альфа-активными веществами.

8.9 Классификация стандартов

Классификация стандартов имеет большое значение для работы в области стандартизации, в том числе при поиске необходимых стандартов в той или иной области деятельности. В СССР действовала довольно хорошая система классификации стандартов, которая в настоящее время заменяется системой классификации стандартов, соответствующей Международному классификатору стандартов, принятому ИСО. В качестве примера ниже приведены две системы классификации стандартов – основанная на **Классификаторе государственных стандартов СССР (КГС)** и пока еще действующая и на основе **классификатора ИСО**.

8.9.1 Классификатор (КГС) состоит из 19 разделов, каждый из которых делится на классы и группы.

Основные деления классификатора следующие.

Раздел А. Горное дело. Полезные ископаемые

- « Б. Нефтяные продукты
- « В. Металлы и металлические изделия
- « Г. Машины, оборудование, инструмент
- « Д. Транспортные средства и тара
- « Е. Энергетическое и электротехническое оборудование
- « Ж. Строительство и стройматериалы
- « И. Силикатно-керамические и углеродные материалы и изделия
- « К. Лесоматериалы. Изделия из древесины, Бумага. Картон.
- « Л. Химические продукты
- « М. Текстильные и кожевенные материалы и изделия
- « Н. Пищевые и вкусовые продукты
- « П. Измерительные приборы, средства автоматизации и выч. техники
- « Р. Здравоохранение,

- « С. Сельское и лесное хозяйство
- « Т. Общетехнические и организационно-методические стандарты
- « У. Изделия культурно-бытового назначения
- « Ф. Атомная техника
- « Э. Электронная техника и связь

В качестве примера деления стандартов по классам и группам ниже рассматривается такой важный раздел классификатора, как общетехнические и организационно-методические стандарты.

Раздел Т. Общетехнические и организационно-методические стандарты. Раздел состоит из 10 классов, примеры которых представлены ниже.

Классы

- класс Т0. Общетехнические и метрологические термины, обозначения и величины. Этот класс включает 4 группы. Например, такие, как Т00. Общетехнические термины, обозначения и величины, Т01. Метрологические термины, Т02 Научно-технические термины;
- класс Т1. Математика, включает 10 групп;
- класс Т2. Астрономия, включает 5 групп;
-
- класс Т8. Государственная система обеспечения единства измерений, включает 5 групп и 8 подгрупп:

Группы

- Т80. Основные положения;
- Т81. Государственные испытания СИ;
- Т84. Государственные эталоны единиц физических величин и поверочные схемы;
- Т86. ГСИ. Методики выполнения измерений;
- Т88. Методы и средства поверки СИ:

Подгруппы

- Т88.1. Приборы для измерения давления, объема, расхода;
-
- Т88.8. Приборы для измерения ионизирующих излучений.

Другой пример раздела классификатора – стандарты по атомной технике.

Раздел Ф. Атомная техника

Раздел состоит из 8 классов, примеры которых приводятся ниже.

Классы

- класс Ф0. Общие правила и нормы по атомной технике (5 групп);
- класс Ф1. Источники ионизирующих излучений (9 групп);
- класс Ф2. Приборы для измерения ионизирующих излучений.

Класс состоит из 10 групп, примеры которых следующие:

Группы

- Ф20. Классификация, номенклатура и общие нормы;
- Ф21. Дозиметрические приборы;
- Ф22. Радиометрические приборы;
-
- Ф27. Блоки детектирования и детекторы ионизирующих излучений;
-
- Ф29. Методы испытаний, градуирования и контроля.

8.9.2 *Общероссийский классификатор стандартов (МК 001-96)*

Общероссийский классификатор стандартов (ОКС) разработан ВНИИ классификации, терминологии и информации по стандартизации и качеству. Он представляет собой полный текст Международного классификатора стандартов (МКС), принятого ИСО.

ОКС входит в состав Единой системы классификации и кодирования технико-экономической и социальной информации (ЕСКК) РФ. Классификатор предназначен для использования при построении каталогов, указателей, выборочных перечней, библиографических материалов по международным, межгосударственным и национальным стандартам и другим нормативным и техническим документам.

Объектами классификации ОКС являются стандарты и другие нормативные и технические документы.

Классификатор представляет собой иерархическую трехступенчатую классификацию с цифровым алфавитом кода классификационных группировок и имеет следующую структуру:

XX	XXX	XX
раздел	группа	подгруппа

На первой ступени (раздел) классифицируются предметные области стандартизации, имеющие дальнейшее деление на второй и третьей ступенях классификации (группа, подгруппа). Раздел классифицируется двузначным цифровым кодом.

Код группы состоит из кода предметной области и трехзначного цифрового кода группы, разделенных точкой.

Код подгруппы состоит из кода группы и собственного двузначного кода, разделенных точкой. Например:

31	Электроника
31.060	Конденсаторы
31.060.70	Силовые конденсаторы

Примеры кодов некоторых групп стандартов:

01	Общие положения
01.040	Словари
01.40.17	Метрология и измерения. Физические явления

(Словари)

01.40.75	Добыча и переработка нефти, газа и смежные производства (Словари)
----------	---

01.060	Величины и единицы измерения (Словари)
--------	--

01.120	Стандартизация. Общие правила
--------	-------------------------------

8.9.3 Указатели стандартов

Указатели действующих стандартов с 2001 г. составляются по кодам классификатора стандартов. Все сведения в указателе представлены в 4-х томах: 1,2 3 тома – стандарты (разделы 01–97), 4-й том – обозначения стандартов, обозначения классификаторов, обозначения стандартов ИСО и МЭК и др.

Все действующие стандарты размещены по кодам. В 4-м томе указаны также группы в соответствии с Классификатором государственных стандартов.

Глава 9. Подтверждение соответствия

9.1 Понятие подтверждения соответствия

Под **подтверждением соответствия** понимается **документальное удостоверение** соответствия продукции или иных объектов и процессов производства, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации, выполнения работ или оказания услуг требованиям технических регламентов, положениям стандартов или условиям договоров.

Подтверждение соответствия является одной из форм **оценки соответствия**, под которым понимается **прямое или косвенное** определение соответствия требований, предъявляемых к объекту. Другой формой оценки соответствия является, например,

государственный контроль (надзор). Смыслом и целью всех этих форм оценки соответствия является установление соответствия объекта предъявляемым требованиям. Но способы и методы проведения оценки отличаются для разных форм оценки соответствия, также различны органы, проводящие оценку, и объекты оценки.

Другими **целями** подтверждения соответствия являются:

- содействие приобретателям в **компетентном выборе** продукции, работ, услуг;
- повышения **конкурентоспособности** продукции, работ и услуг на российском и международном рынках;
- создания условий для обеспечения **свободного перемещения товаров** по территории РФ, а также для осуществления международного экономического, научно-технического **сотрудничества и международной торговли**.

Указанные цели являются общими для всех объектов технического регулирования и направлены на то, чтобы придать потребителям продукции, работ и услуг уверенность в соответствии их показателей требованиям документов, которые указываются изготовителями, продавцами и исполнителями.

Работа по оценке соответствия начинала развиваться в РФ, а до этого в Советском Союзе еще с конца 70-х годов прошлого столетия (тогда она имела общее название – **сертификация**). С начала 90-х годов в РФ сформировалась нормативная и техническая база в этой области деятельности, которая основывалась на законах «О защите прав потребителей» и «О сертификации продукции и услуг». Следует отметить, что устанавливаемые ФЗ «О техническом регулировании» правила подтверждения соответствия во многом опираются на разработанные ранее в соответствии с упомянутыми законами нормы.

9. 2 Принципы подтверждения соответствия

Подтверждение соответствия осуществляется на основе следующих основных **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;

- недопустимости **принуждения** к добровольному подтверждению соответствия, в том числе в определенной системе добровольной сертификации;
- установления **форм и схем** обязательного подтверждения соответствия в отношении определенных видов продукции в соответствующем техническом регламенте;
- **защиты** имущественных интересов заявителей, соблюдения коммерческой тайны при осуществлении подтверждения соответствия;
- недопустимости **подмены** обязательного подтверждения соответствия добровольной сертификацией;
- уменьшения сроков обязательного подтверждения соответствия и затрат заявителя.

Прежде всего в указанных принципах подтверждения соответствия необходимо отметить четкое **разделение** подтверждения соответствия на **обязательное и добровольное**. Причем, обязательное подтверждение соответствия осуществляется только к объектам, требования к которым установлены в техническом регламенте.

Другим важным моментом является установление **перечня форм и схем** обязательного подтверждения соответствия для определенных видов продукции в технических регламентах. Ранее такие формы и схемы устанавливались в документах, утверждаемых федеральным органом исполнительной власти (Правительством РФ и Госстандартом соответственно). Как следует из положений Закона, решение этих вопросов **упростилось** и поднялось на **законодательный уровень**.

Не менее важным является принцип **уменьшения затрат** заявителя, т.к. практика работ по сертификации в части стоимости этих работ вызвала многочисленные нарекания заявителей. Имеет значение и принцип **соблюдения коммерческой тайны** заявителя, нарушение которого может причинить ему немалый ущерб. Оба эти принципа являются частями более общего принципа **не причинения материального ущерба** заявителю в результате подтверждения соответствия.

9.3 Формы подтверждения соответствия

Подтверждение соответствия на территории РФ может носить **добровольный или обязательный характер**.

Добровольное подтверждение соответствия имеет только одну форму – **добровольную сертификацию**.

Сертификация – форма осуществляемого органом по сертификации подтверждения соответствия объектов требованиям технических регламентов, положениям стандартов или условиям договоров. «Сертификация» в переводе с латыни означает «сделано верно». Чтобы знать, что продукт сделан верно, нужно иметь информацию о том, каким требованиям продукт должен соответствовать и каким образом получить доказательство этого соответствия.

Обязательное подтверждение соответствия осуществляется **в двух формах**:

- принятия декларации о соответствии (далее **декларирование соответствия**);
- **обязательной сертификации**.

9.4 Добровольное подтверждение соответствия

Порядок применения добровольного подтверждения соответствия определяется системой добровольной сертификации по правилам, устанавливаемым Законом.

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. Следует отметить, что в данный перечень не включены технические условия (ТУ), рецептуры и другие технические документы, которые прежде фигурировали в законодательстве.

Объектами добровольного подтверждения соответствия являются продукция производственно-технического или социально-бытового назначения, процессы, работы и услуги (материальные или нематериальные), а также иные объекты, в отношении которых устанавливаются требования, например, системы менеджмента качества предприятий или персонал в различных областях деятельности.

Работу по сертификации выполняет орган по сертификации. **Орган по сертификации** – юридическое лицо или индивидуальный предприниматель, аккредитованное в установленном порядке для выполнения работ по сертификации. Он осуществляет

подтверждение соответствия, выдает **сертификаты соответствия**, предоставляет заявителям право на применение **знака соответствия**, приостанавливает или прекращает действие выданных им сертификатов соответствия.

Сертификат соответствия – документ, удостоверяющий соответствие объекта требованиям технических регламентов, положениям стандартов и условиям договоров. В данном случае речь идет о соответствии положениям стандартов и условиям договоров. Следует отметить, что Закон не содержит никаких предписаний о **форме и содержании** сертификата соответствия или о порядке их установления. Они устанавливаются или постановлением Правительства РФ, или системой добровольной сертификации по рекомендации уполномоченного органа исполнительной власти.

Основания для **приостановления или прекращения** действия сертификата соответствия в Законе не указаны. Ими могут быть, например, нарушения правил данной системы добровольной сертификации или условий договора о проведении сертификации. Конкретные условия данной процедуры должны быть определены в правилах системы добровольной сертификации.

Объекты сертификации могут маркироваться знаком добровольной системы сертификации — знаком соответствия. **Знак соответствия — обозначение**, служащее для информирования приобретателей о соответствии объекта сертификации требованиям **системы добровольной сертификации** или национальному стандарту. Порядок применения такого знака устанавливается правилами соответствующей системы добровольной сертификации. Незаконное применение знака соответствия фактически является обманом приобретателей и может повлечь административную ответственность.

Сертификация осуществляется в той или иной системе сертификации. **Система сертификации** – совокупность правил выполнения работ по сертификации, ее участников и правил функционирования системы сертификации в целом. Система добровольной сертификации может быть создана юридическим лицом и (или) индивидуальным предпринимателем, которые устанавливают **перечень объектов**, подлежащих сертификации, их характеристики, **правила** выполнения работ и **порядок их оплаты**, определяет участников данной системы. Система может быть

зарегистрирована федеральным органом исполнительной власти по техническому регулированию (Ростехрегулированием), который ведет **единый реестр** зарегистрированных систем добровольной сертификации. Так, например, в 1998 г. в РФ было зарегистрировано 83 системы добровольной сертификации.

Для **регистрации системы** добровольной сертификации в федеральный орган исполнительной власти по техническому регулированию представляются:

- свидетельство о государственной регистрации юридического лица или предпринимателя;
- правила функционирования системы сертификации;
- изображение знака соответствия и порядок его применения;
- документ об оплате регистрации.

Сертификация проводится в соответствии с установленными в системе сертификации схемами. **Схема сертификации** – это состав и последовательность действий третьей стороны при оценке соответствия. В каждой системе сертификации может быть несколько схем. Каждая конкретная схема должна учитывать особенности производства, испытаний или поставки, требуемый уровень доказательности, объем работ и затраты заявителя. Так, схема может предусматривать как проведение испытаний типового образца продукции, так и последующий инспекционный контроль за сертифицированной продукцией. Кроме того, может быть предусмотрен и анализ состояния производства.

9.5 Обязательное подтверждение соответствия

Обязательное подтверждение соответствия проводится **только** в случаях, установленных соответствующим техническим регламентом, и **исключительно** на соответствие требованиям технических регламентов.

Объектом обязательного подтверждения соответствия может быть **только продукция**, выпускаемая в обращение на территории РФ. При этом следует отметить, что продукция, изготовленная на предприятии и используемая только на нем, например, составные части или узлы конечной продукции, не подлежит обязательному подтверждению соответствия. Но если она поступает к покупателю в качестве готового изделия, например, в качестве запасных частей, она подлежит обязательному подтверждению соответствия.

Форма и схемы обязательного подтверждения соответствия

могут устанавливаться только техническим регламентом с учетом степени риска недостижения целей технических регламентов.

Обязательное подтверждение соответствия осуществляется в формах **декларирования соответствия** или **обязательной сертификации**.

9.5.1 Декларирование соответствия требованиям технических регламентов 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 (далее – **третья сторона**).

Схема декларирования с участием третьей стороны устанавливается в техническом регламенте в том случае, если собственные доказательства заявителя являются недостаточными для достоверного подтверждения соответствия или важности продукции.

Заявителем, осуществляющим обязательное подтверждение соответствия, может быть юридическое лицо или физическое лицо в качестве индивидуального предпринимателя, либо являющееся изготовителем или продавцом. Круг заявителей устанавливается соответствующим техническим регламентом. Ими могут быть, например, изготовители или продавцы продукции, но не могут быть исполнители работ, т.к. обязательному подтверждению соответствия может подвергаться только продукция.

При декларировании соответствия на основании собственных доказательств заявитель **самостоятельно** формирует собственные материалы в целях подтверждения соответствия продукции требованиям технических регламентов. В качестве **доказательственных материалов** используются техническая документация, результаты собственных исследований и измерений, другие документы. Состав этих материалов определяется техническим регламентом.

Результатом декларирования соответствия является **декларация о соответствии** – документ, удостоверяющий соответствие выпускаемой в обращение продукции требованиям технических регламентов. Содержание декларации непосредственно определено

Законом.

Декларация о соответствии оформляется на русском языке и **должна содержать**:

- наименование и местонахождение заявителя и изготовителя;
- информацию об объекте подтверждения соответствия;
- наименование технического регламента, на соответствие требований которого подтверждается продукция;
- указание на схему декларирования соответствия;
- заявление заявителя о безопасности продукции;
- сведения о проведенных исследованиях и измерениях, сертификате системы качества;
- срок действия декларации о соответствии;
- иные предусмотренные техническим регламентом сведения.

Новым в содержании декларации является заявление заявителя о безопасности продукции при ее использовании по прямому назначению.

Оформленная декларация о соответствии подлежит **регистрации** федеральным органом исполнительной власти по техническому регулированию. Этим Закон повысил уровень регистрации (ранее он проводился в органе по сертификации). Декларация приобретает юридическую силу только после регистрации.

9.5.2 Обязательная сертификация осуществляется органом по сертификации на основании **договора** с заявителем. Схемы сертификации при этом устанавливаются соответствующим техническим регламентом. Закон не предусматривает создания систем обязательной сертификации. Соответствие продукции требованиям технических регламентов удостоверяется **сертификатом соответствия**, выдаваемым заявителю органом по сертификации.

Сертификат соответствия **включает в себя**:

- наименование и местонахождение заявителя, изготовителя продукции и органа по сертификации;
- информацию об объекте сертификации;
- наименование технического регламента, на соответствие требованиям которого проводилась сертификация;
- информацию о представленных заявителем документах и о проведенных испытаниях и измерениях;

- срок действия сертификата соответствия.

Определение содержания сертификата Законом является примером проводимой в нем линии на изъятие полномочий в области обязательной сертификации у федеральных органов исполнительной власти (они лишь утверждают форму сертификата).

Декларация о соответствии и сертификат соответствия имеют **равную юридическую силу**.

Обязательная сертификация осуществляется **органом по сертификации**, аккредитованным в порядке, установленном Правительством РФ. Ранее порядок аккредитации устанавливался органом, создающим систему обязательной сертификации.

Орган по сертификации выполняет следующие **функции**:

- привлекает для проведения исследований и измерений аккредитованные испытательные лаборатории;
- осуществляет контроль за объектами сертификации, если он предусмотрен схемой обязательной сертификации или договором;
- ведет реестр выданных им сертификатов соответствия;
- информирует органы госконтроля о продукции, поступившей на сертификацию, но не прошедшей ее;
- приостанавливает или прекращает действие выданного им сертификата соответствия.

Федеральный орган исполнительной власти по техническому регулированию (Ростехрегулирование) ведет **единый общероссийский реестр** выданных сертификатов соответствия, порядок ведения которого устанавливает Правительство РФ. Реестр формируется на основании сведений, представляемых органами по обязательной сертификации.

Исследования (испытания) и измерения продукции при осуществлении обязательной сертификации проводятся аккредитованными **испытательными лабораториями** (центрами) в пределах своей области аккредитации на условиях договоров с органами по аккредитации. Причем, заявитель не может непосредственно обращаться в испытательную лабораторию для проведения испытаний продукции, а органы по аккредитации не вправе представлять испытательным лабораториям сведения о заявителе. Это необходимо для объективности испытаний, одним из условий которой является **анонимность** испытываемой продукции.

Результаты испытаний и измерений оформляются

протоколами, на основании которых орган по сертификации принимает решение о выдаче сертификата соответствия или об отказе в выдаче. Но наличие протокола не является единственным основанием для принятия таких решений. Например, может быть предусмотрена **аттестация производства**.

Основные **требования к испытательным лабораториям**:

- независимость;
- беспристрастность;
- неприкосновенность;
- техническая компетентность.

Продукция, соответствующая требованиям технических регламентов, маркируется **знаком обращения на рынке**. Его изображение устанавливается Правительством РФ, он не является специально защищенным знаком и наносится в **информационных целях**. Маркировка знаком осуществляется заявителем самостоятельно любым удобным для него способом. Условием применения знака является наличие на продукцию зарегистрированной декларации о соответствии или сертификата соответствия, выданного органом по обязательной сертификации.

Как сказано выше, обязательное подтверждение соответствия осуществляет физическое или юридическое лицо, которое является **заявителем**. Он имеет следующие **права**:

- выбирать форму и схему подтверждения соответствия;
- обращаться для обязательной сертификации в любой орган по сертификации;
- обращаться в орган по аккредитации с жалобами на неправомерные действия органов по сертификации и испытательных лабораторий.

Среди прав заявителя важным является право выбора формы и схемы подтверждения соответствия из тех, которые предусмотрены техническим регламентом.

Заявитель кроме прав имеет также и **обязанности**, основными из которых являются:

- обеспечивать соответствие продукции требованиям технических регламентов;
- выпускать в обращение продукцию только после подтверждения соответствия;
- указывать в документации и при маркировке продукции сведения о сертификате соответствия;

- предъявлять в органы государственного контроля (надзора), а также заинтересованным лицам документы о подтверждении соответствия продукции требованиям технических регламентов (декларацию о соответствии, сертификат соответствия или их копии);
- приостанавливать или прекращать реализацию продукции, если срок действия сертификата истек или его действие прекращено.

Под заинтересованными лицами в данном случае следует понимать приобретателя продукции. Порядок удостоверения копии сертификата соответствия установлен Правительством РФ. Она может быть удостоверена держателем подлинника, нотариусом или органом по сертификации, выдавшим сертификат.

Необходимым условием деятельности органов по сертификации и испытательных лабораторий является их **аккредитация**, т.е. официальное признание права проводить работы в области подтверждения соответствия. Основной целью аккредитации является установление и подтверждение способности соответствующего органа проводить работы при наличии необходимого оборудования и подготовленного персонала. Порядок аккредитации устанавливает Правительство РФ.

Основными целями аккредитации являются:

- **подтверждение компетентности** органов по сертификации и испытательных лабораторий;
- **обеспечение доверия** изготовителей, продавцов и приобретателей к деятельности органов по сертификации;
- **создание условий для признания** результатов деятельности органов сертификации.

Основные **принципы аккредитации** органов по сертификации:

- добровольность;
- открытость и доступность правил аккредитации;
- компетентность и независимость органов, осуществляющих аккредитацию;
- обеспечение равных условий лицам, претендующим на получение аккредитации;
- недопустимость совмещения полномочий на аккредитацию и подтверждение соответствия;
- недопустимости установления пределов действия документов об аккредитации на отдельных территориях.

9.6 Сертификация систем обеспечения качества

Под **качеством** понимается совокупность характеристик объекта, относящихся к его способности удовлетворять установленные или предполагаемые потребности.

Система качества – совокупность организационной структуры, ответственности, процедур, видов деятельности, возможностей и средств, направленных на обеспечение соответствия продукции, процессов и услуг обусловленным или предполагаемым потребностям.

Сертификация систем обеспечения качества широко применяется в зарубежных странах, т.к. считается, что это дает предприятию явные выгоды и преимущества как при взаимодействии с партнерами, в том числе с банками, так и при поставке товара на рынок. Так, по оценкам специалистов на западноевропейском рынке уже в недалеком будущем не менее 95 % контрактов будут заключаться только с поставщиками, которые имеют сертификат на систему качества.

Требования к системам качества предприятий содержатся в международных стандартах серии ИСО 9000. В России они приняты как серия ГОСТ Р ИСО 9000. Эти стандарты предусматривают наличие элементов, обеспечивающих функционирование системы качества на предприятии.

В РФ была разработана и принята **«Система сертификации систем качества и производств»**, которая называется «Регистр систем качества». Это **система добровольной сертификации**. В рамках данной системы осуществляется:

- сертификация систем качества;
- сертификация производств;
- инспекционный контроль за сертифицированными системами качества и производства;
- международное сотрудничество в области сертификации систем качества в интересах взаимного признания ее результатов.

Практическая работа по сертификации систем качества регламентируется стандартом ГОСТ Р 40.001–95 «Правила по проведению сертификации систем качества в РФ».

Госстандарт утвердил блок из четырех стандартов серии ГОСТ Р 40.001(2,3,4)-96, составляющих **нормативно-методическую основу** регистра систем качества.

В России в рамках регистра систем качества в 1997 г.

зарегистрировано 170 сертифицированных систем качества предприятий, из них 27 зарубежных фирм, поставляющих товары на российский рынок.

Преимущества сертификации систем качества:

- повышение конкурентоспособности;
- повышение цены на продукцию;
- льготное кредитование и страхование;
- получение госзаказа;
- улучшение качества продукции и работ;
- сокращение издержек и проверок потребителем.

Процесс сертификации систем качества проходит в три этапа:

- заочная (предварительная) оценка системы качества;
- окончательная проверка и оценка системы качества;
- инспекционный контроль за системой качества.

При **окончательной проверке** определяется:

- состояние и виды деятельности предприятия по управлению качеством;
- состояние производственной системы;
- качество выпускаемой продукции.

В России система сертификации систем качества включает **сертификацию производств**. При этом оцениваются четыре блока объектов:

- готовая продукция (ее качество и анализ причин обнаруженных дефектов);
- технологическая система (технологические процессы, погрузка-разгрузка, хранение, установка);
- техническое обслуживание и ремонт (ремонт оборудования и оснастки, проверка контрольно-измерительных приборов);
- система технического контроля и испытаний (входной, операционный и приемочный контроль, периодические испытания).

Положительные результаты подготовки к сертификации производства: повышение технологической дисциплины, усиление связи с потребителем, выявление слабых звеньев технологических процессов, разрабатываются критерии стабильности производства.

9.7 Заключительные и переходные положения Закона

Закон «О техническом регулировании» вступил в силу с 1

июля 2003 г. В силу радикального характера этого Закона и большим объемом работ по его реализации, предусмотрен переходный период и ряд *переходных положений*:

1. Технические регламенты должны быть приняты *в течение семи лет* со дня вступления в силу Закона, т.е. до 1 июля 2010 г. После этого обязательные требования к продукции и процессам ее оборота, на которые разрабатываются технические регламенты, утрачивают силу и прекращают действие.

2. До вступления в силу соответствующих технических регламентов применяются обязательные требования, *установленные ранее* правовыми актами РФ (законами РФ, указами Президента РФ, постановлениями Правительства РФ) и нормативными документами федеральных органов исполнительной власти (государственными стандартами, санитарными правилами и т.п.). Но обязательному соблюдению подлежат *не все требования*, а только те, которые совпадают с целями принятия технических регламентов: защиты жизни и здоровья граждан и имущества; охраны окружающей среды, жизни и здоровья животных и растений; предупреждения действий, вводящих в заблуждение приобретателей. В части, не отвечающей этим целям, все акты утрачивают силу с 1 июля 2003 г.

3. До вступления в силу соответствующих технических регламентов Правительство РФ определяет и ежегодно дополняет перечень видов продукции, в отношении которой обязательная сертификация *заменяется* декларированием соответствия. При этом схема декларирования на основании собственных доказательств может осуществляться только изготовителями или только лицами, выполняющими функции иностранного изготовителя. Другие же заявители могут декларировать продукцию только с использованием доказательств, полученных с участием третьей стороны.

4. В области применения *ветеринарно-санитарных и фитосанитарных* мер до принятия технических регламентов регулирование осуществляется в соответствии с Федеральным законом 2000 г. «О карантине растений» и законом РФ 1993 г. «О ветеринарии».

5. В области *ядерной и радиационной безопасности* до принятия технических регламентов регулирование осуществляется в соответствии с ФЗ 1995 г. «Об использовании атомной энергии» и ФЗ 1996 г. «О радиационной безопасности населения».

6. Выданные до 1 июля 2003 г. документы об аккредитации органов по сертификации и испытательных лабораторий, а также сертификаты и декларации о соответствии считаются действительными до окончания установленного в них срока.

7. Со дня вступления в силу Закона признаны утратившими силу законы РФ «О сертификации продукции и услуг» и «О стандартизации» и ряд других нормативных актов РФ.

Библиографический список

1. Крылова Г.Д. Основы стандартизации, сертификации и метрологии: Учебник для вузов. - М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2000.
2. Тартаковский Д.Ф., Ястребов А.С. Метрология, стандартизация и технические средства измерений. Учебник для вузов. – М.: Высшая школа, 2001.
3. Сергеев А.Г., Латышев М.В., Терегеря В.В. Метрология, стандартизация, сертификация: Учебное пособие. - М.: Логос, 2005.
4. Маликов М.Ф. Основы метрологии. Часть первая. Учение об измерениях. Москва, 1949.
5. Кузнецов В.А., Ялунина Г.В. Общая метрология. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2001
6. Рабинович С.Г. Погрешности измерений. - Л.: Энергия, 1978.
7. Бурдун Г.Д., Марков Б.Н. Основы метрологии. Учебное пособие для вузов. М., Издательство стандартов, 1972.
8. Российская метрологическая энциклопедия. Санкт-Петербург, Лики России, 2001.
9. Парций Я.Е. Комментарий к Федеральному закону «О техническом регулировании» (постатейный). М.: «Фирма «Интерстандарт», 2004.
10. Чертов А.Г. Единицы физических величин. М.: Высшая школа, 1977.
11. Кудряшова Ж.Ф., Рабинович С.Г., Резник К.А. Методы обработки результатов наблюдений при измерениях. Москва-Ленинград, Издательство стандартов, 1972.
12. Федеральный закон от 27 декабря 2002 г. № 184-ФЗ «О техническом регулировании». Российская газета. 28.12.2002

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Часть 1. Метрология	4
Глава 1. Метрология как наука об измерениях	4
1.1 Понятие и основные проблемы метрологии	4
1.2 Понятие измерения	6
1.3 Физические величины и их измерения	8
1.4 Шкалы измерений	11
1.5 Системы физических величин	13
1.6 Составные элементы измерений	15
1.7 Классификация измерений	15
1.8 Принципы, методы и методики измерений	18
Глава 2. Системы единиц физических величин	19
2.1 Основные понятия	19
2.2 Метрическая система мер	21
2.3 Построение систем единиц физических величин	22
2.4 Примеры систем единиц физических величин	22
2.5 Относительные и логарифмические величины	23
2.6 Международная система единиц (СИ)	24
Глава 3. Средства измерений и их свойства	29
3.1 Понятие и классификация средств измерений	29
3.2 Метрологические характеристики средств измерений	33
3.3 Использование средств измерений	36
3.4 Нормирование погрешностей средств измерений	37
3.5 Классы точности и их обозначения	40
3.6 Эталоны и их использование	41
Глава 4. Погрешности измерений	45
4.1 Понятие погрешности измерений	45
4.2 Модели объекта и погрешности измерений	46
4.3 Источники погрешностей измерений	47
4.4 Классификация погрешностей измерений	49

4.5	Случайные погрешности	51
4.5.1	Статистическая устойчивость распределения наблюдений	51
4.5.2	Дифференциальные и интегральные законы распределения случайных величин	52
4.5.3	Характеристики оценки измеряемой величины	54
4.5.4	Примеры распределения случайных величин	54
4.5.5	Доверительные интервалы	57
4.6	Систематические погрешности	59
4.7	Методы обработки результатов прямых измерений	62
4.8	Однократные измерения	65
4.9	Определение результатов косвенных измерений и оценивание их погрешностей	67
4.10	Запись погрешности и правила округления	68
	Глава 5. Концепция неопределенности измерений	70
5.1	Основные положения	71
5.2	Сопоставление концепций погрешности и неопределенности измерений	79
5.3	Использование концепции неопределенности	81
	Глава 6. Правовые основы обеспечения единства измерений	82
6.1	Необходимость правового обеспечения метрологической деятельности	82
6.2	Основные положения Закона РФ «Об обеспечении единства измерений»	83
6.3	Государственный метрологический контроль и надзор	84
6.4	Калибровка средств измерений	86
6.5	Ответственность за нарушение законодательства по метрологии	87
6.6	Международные организации по метрологии	88
6.7	Метрологическое обеспечение радиационного контроля	89
6.8	Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ)	90

Часть 2. Техническое регулирование	91
Глава 7. Технические регламенты	95
7.1 Цели применения технических регламентов	95
7.2 Содержание и применение технических регламентов	96
7.3 Виды технических регламентов	97
7.4 Порядок разработки и принятия технических регламентов	98
7.5 Государственный контроль и надзор за соблюдением технических регламентов	99
Глава 8. Стандартизация	100
8.1 Цели стандартизации	101
8.2 Принципы стандартизации	102
8.3 Организация работ по стандартизации	103
8.4 Документы в области стандартизации	104
8.5 Виды стандартов	107
8.6 Применение документов в области стандартизации	108
8.7 Международная стандартизация	108
8.8 Нормативные документы в области измерения ионизирующих излучений	111
8.9 Классификация стандартов	112
Глава 9. Подтверждение соответствия	115
9.1 Понятие подтверждения соответствия	115
9.2 Принципы подтверждения соответствия	116
9.3 Формы подтверждения соответствия	117
9.4 Добровольное подтверждение соответствия	118
9.5 Обязательное подтверждение соответствия	120
9.6 Сертификация систем обеспечения качества	126
9.7 Заключительные и переходные положения Закона «О техническом регулировании»	127
Библиографический список	129